

## Manipulación de un brazo robot mediante el seguimiento de los ojos Manipulating a robot arm by eye tracking

J. Gudiño-Lau <sup>a,\*</sup>, C.A. Llamas-Woodward <sup>a</sup>, J. Alcalá-Rodríguez <sup>a</sup>, S. Charre-Ibarra <sup>a</sup>, A. Jarillo-Silva <sup>b</sup>,  
M. Durán-Fonseca <sup>a</sup>,

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Electromecánica, Universidad de Colima, Campus El Naranjo, Manzanillo, Colima, México.  
<sup>b</sup> Instituto de Informática, Universidad de la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México.

### Resumen

Actualmente hay poca literatura e investigaciones relacionadas con el seguimiento de ojos (Eye Tracking) para la manipulación de robots o dispositivos mecatrónicos. Los artículos que se tienen hoy en día están enfocadas al estudio del ojo humano especialmente a la medicina, marketing y juego; sin embargo, son pocas dedicadas al control o manipulación de la tecnología (domótica, robots móviles: terrestres, aéreos o acuáticos, brazos robóticos, dispositivos mecatrónicos, entre otros). Por lo anterior, este artículo se centra en el diseño y construcción de un dispositivo mecatrónico para registrar el seguimiento ocular del ser humano con la finalidad de manipular un brazo robots de tres grados de libertad; y el desarrollo de una interfaz gráfica hombre-máquina amigable para visualizar el ojo humano y los comandos para la manipulación del robot.

Palabras Clave: Eye tracking, robot manipulador, control, interfaz gráfica.

### Abstract

Currently there is little literature and research related to Eye Tracking for the manipulation of robots or mechatronic devices. The articles that are available today are focused on the study of the human eye, especially medicine, marketing and gaming; however, there are few dedicated to the control or manipulation of technology (home automation, mobile robots: terrestrial, aerial or aquatic, robotic arms, mechatronic devices, among others). Therefore, this article focuses on the design and construction of a mechatronic device to record the eye tracking of the human being in order to manipulate a robot arm with three degrees of freedom; and the development of a friendly human-machine graphical interface to visualize the human eye and the commands for robot manipulation.

Keywords: Eye tracking, manipulator robot, control, graphical interface.

### 1. Introducción

En los últimos años el avance de la robótica y sus aplicaciones motivan al desarrollo de nuevas investigaciones interdisciplinarias. Una forma de manipular robots es a través del seguimiento ocular para personas que tienen dificultad de movimiento en sus manos o brazos; o alguna discapacidad motriz que no les permita manipular objetos con sus manos.

El seguimiento ocular no es un tema nuevo sin embargo son pocas investigaciones que se tiene para la manipulación de robots mediante esta técnica. La tecnología de seguimiento ocular se ha empleado principalmente en el área de la medicina como es el estudio de pacientes con trastornos cerebrales (Carelli, *et. al.* 2022), análisis cognitivo en pacientes con enfermedades neurológicas (Poletti, *et. al.*

2017), detección y evaluación del deterioro cognitivo en pacientes con trastornos neurológicos (Tao, *et. al.* 2020), estudios en niños autistas en terapias de interacción humano-robot con el apoyo de robots humanoides (Syamimi, *et. al.* 2012), entre otras aplicaciones médicas. Son escasos los artículos que se relacionan con la robótica-médica, sin embargo, algunas investigaciones han empleado esta tecnología y existen aplicaciones de robots para asistencia social como en es la comprensión de los robots como actores sociales (Kerstin, 2011), otras de las aplicaciones son en la educación, en (Fumihide and Shizuko, 2012) describe el aprendizaje de vocabulario en niños con el apoyo de robots y el seguimiento ocular. La interacción humano robot con aplicaciones empleando el seguimiento ocular son descritos en (Mutlu *et. al.* 2009, Rich *et. al.* 2010, Staudte *et. al.* 2010,

\*Autor para la correspondencia: jglau@uacol.mx

Correo electrónico: jglau@uacol.mx (Jorge Gudiño-Lau), cllamas2@uacol.mx (C.A. Llamas-Woodward), janethalcala@uacol.mx (J. Alcalá-Rodríguez), scharre@uacol.mx (S. Charre-Ibarra), ajarillo0205@gmail.com (A. Jarillo-Silva), mduran@uacol.mx (M. Durán-Fonseca).

Chaoran *et. al.* 2012, Henny, *et. al.* 2014). Algunas aplicaciones de seguimiento ocular y con el desarrollo de interfaces interacción humano computadora son empleados en (Bai, *et. al.* 2021, Fuchs, *et. al.* 2021, Tanaka, *et. al.* 2021). Otros estudios relacionados con este trabajo son presentados en (Al-Rahayfeh, *et. al.* 2013, Eid, *et. al.* 2016, Voznenko, *et. al.* 2017) donde manipulan de una silla de ruedas eléctrica a través del seguimiento de la posición de la cabeza de pacientes, así como las expresiones o gestos faciales y el seguimiento de los ojos. Sin embargo, los dispositivos de seguimiento ocular y los sistemas de reconocimiento de expresiones faciales están en desarrollo, y los modelos actuales que se ofrecen son prototipos en experimentación (Hua, *et. al.* 2016, Cojocar, *et. al.* 2019, Chatterjee, *et. al.* 2021, Cojocar, *et. al.* 2022), además todavía son demasiados costoso y difícil de adquirir. El presente artículo muestra un dispositivo de seguimiento ocular de una persona, actualmente está en su fase prototipo y de experimentación, pero la ventaja que es de bajo costo a los comerciales; teniendo las mismas bondades.

Para demostrar el buen funcionamiento del dispositivo de seguimiento ocular se realiza las pruebas en un equipo experimental, que consiste en manipular un robot manipulador a través de la tecnología inalámbrica bluetooth® que permite la comunicación de datos entre el robot y el dispositivo seguimiento ocular

## 2. Marco teórico

### 2.1. Eye tracking

Actualmente existen muchas definiciones de seguimiento ocular (del inglés eye tracking), pero se puede resumir que es una técnica mediante el movimiento ocular de una persona se miden de manera que el investigador conozca dónde está mirando una persona en un momento dado y la secuencia en la cual los ojos de la persona están cambiando de un lugar a otro (Poole and Ball, 2006). Esto se logra mediante un dispositivo digital o una computadora es posible rastrear el seguimiento de los ojos, esto permite analizar lo que un usuario está observando en tiempo real y de manera secuencial. Esto sucede debido al movimiento de los ojos para enfocarse en un punto en específico dentro del espacio visual y determinar la dirección de la mirada de la persona.

### 2.2. Técnicas de seguimiento ocular

#### 2.2.1. Sensado invasivo.

El inconveniente de esta técnica es que debe estar implementando en una lente de contacto especial con un espejo adaptado al ojo humano o un sensor de campo magnético. El seguimiento ocular se mide con el movimiento del lente de manera significativa cuando el ojo gire (Duchowski, 2017). Otro de los problemas es que debe estar instalado correctamente para no lastimar el ojo y pueda hacer las lecturas de manera correcta. En la Figura 1 se muestra el proceso de colocación de un dispositivo invasivo.

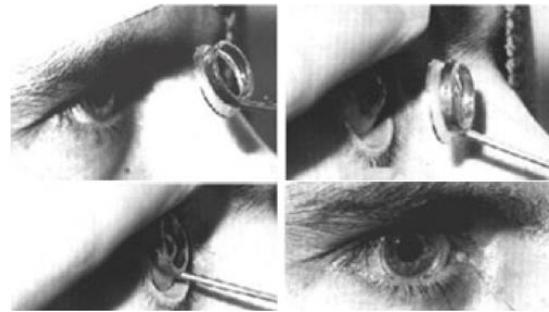


Figura 1. Dispositivo invasivo (Duchowski, 2017).

#### 2.2.2. Sensado no invasivo.

Este tipo de técnica hace un registro de lecturas sin la implementación de un dispositivo adaptado al ojo humano, es decir debe ser externo sin necesidad de obstruir la mirada del usuario, puede ser un lente ver Figura 2, una banda o casco ubicado en la cabeza del ser humano como se muestra en la Figura 3, remoto como tableta o laptop observar Figura 4.; y por último tenemos el montado en una torre. Para el muestreo se aplica luz infrarroja directamente al usuario con el objetivo de reflejarla en los ojos del sujeto para captarla empleando una cámara de video u otro sensor óptico. La información se extrae y se analiza para determinar la rotación de los ojos y las alteraciones en los reflejos.



Figura 2. Dispositivo no invasivo: lente (Tobii, 2022)



Figura 3. Dispositivo no invasivo: banda o casco montado en la cabeza (Martínez y Pingali, *et. al.* 2021).



Figura 4. Dispositivo no invasivo: remoto (tableta o laptop) (Martínez y Pingali, *et. al.* 2021).



Figura 5. Dispositivo no invasivo: montado en una torre (Martínez y Pingali, et. al. 2021).

Los dispositivos de seguimiento ocular basados en sensado no invasivo generalmente aplican el reflejo corneal como se muestra en la Figura 6, esto debido a la construcción del ojo humano se forman cuatro reflejos de Purkinje (Duchowski, 2017).

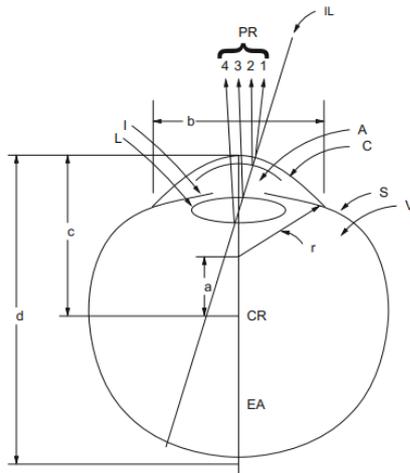


Figura 6. Imágenes de Purkinje. Reimpreso en forma adaptada de (Duchowski, 2017)

En la Figura 7 se muestra la metodología Purkinje de las posiciones relativas de la pupila del ojo humano de un usuario y las imágenes de Purkinje vistas por la cámara del seguimiento ocular (Duchowski, 2017), esta técnica se sigue empleando actualmente.

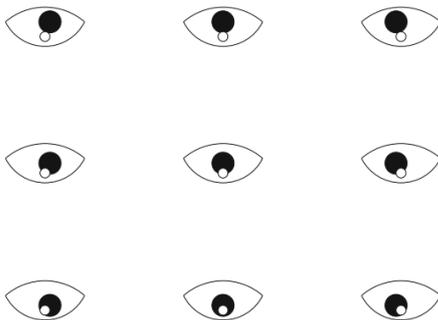


Figura 7. Posiciones de la pupila con la técnica de Purkinje (Duchowski, 2017)

### 2.3. Categorías de seguimiento ocular

Se pueden clasificar cuatro categorías metodologías de medición del movimiento ocular que involucran el uso o la medición de:

- electrooculografía (EOG),

- lente de contacto de búsqueda escleral,
- foto-oculografía (POG) o video-oculografía (VOG), y
- reflexión combinada de pupila/córnea basada en video

#### 2.3.1. Electrooculografía

El método electrooculografía es una de las técnicas más antiguas, sin embargo, se continúa aplicando hoy en día, tiene un inconveniente es molesto ya que consiste en colocar varios dispositivos alrededor del ojo como se muestra en la Figura 8, se basa en la medición de las diferencias de potencial eléctrico de la piel, de electrodos colocados alrededor del ojo.



Figura 8. Electrooculografía (Duchowski, 2017)

#### 2.3.2. Lente de contacto de búsqueda escleral

Este método es uno de la medición del movimiento ocular más precisos, que consiste en colocar un objeto de referencia mecánico u óptico montado en una lente de contacto que luego se usa directamente en el ojo humano; debe ser colocado correctamente para no sentir molestias en el ojo; como se observa en la Figura 1.

#### 2.3.3. Foto-oculografía (POG) o video-oculografía (VOG)

Este método agrupa una amplia variedad de técnicas de registro del movimiento ocular que involucran la medición de características de los ojos bajo rotación y traslación, por ejemplo, la forma aparente de la pupila, la posición del limbo (el contorno del iris-esclerótica) y la córnea, reflejos de una fuente de luz dirigida situada muy cerca (a menudo infrarrojos). En la Figura 9 se muestran ejemplos de aparatos e imágenes grabadas del ojo utilizadas en foto o video-oculografía o seguimiento del limbo.

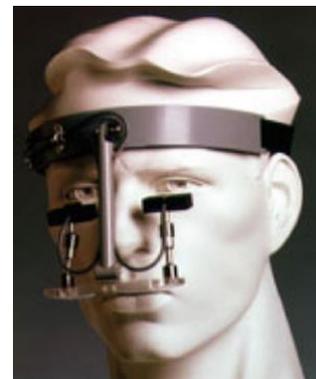


Figura 9. Foto-oculografía o video-oculografía (Duchowski, 2017).

### 2.3.1. Reflexión combinada de pupila/córnea basada en video

Otro de los métodos de medida, es la reflexión combinada que por lo general debe estar fija de modo que la posición del ojo en relación con la cabeza y el punto de mirada coincidan, o deben medirse varias características oculares para reconocer el movimiento de la cabeza de la rotación del ojo. Dos de estas características son el reflejo de la córnea (de una fuente de luz, generalmente infrarrojos) y el centro de la pupila. Tal como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Reflexión combinada de pupila (Duchowski, 2017).

## 3. Descripción del equipo experimental

En esta sección se abordan los temas y conceptos que requieren para el desarrollo del experimento del seguimiento ocular teniendo como base el sentido de la vista, las herramientas para detección de bordes y segmentación de imágenes que ofrece Matlab® y el enlace de este mismo con la placa de Arduino® y una webcam

### 3.1. Conexión Webcam - Matlab®

Una de las partes importantes es la conexión de cámaras web con la plataforma de Matlab®, es un vínculo necesario para la detección de objetos ya que a partir de este se adquiere la imagen que se necesita procesar la información. Para establecer la conexión es necesario instalar los paquetes de instalación, con esto establece compatibilidad para visualizar la imagen capturada desde el software. Para este caso la librería empleada es MATLAB® Support Package for USB Webcams.

### 3.2. Arduino® IO Package

Para establecer la comunicación entre Arduino® y Matlab® se utiliza una herramienta de software Arduino IO package diseñada por Mathworks®, la cual es muy útil para este prototipo. Consiste en un paquete de dos secciones un archivo como con extensión .m que corre cómo interfaz y cumple la función del cliente y la otra parte es un programa que corre en la placa. El uso de estas herramientas permite una conexión entre Arduino® y Matlab® para el envío de comando por medio del puerto USB.

### 3.3. Enlace Matlab® - Arduino®

Para la construcción del prototipo de seguimiento ocular se emplea una plataforma electrónica de código abierto como es el Arduino®, en este proyecto solo se emplea como una tarjeta de adquisición de datos, para ello es necesario instalar desde el sitio oficial de Matlab® los drivers y librerías para establecer una comunicación con la tarjeta de adquisición de datos desde el entorno de programación de Matlab®. Una vez instalado los programas, se puede iniciar con el enlace desde

el ide de Arduino®. La plataforma tiene una serie de programas para orientar al usuario, entre ellos se puede encontrar el software por defecto que ofrece Arduino® para establecer una conexión con el Matlab®, es necesario cargar el código que ofrece en la placa.

### 3.4. Camara

Se utiliza una cámara web de bajo costo, pero con una resolución óptima que facilite la detección del ojo humano. La cámara tiene una resolución de 1080p, sólo se utiliza la parte electrónica y el cable de datos, ya que se busca es construir un prototipo ligero que no genere incomodidades o que obstruya la visión del usuario. Además, se añade una fuente de luz IR, además se usa este tipo de iluminación debido que esta no genera molestias al usuario ya que no es perceptible por la visión humana. Por último, debido a la incorporación de luz infrarroja fue necesario retirar el filtro IR con el que cuentan las cámaras para descartar aquellos colores que no son perceptibles por el ojo humano. La Figura 11 muestra la cámara empleada para el seguimiento ocular, como se puede observar la fuente de luz IR y las conexiones electrónicas.



Figura 11. Camara con fuente de luz IR externa.

En la Figura 12 se aprecia la detección realizada con la cámara y el procesamiento de imágenes en tiempo real; como se puede observar se visualiza la detección del ojo humano con la marcación de un recuadro alrededor del objeto orientándolo a su centro; por lo que la cámara cumple con el objetivo del seguimiento ocular.



Figura 12. Seguimiento del ojo con la camara del prototipo.

### 3.5. Interfaz gráfica hombre-computadora

Se desarrolla una interfaz gráfica hombre-computadora amigable para el usuario en GUIDE Matlab®, tiene la

capacidad de regular la intensidad de la fuente de iluminación IR de manera digital, para ello se utiliza el toolbox que ofrece Matlab® para comunicarte y programar la placa de Arduino® desde Matlab®, ver Figura 13. Durante las pruebas, de calibración del dispositivo en un ambiente con iluminación matutina; el único parámetro que se altera es el de iluminación.



Figura 13. GUIDE Matlab® para el seguimiento del ojo.

### 3.6. Robot manipulador

Para realizar la prueba experimental se emplea un robot manipulador de tres grados de libertad más la apertura y cierre de la pinza, el modelo es el mk1, las dimensiones con brazo estirado es de 21x25x9 cm (alto, largo, ancho) como el que se muestra en la Figura 14, con la finalidad de probar el seguimiento ocular de un usuario, es manipulado por grado de libertad (cintura, hombro, codo y pinza), se emplea en un brazo educativo ya que son pruebas experimentales y así no dañar a un robot manipulador real.



Figura 14. Robot manipulador educativo.

## 4. Pruebas experimentales

En esta sección se muestran las pruebas experimentales realizadas al prototipo de seguimiento ocular, en la Figura 15 se muestra el diagrama del proceso en cuatro pasos. Primero se coloca el dispositivo de seguimiento ocular sobre un lente común para que la lectura sea más precisa.

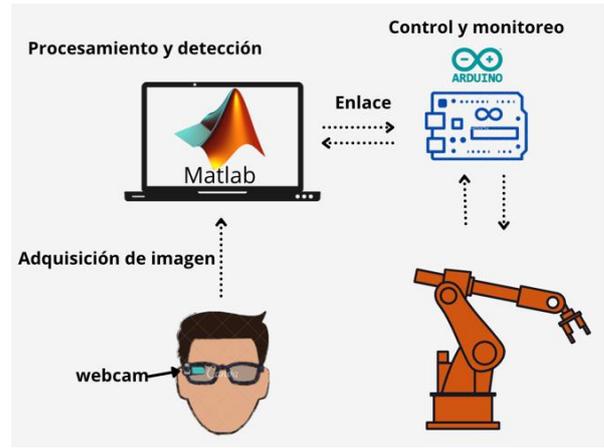


Figura 15. Diagrama esquemático del prototipo.

El segundo paso se diseña una interfaz hombre-computadora-robot en Matlab® usable para la lectura del ojo humano y convertir a coordenadas cartesianas como se observa en la Figura 16, con la finalidad ubicar la posición del ojo humano en la pantalla, ver Figura 17. Como tercer paso, se trabaja con la tarjeta Arduino como adquisición de datos, que es la encargada de enviar la información del ojo humano al brazo robot y por último tenemos brazo robot de tres grados de libertad.

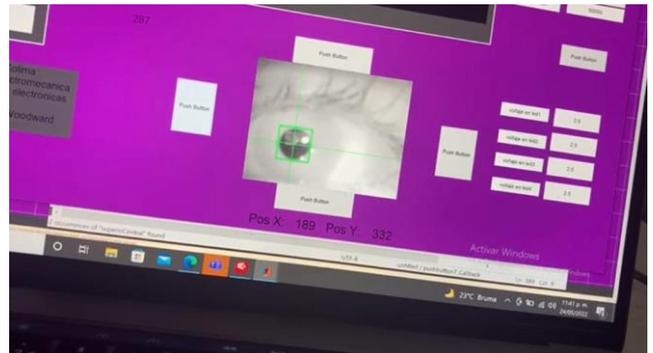


Figura 16. Ubicación del puntero ocular en coordenadas cartesianas

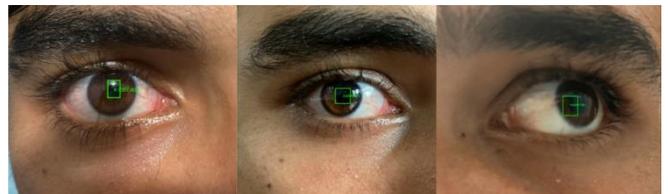


Figura 17. Pruebas experimentales del ojo

Como se observa en la Figura 18 el prototipo de seguimiento ocular no invasivo está montado en una lente como se observa en la Figura 15, este prototipo paso por varias etapas de prueba para tener una ergonomía adaptable al usuario y actualmente está en la fase de prueba.



Figura 18. Prototipo final de seguimiento ocular

La interfaz hombre-computadora amigable es mostrada en la Figura 19 para manipular el robot, como se observa tiene una sección de ubicación y lectura del ojo humano, otra parte para calibración de la iluminación y otra sección para manipular el brazo robot.

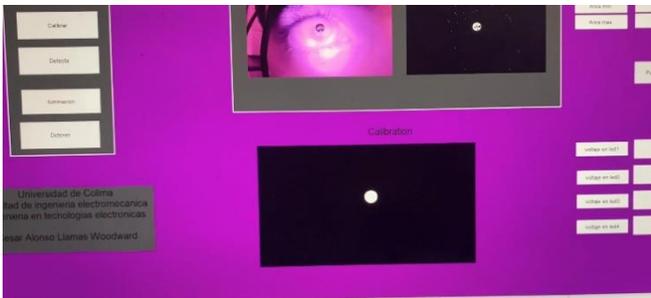


Figura 19. GUIE Matlab® de seguimiento ocular y manipulación del robot.

En la Figura 20 se muestra a un usuario utilizando el dispositivo de seguimiento ocular y el brazo robot es manipulado a distancia a través de la tecnología inalámbrica bluetooth®. La distancia de la cámara al ojo humano es de aproximadamente 10 cm. y tiene un ángulo inclinación entre 1 a 5 grados; para su correcto funcionamiento; además debe tener una buena iluminación. Para observar las pruebas de funcionamiento del de seguimiento ocular y del robot manipulador experimental es mostrado en video en el link <https://drive.google.com/file/d/1dbHcnsE7vbxxe3BhIQARvqFrhx9g1JML/view?usp=sharing>. En el video se observa a un usuario con el dispositivo montado en el lente y mirando la interfaz gráfica humano-computadora para manipular el brazo robot, como se puede apreciar lo hace manera correcta. Lo que permite determinar que el prototipo y la interfaz humano-computadora funcionan correctamente.



Figura 20. Usuario con equipo de seguimiento ocular

## 5. Conclusiones

Este artículo muestra la construcción de un dispositivo de seguimiento ocular no invasivo de bajo costo y una interfaz gráfica hombre-computadora usable para la manipulación de un brazo robot. La principal aportación de este artículo se sitúa en la construcción de un prototipo o plataforma experimental de seguimiento ocular que captura la información del dispositivo de seguimiento ocular y la manipulación de un robot a distancia. En (Xu, *et. al.* 2022), proponen un sistema similar para obtener la posición de la mirada del usuario en tiempo real.

En las pruebas experimentales los resultados son muy buenos, se desarrolló un dispositivo de seguimiento de ojo no invasivo empleando la técnica video-oculografía que consiste en detectar el movimiento del ojo mediante el reflejo de una fuente de luz dirigida situada muy cerca del ojo humano, una interfaz hombre-computadora-robot usable de tal manera que cualquier persona pueda manipular el software, el dispositivo de seguimiento ocular y el robot. Para demostrar que el prototipo funciona correctamente, se realiza diez pruebas con usuarios distintos para conocer la usabilidad del dispositivo de seguimiento ocular, teniendo como resultados que el 100% de las personas se adaptaron fácilmente al prototipo y al manejo de la interfaz gráfica, ver Fig. 21. En (Scalera, *et. al.* 2022), se realiza un trabajo similar a este, con equipos de robots experimentales y con un seguidor de ojo comercial Tobii Eye Tracker 4C (Tobii Technology, Danderyd, Sweden), que es montado en el monitor; sin embargo, el costo es muy elevado, por lo que el dispositivo propuesto en este trabajo es de bajo costo y fácil de poder adquirir.

Como trabajo futuro se quiere extender esta aplicación a un robot manipulador industrial de la marca KUKA KR-16 como el mostrado en el video. Además, el dispositivo del seguimiento de ojo puede fácilmente emplear a la manipulación de una silla de ruedas eléctrica para personas que no tengan movilidad motriz en el parte superior e inferior del ser humano. Otros de los trabajos es mejorar el modelo del seguidor de ojos para que sea más ergonómico, práctico y usable.



Figura 21. Pruebas experimental del prototipo terminado.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima por las facilidades otorgadas para realizar este trabajo de investigación.

## Referencias

- Carelli, L.; Solca, F.; Tagini, S.; Torre, S.; Verde, F.; Ticozzi, N.; Ferrucci, R.; Pravettoni, G.; Aiello, E.N.; Silani, V. (2022). Gaze-Contingent Eye-Tracking Training in Brain Disorders: A Systematic Review. *Brain Sci.* <https://doi.org/10.3390/brainsci12070931>
- Poletti, B.; Carelli, L.; Solca, F.; Lafronza, A.; Pedroli, E.; Faini, A.; Zago, S.; Ticozzi, N.; Ciammola, A.; Morelli, C. (2017). An eye-tracking controlled neuropsychological battery for cognitive assessment in neurological diseases. *Neurol. Sci.* 38, 595–603.
- Tao, L.; Wang, Q.; Liu, D.; Wang, J.; Zhu, Z.; Feng, L. (2020). Eye tracking metrics to screen and assess cognitive impairment in patients with neurological disorders. *Neurol. Sci.* 41, 1697–1704.
- Syamimi Shamsuddin, Hanafiah Yusoff, Luthffi Ismail, Fazah Akhtar Hanapiah, Salina Mohamed, Hanizah Ali Piah, and Nur Ismarrubie Zahari. (2012) Initial response of autistic children in human-robot interaction therapy with humanoid robot NAO. In *Proceedings of the 2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications*. 188–193.
- Kerstin Fischer. Interpersonal variation in understanding robots as social actors. (2011). In *Proceedings of the 6th International Conference on Human-Robot Interaction*. ACM, 53–60.
- Fumihide Tanaka and Shizuko Matsuzoe. (2012). Children teach a care-receiving robot to promote their learning: Field experiments in a classroom for vocabulary learning. *Journal of Human-Robot Interaction*.
- Henny Admoni, Christopher Datsikas, and Brian Scassellati. (2014) Speech and gaze conflicts in collaborative human-robot interactions. In *Proceedings of the 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society (CogSci'14)*.
- Chaoran Liu, Carlos T. Ishi, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. (2012). Generation of nodding, head tilting and eye gazing for human-robot dialogue interaction. In *Proceeding of the 2012 7th ACM/IEEE International Conference Human-Robot Interaction (HRI)*. IEEE, 285–292.
- B. Mutlu, T. Shiwa, T. Kanda, H. Ishiguro, and N. Hagita. (2009) Footing in human-robot conversations: How robots might shape participant roles using gaze cues. In *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*. ACM, 61–68.
- Rich, Charles, Brett Ponsler, Aaron Holroyd, and Candace L. Sidner. (2010). Recognizing engagement in human-robot interaction. In *Proceedings of the 2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. IEEE, 375–382. Staudte, Maria Staudte and Matthew W. Crocker. (2011). Investigating joint attention mechanisms through spoken human-robot interaction. *Cognition* 120, 2 (2011), 268–291.
- Tanaka, Y.; Kanari, K.; Sato, M. (2021). Interaction with virtual objects through eye-tracking. *Int. Workshop Adv. Image Technol.* 2021.
- Fuchs, S.; Belardinelli, A. Gaze-Based. (2021). Intention Estimation for Shared Autonomy in Pick-and-Place Tasks. *Front. Neurobotics* 2021. 2021.
- Bai, K.; Wang, J.; Wang, (2020). H. Study on Fixation Effect of Human Eye to Calibration Interface. *Trans. Beijing Inst. Technol.* 2020.1195–1202.
- Eid, M.A.; Giakoumidis, N.; El Saddik, A. (2016). A Novel Eye-Gaze-Controlled Wheelchair System for Navigating Unknown Environments: Case Study with a Person with ALS. *IEEE-4*, 558–573.
- Al-Rahayfeh, A.; Faezipour, M. (2013). Eye Tracking and Head Movement Detection: A State-of-Art Survey. *IEEE J. Transl. Eng. Health Med.* 2013.
- Voznenko, T.I.; Chepin, E.V.; Urvanov, G.A. (2017). The Control System Based on Extended BCI for a Robotic Wheelchair. In *Proceedings of the 8th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, BICA, Moscow, Russia*, 1–5.
- Hua, B.; Hossain, D.; Capi, G.; Jindai, M. (2016). Yoshida, I. Human-like Artificial Intelligent Wheelchair Robot Navigated by Multi-Sensor Models in Indoor Environments and Error Analysis. In *Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS, Tokyo, Japan*, 17–20.
- Chatterjee, S.; Roy, S. (2021). A low-cost assistive wheelchair for handicapped & elderly people. *Ain Shams Eng. J.*, 12, 3835–3841.
- Cojocar, D.; Manta, L.F.; Vladu, I.C.; Dragomir, A.; Mariniuc, A.M. (2019). Using an Eye Gaze New Combined Approach to Control a Wheelchair Movement. In *Proceedings of the 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*. Sinaia, Romania, 9–11
- Cojocar, D.; Manta, L.F.; Pan'a, C.F.; Dragomir, A.; Mariniuc, A.M.; Vladu, I.C. (2022). The Design of an Intelligent Robotic Wheelchair Supporting People with Special Needs, Including for Their Visual System. *Healthcare*. <https://doi.org/10.3390/healthcare10010013>
- Poole, A. and Ball, L. J. (2016). Eye tracking in HCI and usability research. *Encyclopedia of human computer interaction*. 211–219.
- Duchowski- (2017). A. Eye tracking methodology: Theory and practice. Tobii (2022). <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-glasses-3/>
- Martinez-Marquez, D.; Pingali, S.; Panuwatwanich, K.; Stewart, R.A.; Mohamed, S. (2021). Application of Eye Tracking Technology in Aviation, Maritime, and Construction Industries: A Systematic Review. *Sensors*.
- Xu, B.; Li, W.; Liu, D.; Zhang, K.; Miao, M.; Xu, G.; Song, (2022). A. Continuous Hybrid BCI Control for Robotic Arm Using Noninvasive Electroencephalogram, Computer Vision, and Eye Tracking. *Mathematics* 2022, 10, 618. <https://doi.org/10.3390/math10040618>.
- Scalera, L.; Seriani, S.; Gallina, P.; Lentini, M. (2021) Gasparetto, A. Human-Robot Interaction through Eye Tracking for Artistic Drawing. *Robotics*, 10, 54. <https://doi.org/10.3390/robotics10020054>