

# Capítulo 6

## Diseño de un brazo robótico asistencial para personas con discapacidad

Adrián Tapia<sup>1</sup>  
Guillermo Mosquera<sup>2</sup>  
Christian Rueda<sup>3</sup>  
Raúl Paredes<sup>4</sup>

**Cítese como:** Tapia, A., Mosquera, G., Rueda, C. y Paredes, R. (2023). Diseño de un brazo robótico asistencial para personas con discapacidad. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 105-121). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c355>

### Resumen

En los últimos años, en el campo de la robótica la investigación se ha dedicado a la creación de sistemas robóticos asistenciales. Estos sistemas están relacionados con la terapia ocupacional, en la que un cuidador ayuda a los pacientes con discapacidad. Estas personas a menudo tienen dificultades para realizar actividades cotidianas como la alimentación, lo que las hace sentirse dependientes de otras personas. Debido a los avances tecnológicos, aparecen los manipuladores robóticos asistenciales, para ayudar en el manejo y cuidado de personas con discapacidad, fomentando la inclusión de tecnología dirigida a personas dependientes que sufren limitaciones severas.

En este documento se presenta el diseño, simulación y validación del funcionamiento de un brazo robótico asistencial con capacidad de reconocer la boca de un paciente y alimentarlo de manera apropiada. El brazo robótico cuenta con un sistema de visión artificial que permite la interacción humano-robot, lo que garantiza autonomía y utilidad para el usuario final. Además, se detalla los requerimientos previos para el desarrollo del brazo robótico y se realiza un estudio de factibilidad para su producción en masa. En conclusión, el brazo robótico asistencial puede mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad y promover la independencia en su entorno.

<sup>1</sup> Correo: thar103100@ute.edu.ec

<sup>2</sup> Correo: guillermo.mosquera@ute.edu.ec

<sup>3</sup> Correo: andres.rueda@ute.edu.ec

<sup>4</sup> Correo: raulv.paredes@ute.edu.ec



*Palabras clave:* robótica asistencial; discapacidad; alimentación; brazo robótico; visión artificial.

## **Design of an assistive robotic arm for people with disabilities**

### **Abstract**

In recent years, research in the field of robotics has been dedicated to the creation of assistive robotic systems, related to occupational therapy, in which a caregiver helps patients with disabilities, who often have difficulties in performing daily activities such as feeding, which makes them feel dependent on other people. Due to technological advances, assistive robotic manipulators appear, to help in the management and care of this kind of people, promoting the inclusion of technology aimed at those dependents who suffer severe limitations.

This paper presents the design, simulation, and validation of the operation of an assistive robotic arm capable of recognizing a patient's mouth and feeding him/her appropriately. The robotic arm has an artificial vision system that allows human-robot interaction, which guarantees autonomy and usefulness for the end user. In addition, the previous requirements for its development are detailed and a feasibility study for its mass production is carried out. In conclusion, the assistive robotic arm can improve the quality of life of people with disabilities and promote independence in their environment.

*Keywords:* assistive robotics; disability; feeding; robotic arm; artificial vision.

## **Desenho de um braço robótico de assistência para pessoas com deficiência**

### **Resumo**

Nos últimos anos, as pesquisas na área de robótica têm se dedicado à criação de sistemas robóticos de assistência, relacionados à terapia ocupacional, na qual um cuidador auxilia pacientes com deficiências, que muitas vezes têm dificuldades para realizar atividades cotidianas, como a alimentação, o que faz com que se sintam dependentes de outras pessoas. Devido aos avanços tecnológicos, surgem os manipuladores robóticos de assistência, que auxiliam no gerenciamento e no cuidado desse tipo de pessoas, promovendo a inclusão de tecnologia voltada para os dependentes que sofrem limitações severas.

Este artigo apresenta o projeto, a simulação e a validação da operação de um braço robótico de assistência capaz de reconhecer a boca de um paciente e alimentá-lo adequadamente. O braço robótico possui um sistema de visão artificial que permite a interação homem-robô, o que garante autonomia e utilidade para o usuário final. Além disso, são detalhados os requisitos prévios para seu desenvolvimento e é realizado um estudo de viabilidade para sua produção em massa. Em conclusão, o braço robótico de assistência pode melhorar a qualidade de vida das pessoas com deficiências e promover a independência em seu ambiente.



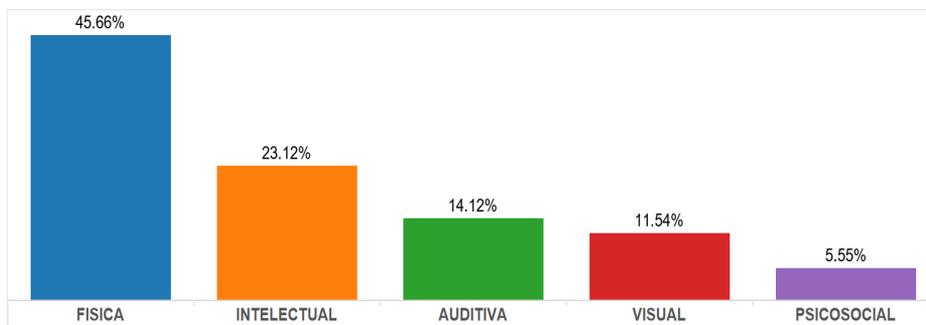
*Palabras-chave:* robótica de asistencia; deficiencia; alimentación; brazo robótico; visión artificial.

## Introducción

El Ecuador es un país que cuenta con una población de 18 256 256 de habitantes, de los cuales 471 205 tienen un tipo de discapacidad; esto significa que el 2,58 % de la población tiene algún tipo de discapacidad. Del total de personas con esta condición, el 45,66 % sufre discapacidad física y el 23,12 % discapacidad intelectual, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Tipo de discapacidad*

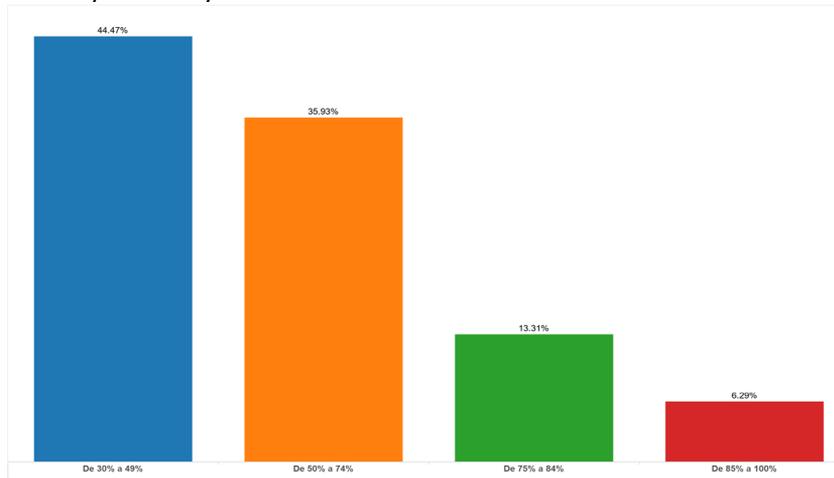


Fuente: Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS, 2022).

Del total de personas que cuentan con una discapacidad física o intelectual, en la Figura 2 se observa que el 13,31 % tiene un porcentaje de discapacidad entre el 75 % y 84 %, mientras que el 6,29 % tiene discapacidad entre el 85 % y 100 %.

**Figura 2**

*Grado de discapacidad física e intelectual*



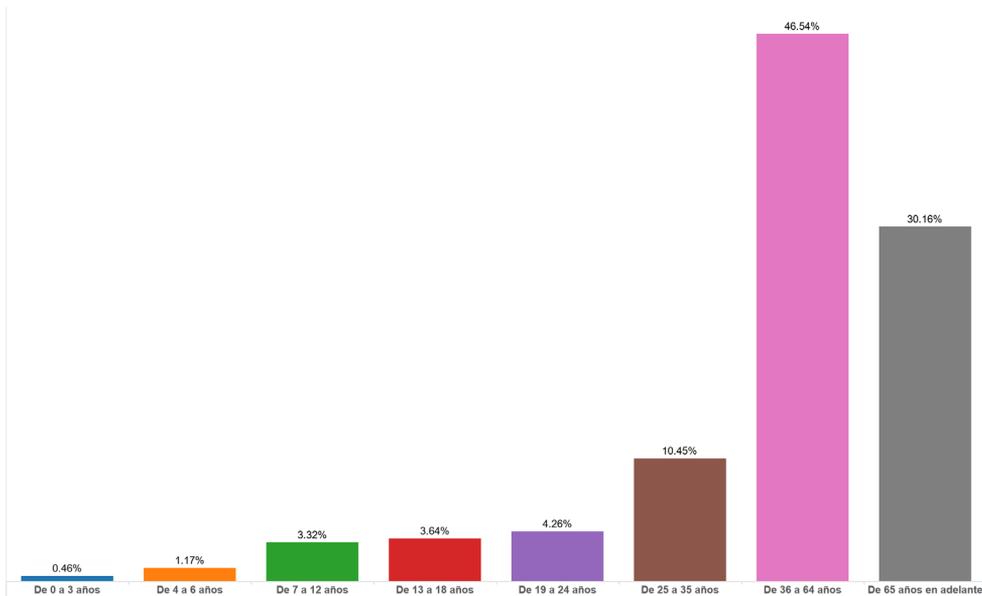
Fuente: CONADIS (2022).



En la Figura 3 se muestra que el grupo etario de 36 a 64 años se encuentra mayormente afectado.

### Figura 3

*Discapacidad por grupos etarios*



Fuente: CONADIS (2022).

Esto demuestra la necesidad de desplegar tecnologías asistenciales para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, por lo cual se decidió desarrollar un brazo robótico que fuera capaz de detectar la boca del usuario por medio de visión artificial, determinar la ruta y alimentarle de forma autónoma. Para realizar este proyecto se investigó algunos antecedentes, entre los cuales se cita:

#### **Raptor**

Es un brazo robótico montado en una silla de ruedas que cuenta con cuatro grados de libertad. Su diseño le permite alcanzar objetos situados sobre la cabeza del paciente, en una mesa o, incluso, recoger objetos del suelo. Es una herramienta muy útil para personas con movilidad reducida, ya que les permite realizar tareas cotidianas con mayor independencia y autonomía. Gracias a su precisión y versatilidad, puede adaptarse a diferentes situaciones y necesidades de los pacientes, mejorando así su calidad de vida y ofreciéndoles una mayor comodidad en su día a día (Fernández, 2013).

#### **Neater Eater V6**

Este brazo robótico es un dispositivo portátil diseñado para asistir a personas que tienen la capacidad de masticar y tragar en la ingesta de alimentos; ofrece



múltiples opciones de programas y se puede controlar desde una tableta, teléfono inteligente o una interfaz de pantalla táctil. El robot recoge la comida y la acerca a la boca en una posición preprogramada, con la opción de usar una cuchara o un tenedor; detecta el tamaño del plato y posee funciones para limpiar el exceso de líquido de la parte inferior de la cuchara o, vaciar el utensilio.

Puede trabajar tanto con sólidos como con líquidos, gracias a la versatilidad que le proporciona el plato circular. La posición elegida se mapea de forma manual y, se puede calibrar la posición del tenedor y el ítem en el plato para poder tomarlo. Es útil para personas que quieren disfrutar de una cena en un restaurante o en la comida diaria (Independent Living, 2017).

## **MySpoon**

Es un brazo robótico asistencial diseñado en Japón, que puede ser utilizado para asistir a personas con discapacidad en la ingesta de alimentos; tiene la ventaja de poder utilizarse con diferentes tipos de alimentos que pueden ser preparados en casa, sin necesidad de paquetes especiales prefabricados. Además, cuenta con mandos intercambiables que permiten su adaptación a distintos tipos de discapacidades.

Tiene tres modos de funcionamiento: en el modo manual, el usuario selecciona el compartimento del que desea obtener la comida y el robot acerca la cuchara al alimento para que el paciente lo transporte hasta su boca. En el modo semiautomático, el paciente solo selecciona el compartimento, mientras que el robot realiza el resto de las acciones de forma automática. En el modo automático, el robot realiza todas las acciones de forma automática a partir de la secuencia preprogramada iniciada con un botón.

Puede ser utilizado con una amplia variedad de alimentos como: arroz, pollo frito, salsas, huevos revueltos, frutas, postres, vegetales revueltos, ensaladas, tofu, mermelada y tallarines. El robot cuenta con compartimentos específicos para cada uno de estos alimentos, lo que permite una disposición ordenada y segura de los mismos.

En resumen, es un robot asistencial diseñado para ayudar a personas con discapacidad en la ingesta de alimentos. Su diseño permite su adaptación a distintos tipos de discapacidades y, cuenta con tres modos de funcionamiento que permiten al usuario seleccionar el grado de control que desea tener sobre el robot. Además, puede utilizarse con una amplia variedad de alimentos, lo que lo convierte en una herramienta muy versátil para su uso en el hogar (SECOM CO., LTD., 2007).

Los objetivos específicos para el desarrollo apropiado del proyecto fueron:

- Determinar los grados de libertad que debe tener el brazo robótico para que pueda cumplir con las tareas requeridas.



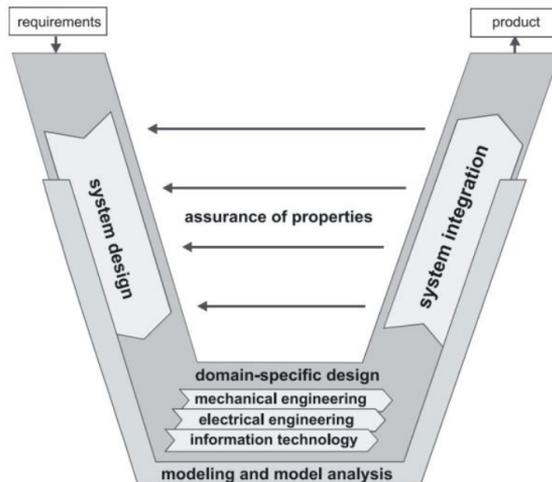
- Determinar las longitudes necesarias para los eslabonamientos, con la finalidad de que el manipulador alcance la boca del paciente.
- Definir las coordenadas de posición de la boca en el plano XZ, utilizando para ello el software MATLAB.
- Hallar los ángulos a los cuales deben ser movidos los eslabones, utilizando cinemática inversa.
- Diseñar el sistema articulado del brazo robótico mediante el uso de herramientas CAD para su posterior simulación.

## Desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología mecatrónica basada en el modelo en V, como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Metodología Mecatrónica*



Fuente: Verein Deutscher Ingenieure (2004).

Para definir los requisitos que debe cumplir el brazo robótico, se ha tenido en cuenta varios factores, como el alcance máximo, la facilidad de montaje y portabilidad y, la disponibilidad de suficientes grados de libertad para un óptimo desempeño. Es importante que el paciente tenga control en los movimientos, al menos de su cuello y boca, para completar la operación de alimentación. En cuanto al diseño general, se ha establecido cómo está constituido el sistema y los elementos que lo conforman, así como el comportamiento del brazo robótico al estar en funcionamiento.

El diseño específico consta de tres etapas concurrentes:



- **Diseño mecánico:** en esta etapa se determina el modelo matemático que mantendrá la relación de posición de todos los eslabones del brazo robótico respecto a un eje de coordenadas absoluto. También se establece la dimensión de los eslabones para su posterior modelado con herramientas CAD.
- **Diseño eléctrico y electrónico:** se analiza cómo energizar los actuadores que forman parte del brazo robótico, así como el envío de las señales de control que permiten el posicionamiento correcto del efector final y su respectiva alimentación.
- **Diseño de control:** se configura un sistema de visión artificial que permita al robot identificar la boca del paciente. Es indispensable determinar el algoritmo más apropiado que facilite reconocer la boca del paciente y calcular las coordenadas en el plano XZ. Además, se debe obtener el modelo matemático que represente el brazo robótico con los grados de libertad definidos posteriormente.

Después, se integrará los diferentes modelos y algoritmos, tanto matemático como de visión artificial y CAD por medio de una plataforma informática, para analizar su comportamiento y detectar incompatibilidades entre los elementos que conforman el sistema. Finalmente, se comprobará el cumplimiento de requisitos determinados y, como producto, se establecerá un prototipo de un brazo robótico validado que cumpla con los requerimientos definidos al inicio del proyecto.

### **Definición de requerimientos:**

- Antes de realizar el movimiento de entrega de comida, el sistema de visión artificial debe detectar la boca del usuario, con la finalidad de acercarse de forma segura a la boca de este.
- La superficie de trabajo debe ser plana, horizontal y nivelada.
- El área máxima de trabajo del brazo robótico no debe ser mayor a 0.4 m<sup>2</sup>.
- La longitud del brazo robótico no debe ser superior a 800 mm de longitud, considerando esta medida desde el hombro hasta el elemento que entra en contacto con el usuario (cuchara, tenedor).
- Debido a que la función del brazo robótico es alimentar al usuario, la carga máxima no debe superar los 10g.
- El tiempo de respuesta del robot debe ser menor a cinco segundos desde que recibe las coordenadas de la boca hasta que entrega el alimento al usuario.

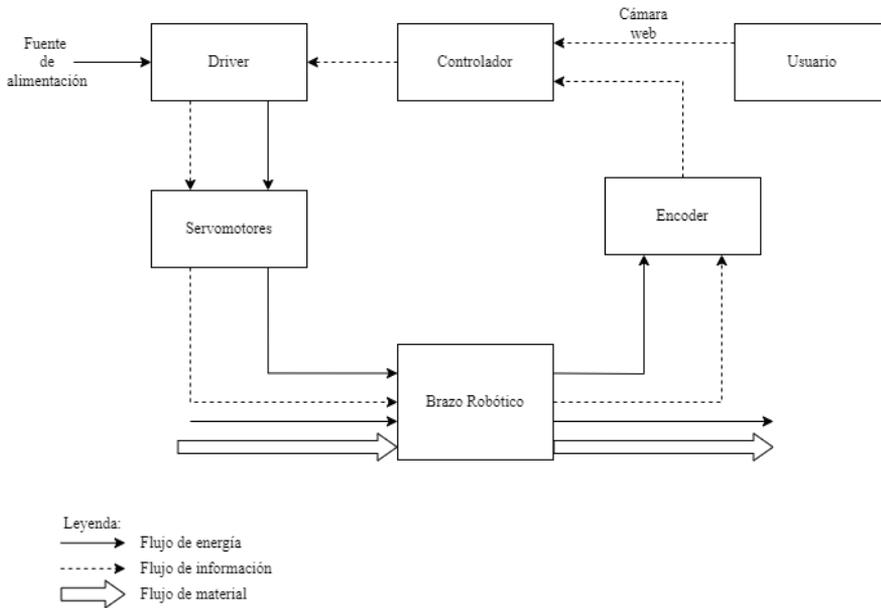
### **Diseño Conceptual**

En la Figura 5 se presenta el concepto del robot asistencial, el cual representa los elementos que forman parte del sistema y la relación que existe entre ellos.



**Figura 5**

*Concepto Brazo Robótico Asistencial*



El sistema básico está compuesto por el brazo robótico, considerando solo sus eslabones de la cadena cinemática, además de la mesa que contiene los espacios donde son ubicados los alimentos. Para medir las posiciones de cada uno de los servomotores se utiliza *encoders*. La cámara web se encarga de capturar la imagen. La información adquirida tanto por los sensores como por la cámara web es enviada al controlador, el cual se encarga de procesar la información y determinar las acciones de control. La imagen determina la posición de la boca, con lo cual envía las instrucciones a los servomotores (Nicieza y Taverna Hnos., 2020).

Las instrucciones de control pasan por el *driver*, el cual también gestiona la energía de la fuente de alimentación. Esta energía e información llegan a los servomotores, los cuales se encargan de ejecutar las acciones de control para llegar a las coordenadas establecidas.

**Diseño específico**

Se estableció realizar el prototipo por medio de la herramienta de prototipado rápido de impresión 3D. En la Tabla 1 se muestra los materiales de impresión 3D que más se utiliza para este tipo de aplicaciones. Debido a que el Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) es el material con la menor densidad, fue seleccionado para la fabricación de los elementos del brazo robótico. Sin embargo, para el plato y la cuchara se escogió el Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG), debido a que el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) (Guerra, 2020), indica que uno de los materiales aceptados para este fin es el Tereftalato de polietileno (PET).



**Tabla 1**

*Comparación densidad de materiales*

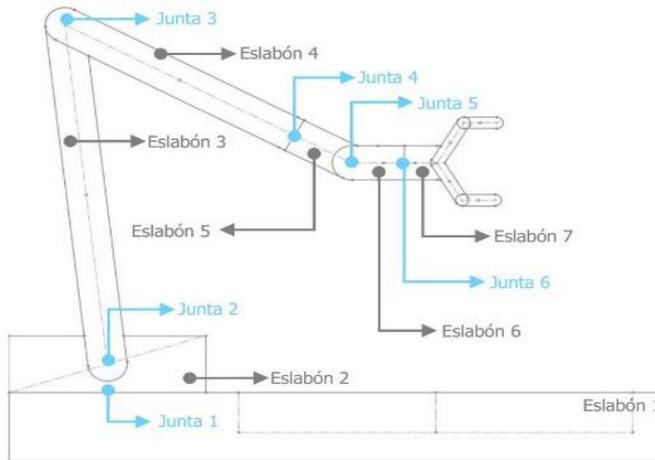
<b>Material</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
PLA ( <i>Polylactic Acid</i> )	1.24
ABS	1.05
PETG	1.27

Fuente: Nicieza y Taverna Hnos. (2020).

Según Corke (2017), un brazo robótico que tenga seis grados de libertad (GDL) puede alcanzar cualquier posición dentro de su área de trabajo y, es la forma más común para aplicaciones industriales. Debido a esto, se ha decidido que el brazo robótico en cuestión tenga seis grados de libertad, lo cual se puede observar en la Figura 6, que muestra tanto el número de eslabones como el de juntas.

**Figura 6**

*Estructura del brazo robótico*



Fuente: Tapia (2017).

Según Norton (2013), el cálculo del grado de libertad para mecanismos espaciales se logra al extender el concepto de Gruebler a tres dimensiones, lo que conduce a la ecuación de movilidad de Kutzbach para eslabonamientos en el espacio.



Ecuación de movilidad de Kutzbach:

$$M = 6(L - 1) - 5J_1 - 4J_2 - 3J_3 - 2J_4 - J_5$$

...donde:

$M$  = movilidad del sistema

$L$  = número de eslabones que componen la cadena cinemática

$J_i$  = número de grados que eliminan la junta.

Puesto que ninguna junta tiene más de un grado de libertad, todas las juntas con subíndice dos y superiores, son igual a cero; por lo tanto:

$$L = 7$$

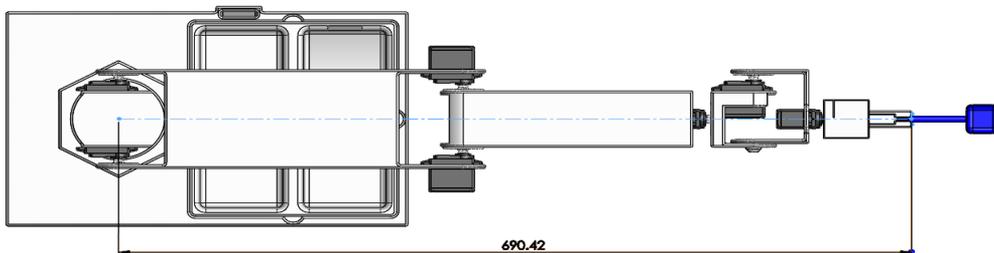
$$J_1 = 1$$

Reemplazando los valores en la ecuación de Kutzbach, se obtiene como resultado seis grados de libertad. Con base en este resultado, se define que el brazo robótico debe tener siete eslabones.

Se consideró la longitud promedio del brazo de una mujer y un hombre en un rango de edad de 18 a 65 años (686mm y 748mm, respectivamente), como base para determinar la longitud total del brazo robótico, como se muestra en la Figura 7. Estos datos fueron obtenidos de un estudio realizado en México por un grupo de investigadores del país (Ávila-Chaurand et al., 2007)

### Figura 7

*Extensión máxima del brazo robótico*



Fuente: Tapia (2007).

El diseño del brazo mecánico se basa en la regulación ISO 13482, que establece los estándares de seguridad para los robots de asistencia personal. Según esta normativa (Tapia, 2017), estos robots se definen como de cuidado personal y su potencia es significativamente menor en comparación con los robots utilizados



en la industria o la manufactura. Además, no requieren una gran precisión y son usados por usuarios en entornos no estructurados para realizar tareas específicas o una variedad de tareas. La mayoría de estas tareas implican la interacción y el contacto con humanos y se consideran asistentes para uso en el hogar (Virk y Cameron, como se cita en Gonçalves et al., 2014).

Dentro del diseño se realizó el dimensionamiento de los torques de los servomotores que impulsan el movimiento de los eslabones del brazo robótico; para esto se utilizó la fórmula de torque dinámico equivalente de la segunda ley de Newton:

$$\sum \tau = I * \alpha$$

...donde:

$I$  = inercia del elemento

$\alpha$  = aceleración angular

Para los cálculos considerados los casos más extremos, se tomó en cuenta cada grupo de eslabones completamente extendidos. La Tabla 2 permite ver los resultados obtenidos para la selección de los servomotores de la cintura, hombro y codo.

**Tabla 2**

*Selección de servomotores (articulaciones 1 a 3)*

<b>Articulación</b>	<b>Cintura</b>	<b>Hombro</b>	<b>Codo</b>
Torque calculado necesario (kg-cm)	0.36	29.02	8.64
Marca Servomotor	Hitec	Hitec	Hitec
Modelo Servomotor	HS-311	HS-5585MH	HSR-2645CR
Torque entregado por Servomotor (kg-cm)	3	17	8
Número de Servomotores	1	2	2
<b>Torque total disponible (kg-cm)</b>	<b>3</b>	<b>34</b>	<b>16</b>

Fuente: Tapia (2017).

Los resultados obtenidos para la selección de los servomotores de la muñeca 1, muñeca 2 y *gripper* se presentan en la Tabla 3.



**Tabla 3**

*Selección de servomotores (articulaciones 4 a 6)*

Articulación	Muñeca 1	Muñeca 2	Gripper
Torque calculado necesario (kg-cm)	1.11E-03	1.57	2.14E-05
Marca Servomotor	Hitec	Hitec	Hitec
Modelo Servomotor	HSR-1425CR	HSR-1425CR	HSR-1425CR
Torque entregado por Servomotor (kg-cm)	2.8	2.8	2.8
Número de Servomotores	1	1	1
<b>Torque total disponible (kg-cm)</b>	<b>2.8</b>	<b>2.8</b>	<b>2.8</b>

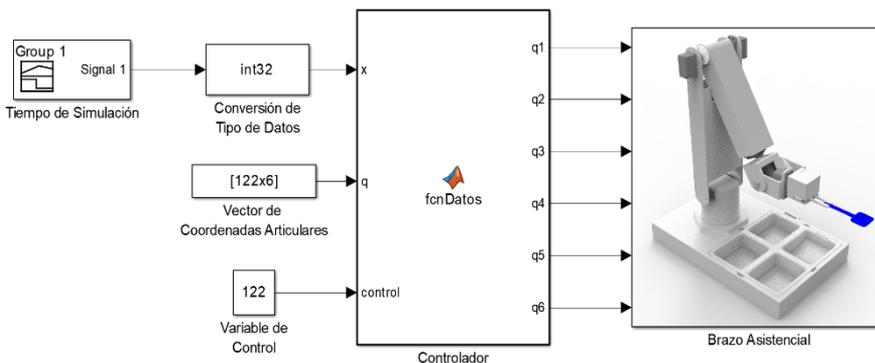
Fuente: Tapia (2017).

Se ha implementado un sistema de reconocimiento facial, utilizando tecnología de visión artificial para localizar las coordenadas de la boca de una persona. Este sistema permite al ordenador comparar la posición actual de la boca con su ubicación objetivo, utilizando la cinemática directa e inversa, respectivamente. Para detectar la boca de manera precisa, se utilizó el algoritmo Viola-Jones, que forma parte de la librería de MATLAB (The Mathworks, Inc., 2017).

Dentro de la herramienta Simulink se realizó la integración de los diferentes elementos del brazo robótico, para poder realizar las pruebas y verificar el funcionamiento del sistema. Se integró el modelo CAD del sistema en conjunto con el controlador, como se muestra en la Figura 8.

**Figura 8**

*Integración brazo robótico*



Fuente: Tapia (2017).



## Resultados

Se efectuó pruebas del algoritmo de reconocimiento de la boca bajo diferentes condiciones de luz natural y artificial. Los parámetros fueron ajustados para abordar los problemas de reconocimiento de la boca en diferentes características faciales y accesorios como lentes o barba en varones. El algoritmo Viola-Jones funciona correctamente, siempre y cuando el eje vertical de la cara forme menos de  $18^\circ$  de inclinación respecto a la vertical; caso contrario, no reconocerá la boca como una característica facial, debido a una configuración predeterminada del algoritmo. En la Figura 9 se presenta el reconocimiento de la boca utilizando el algoritmo.

### Figura 9

*Reconocimiento de boca a contraluz*



Fuente: Tapia (2017).

La Figura 10 muestra el recorrido que sigue el extremo del robot en el espacio para realizar los movimientos requeridos en la bandeja 1, donde se encuentra la sopa que se debe recoger, con el fin de evitar que el líquido se derrame.





En la Tabla 4 se presenta el promedio de error para cada una de las juntas, donde se aprecia que el error no supera el 1,5 %, lo cual se considera aceptable.

**Tabla 4**

*Promedio de error medido en cada articulación*

Articulación	Error (%)
q1	1.26
q2	0.76
q3	0.11
q4	1.31
q5	0.11
q6	1.43

Fuente: Tapia (2017).

## Conclusiones

El sistema de visión artificial que ha sido creado para el brazo robótico funciona correctamente, sin dificultad, considerando la diversidad de características individuales de cada persona.

Con el objetivo de optimizar el reconocimiento mediante el algoritmo Viola-Jones, se limitó las imágenes capturadas a rostros que estén orientados hacia la cámara y tengan un ángulo de inclinación de la cabeza menor a 18 grados con respecto al eje vertical. Esta limitación es inherente al algoritmo utilizado. Como resultado de esta estrategia, se ha logrado una tasa del 100 % de éxito en la identificación de la boca del paciente.

Se calculó la longitud de los eslabones, tomando como referencia la longitud promedio de un brazo humano, con el fin de establecer el alcance máximo del brazo robótico. Como resultado de este análisis, se ha obtenido una longitud total de 690,42 mm.

Las coordenadas de la boca son calculadas únicamente si el sistema de visión artificial logra detectar la boca, encontrando su centroide. Dado que el sistema ha identificado la boca en el 100 % de los casos, se ha obtenido las coordenadas con una alta precisión y exactitud.

La trayectoria de los eslabones y del efector final del brazo robótico se mueven sin interrumpirse ni chocar entre sí ni con los demás componentes del brazo. Además, su desplazamiento se realiza dentro del área de trabajo propuesta de 0,4 m<sup>2</sup>.



La capacidad del sistema de control, para ser preciso y exacto, se puede observar en el porcentaje de error medido durante diez ciclos de repetición al entregar la comida al paciente. En todas las juntas se ha obtenido un valor menor al 1,5 %, lo que indica una alta precisión y exactitud en el sistema.

### Referencias

- Ávila-Chaurand, R., Prado-León, L. R. & González-Muñoz, E. L. (2007). *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile* (2.ª ed.). Universidad de Guadalajara.
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS). (2022). Estadísticas de Discapacidad. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Corke, P. (2017). *Robotics, Vision, and Control - Fundamental Algorithms in MATLAB* (2<sup>nd</sup> ed.). Springer International Publishing.
- Fernández, V. (2013). *Desarrollo de un entorno virtual para la evaluación experimental en robótica asistencial* [Tesis de Pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17651>
- Gonçalves, P. J., Haiddeger, T., Prestes, E., & Schlenoff, C. (2014). Proceedings of the 1<sup>st</sup> Standardized Knowledge Representation and Ontologies for Robotics and Automation Workshop. <https://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/2815>
- Guerra, K. V. (2020). RTE INEN 100. Materiales y artículos plásticos destinados a estar en contacto con los alimentos. <https://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/rte-inen-100-materiales-y-articulos-plasticos-destinados-a-estar#>
- Independent Living. (2017). New V6 Robotic Neater Eater. <https://www.independentliving.co.uk/product-focus/new-v6-robotic-neater-eater/>
- Nicieza & Taverna Hnos. (2020). *Tabla comparativa de materiales Grilon3*. [https://grilon3.com.ar/tabla\\_comparativa/](https://grilon3.com.ar/tabla_comparativa/)
- Norton, R. (2013). *Diseño de maquinaria* (5<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.
- SECOM CO., LTD. (2007). Automating My Spoon through Image Processing. <https://www.secom.co.jp/isl/e2/research/mw/report04/>



Tapia, A. R. (2017). *Diseño de un brazo robótico asistencial para personas con discapacidad* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial]. <https://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/14679>

The Mathworks, Inc. (2017). Computer Vision Toolbox. Design and test computer vision, 3D vision, and video processing systems. <https://www.mathworks.com/products/computer-vision.html>

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme (VDI 2206): Design methodology for mechatronic systems*. VDI 2004.

