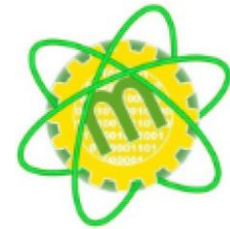




**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# TRABAJO DE TITULACIÓN

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA, CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CABEZA ANIMATRÓNICA CON PERCEPCIÓN SENSORIAL CAPAZ DE REALIZAR GESTOS Y EXPRESIONES PARA FACILITAR LA COMUNICACIÓN DE NIÑOS Y NIÑAS CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA (TEA)

## AUTOR:

RENDÓN CHICAIZA, DIEGO ARMANDO

## DIRECTOR:

ING. MENDOZA CHIPANTASI, DARÍO JOSÉ

**LATACUNGA - 2021**



# CONTENIDO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

DISEÑO

INTERFAZ

CONSTRUCCIÓN

PRUEBAS Y RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# RESUMEN

El presente trabajo de titulación exhibe el diseño y construcción de una cabeza animatrónica capaz de realizar expresiones faciales que representen las seis emociones básicas (felicidad, ira, tristeza, asco, sorpresa y miedo), con el objetivo de facilitar la comunicación de niños y niñas con Trastorno del Espectro Autista (TEA). El trabajo está compuesto por elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control; mismos que se orientan para controlar a los actuadores colocados al interior del robot para realizar los gestos sobre un rostro de silicona y, también, a los exteriormente ubicados para mover el cuello. La cabeza animatrónica tiene una apariencia caricaturesca con la intención de verse confiable y amigable con los usuarios; además, su control se efectúa mediante una interfaz gráfica de usuario programada en Python, misma que presenta varias actividades de expresión facial enfocadas a describir los puntos clave para reconocer las emociones básicas. El sistema de visión artificial cuenta con su propia interfaz, implementada para el seguimiento de rostros y reconocimiento de usuarios. Finalmente, el propósito del proyecto, de presentar una alternativa asequible a la sociedad para el tratamiento de niños y niñas con TEA enfocado en la enseñanza de expresiones faciales, se evalúa con pruebas de funcionamiento y encuestas a los participantes, del mismo modo se utiliza la prueba del Chi-Cuadrado para validar la hipótesis propuesta, la cual confirma los resultados obtenidos en las pruebas y afirma el funcionamiento de la cabeza animatrónica.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a los trastornos del espectro autista (TEA) como alteraciones del comportamiento que aparecen en los primeros años de vida.
- Las personas con TEA muestran dificultades comunicándose y participando dentro de la sociedad.
- Las terapias de los TEA se realizan principalmente con métodos de aprendizaje convencionales como el TEACCH (Tratamiento y Educación de Niños con Autismo y Problemas Asociados de Comunicación).
- En Ecuador no existe una amplia disponibilidad de artefactos tecnológicos que aporten en el tratamiento de los TEA, esencialmente de robots sociales que enseñen a las personas a reconocer emociones a través del lenguaje físico expresado por el rostro.



# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una cabeza animatrónica con percepción sensorial capaz de realizar gestos y expresiones para facilitar la comunicación de niños y niñas con trastorno del espectro autista (TEA).

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los parámetros estéticos que debe cumplir el robot a fin de ser atractivo para los niños y niñas con TEA.
- Diseñar y construir una estructura de soporte para los componentes cumpliendo con los parámetros estéticos.
- Instalar un sistema de percepción sensorial y de actuadores capaz de replicar las expresiones faciales de felicidad, ira, tristeza, asco, sorpresa, desprecio y miedo.
- Plantear un sistema de visión artificial para que el robot sea autónomo y uno de control que permita al usuario controlar al robot.
- Verificar la funcionalidad del robot mediante evaluaciones que pongan a prueba su destreza en mostrar emociones.



# FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- **Autismo:** Término definido por primera vez por el Dr. Leo Kanner en 1943 en su estudio “Trastornos Autistas del Contacto Afectivo”. Caracteriza a individuos con un comportamiento altamente individualista, incapaces de interactuar con los demás. Es una “afección neurológica y de desarrollo que comienza en la niñez y dura toda la vida.”



- **Robótica:** Ciencia que se encarga de estudiar específicos sistemas mecánicos, denominados manipuladores, que son aparatos sustitutivos del personal humano para realizar algún trabajo, y que cuenta con amplios campos de aplicaciones, tanto en ámbitos industriales, académicos y domésticos.



# FUNDAMENTOS TEÓRICOS



- **Robots Sociales:** Diseñados específicamente para interactuar con seres humanos en ámbitos sociales. Son de aspecto amigable y cuentan con alta capacidad de comunicación verbal y no verbal, siendo capaces de mostrar emociones mediante gestos, tonos, lenguaje corporal, etcétera.
- **Animatrónica:** Tecnología multidisciplinaria que reúne a la mecatrónica, la anatomía y la animación para crear dispositivos que simulen la conducta de los seres humanos, animales o cosas con movimientos realistas, sean estos preprogramados o controlados manualmente.



# FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- **Expresiones Universales de la Emoción:** Proposición de Ekman y Oster en 1981, que definen la existencia de seis expresiones universales, innatas y cruciales para la formación de relaciones interpersonales, estas son: ira, asco, alegría, tristeza o malestar, miedo y sorpresa.
- **Sistema de Codificación de Acción Facial (FACS):** Sistema que detalla las unidades de acción (AU) que representan a los movimientos de contracción y relajación de los músculos faciales, y sus miles de posibles combinaciones, mismas que dan paso para representar todas las expresiones faciales.



AU4: Bajar las cejas





# FUNDAMENTOS TEÓRICOS



AU1: Elevación interior de cejas



AU2: Elevación exterior de cejas



AU4: Bajar las cejas



AU5: Elevación del párpado superior



AU6: Elevación de mejillas



AU7: Estrechamiento de párpados



AU9: Arrugar la nariz



AU10: Elevación del labio superior



AU12: Extensión de comisuras



AU15: Depresión de comisuras



AU16: Descenso del labio inferior



AU20: Estiramiento de labios



AU23: Estrechamiento de labios



AU26: Caída de mandíbula

Existen 14 AU, asociadas a los movimientos de las cejas, párpados, labios y boca.

Emoción	AU
Felicidad	6+12
Ira	4+5+7+10+23
Tristeza	1+4+6+15
Asco	9+10+15+16
Sorpresa	1+2+5+26
Miedo	1+2+4+5+7+20 +26



# DISEÑO

- La metodología de diseño considerada se basa en el proceso genérico de desarrollo de un producto.
- Mediante una formulación estructurada se describen los requerimientos del sistema, la generación de alternativas, la arquitectura del sistema, las especificaciones, y finalmente, las pruebas y refinamiento, a fin de obtener un diseño que satisfaga las necesidades del usuario.



# DISEÑO

N.	Necesidades del Usuario
1	El robot debe hacer expresiones faciales de fácil comprensión.
2	El robot debe hablar, pero no muy rápido.
3	El robot debe enfocarse en la educación y brindar refuerzos positivos.
4	El robot debe ser seguro para niños.
5	El robot debe ser interactivo con los niños.
6	El robot debe tener una apariencia amigable y atractiva para los niños.
7	El robot debe realizar movimientos controlados o no bruscos.
8	El robot no debe ser ruidoso ni sobre estimulante.
9	El robot debe tener un comportamiento repetitivo.
10	El robot debe ser sencillo de controlar o manejar.
11	El robot debe permitir realizar nuevos movimientos con facilidad.
12	El robot debe reconocer y seguir un rostro.
13	El robot debe ser liviano y compacto.
14	El robot no debe tener un alto costo.



# DISEÑO

N.	Métricas	Unidades
1	Dimensiones	Milímetros (mm)
2	Masa total	Kilogramos (kg)
3	Nivel de ruido	Decibelios (dB)
4	Movimiento del robot	Grados de libertad (GDL)
5	Sintetizador de voz	Palabras por minuto
6	Diseño de interfaz	Subjetivo
7	Diseño de mecanismos	Subjetivo
8	Diseño estético	Subjetivo
9	Modularidad	Número de partes
10	Programación	Subjetivo
11	Visión artificial	Cuadros por segundo (fps)
12	Costo de manufactura	Dólares (US \$)



# DISEÑO

N.	Métricas	Unidades
1	Programación	15
2	Diseño estético	14
3	Diseño de interfaz	13
4	Diseño de mecanismos	9.2
5	Movimiento del robot	9.2
6	Costo de manufactura	9
7	Visión artificial	6.4
8	Nivel de ruido	6.4
9	Sintetizador de voz	6.3
10	Masa total	4.7
11	Modularidad	4
12	Dimensiones	3.5



# DISEÑO

## PLANTEAMIENTO DE ESPECIFICACIONES:

- El diseño estético de la cabeza animatrónica no está condicionado por el valle de incertidumbre, no obstante, este debe tener un aspecto amigable para los niños.
- El sistema de visión artificial combina con el de percepción sensorial para formar un solo sistema, dividido en: visión, a cargo de la detección y el reconocimiento facial; tacto, para que el robot detecte y reaccione ante estímulos medidos por un sensor de presión colocado en la estructura del robot; y el habla, capacidad proporcionada mediante un parlante para impartir avisos e instrucciones básicas.
- Para evitar ambigüedad entre las emociones de asco y desprecio, el robot utiliza el concepto propuesto por el Dr. Ekman, que precisa la existencia de seis emociones universales, siendo estas: la felicidad, la ira, la tristeza, el asco, la sorpresa y el miedo.



# DISEÑO

## ARQUITECTURA DEL SISTEMA:

N.	Módulo	Submódulo	Funciones
1	<b>Estructura</b>	Estética Fabricación Material del rostro	Especificar materiales que garanticen una adecuada funcionalidad y la concreta aceptación del usuario.
2	<b>Movimiento</b>	Mecanismo ojos Mecanismo boca Mecanismo cuello	Brindar la movilidad necesaria para completar las acciones con las que se emiten las expresiones faciales.
3	<b>Eléctrica y Electrónica</b>	Actuadores Tarjeta de control Suministro de energía	Coordinar el movimiento adecuado de los actuadores y las funciones del robot.
4	<b>Visión Artificial</b>	Software de programación Cámara Detección facial Reconocimiento facial	Asegurar la detección de un rostro y concreta su reconocimiento.
5	<b>Interacción</b>	Aplicación Comunicación por voz	Gestionar el vínculo entre el usuario y la cabeza animatrónica.



# DISEÑO

## GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS:

### MÓDULO 1 (ESTRUCTURA) – Estética:

- Personaje con rasgos caricaturescos.

### MÓDULO 1 (ESTRUCTURA) – Fabricación:

- Impresión 3D con material PLA.

### MÓDULO 1 (ESTRUCTURA) – Material del Rostro:

- Caucho de Silicona.

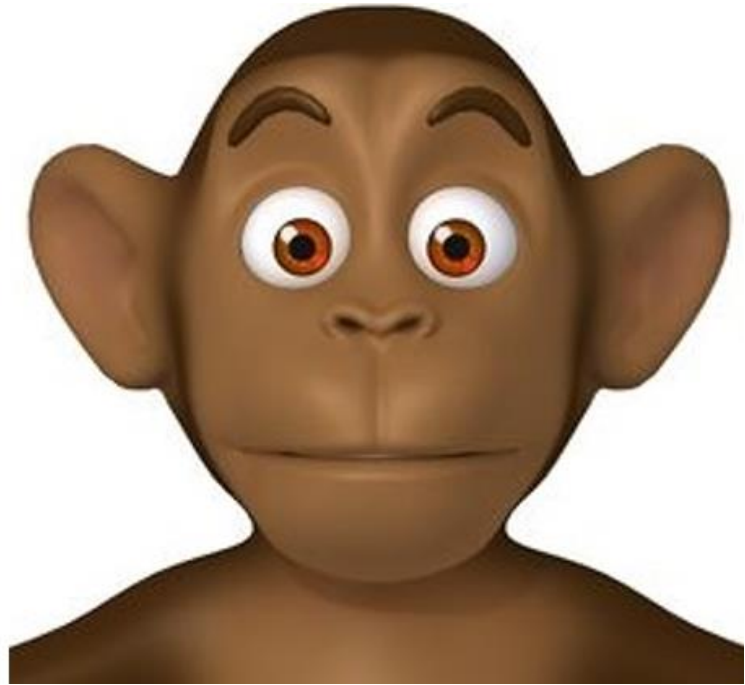




# DISEÑO

## GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS:

### MÓDULO 1 (ESTRUCTURA) – Estética:



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO

## GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS:

### MÓDULO 2 (MOVIMIENTO) – Mecanismo Ojos:

- Movimiento paralelo de ojos y párpados.

### MÓDULO 2 (MOVIMIENTO) – Mecanismo Boca:

- Simple con acople de labios por alambre.

### MÓDULO 2 (MOVIMIENTO) – Mecanismo Cuello:

- Solo con movimientos de rotación, extensión y flexión.



# DISEÑO

## GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS:

### MÓDULO 3 (ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA) – Actuadores:

- Servomotor

### MÓDULO 3 (ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA) – Tarjeta de Control:

- Arduino con módulo PCA9685.

### MÓDULO 3 (ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA) – Suministro de Energía:

- Fuente de poder.



# DISEÑO

## GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS:

### MÓDULO 4 (VISIÓN ARTIFICIAL) – Software de Programación:

- Python.

### MÓDULO 4 (VISIÓN ARTIFICIAL) – Cámara:

- Arducam IMX291.

### MÓDULO 4 (VISIÓN ARTIFICIAL) – Detección Facial:

- Haar-Cascade.

### MÓDULO 4 (VISIÓN ARTIFICIAL) – Reconocimiento Facial:

- Librería “Face Recognition”.



# DISEÑO

## GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS:

### MÓDULO 5 (INTERACCIÓN) – Aplicación:

- Tkinter.

### MÓDULO 5 (INTERACCIÓN) – Comunicación por Voz:

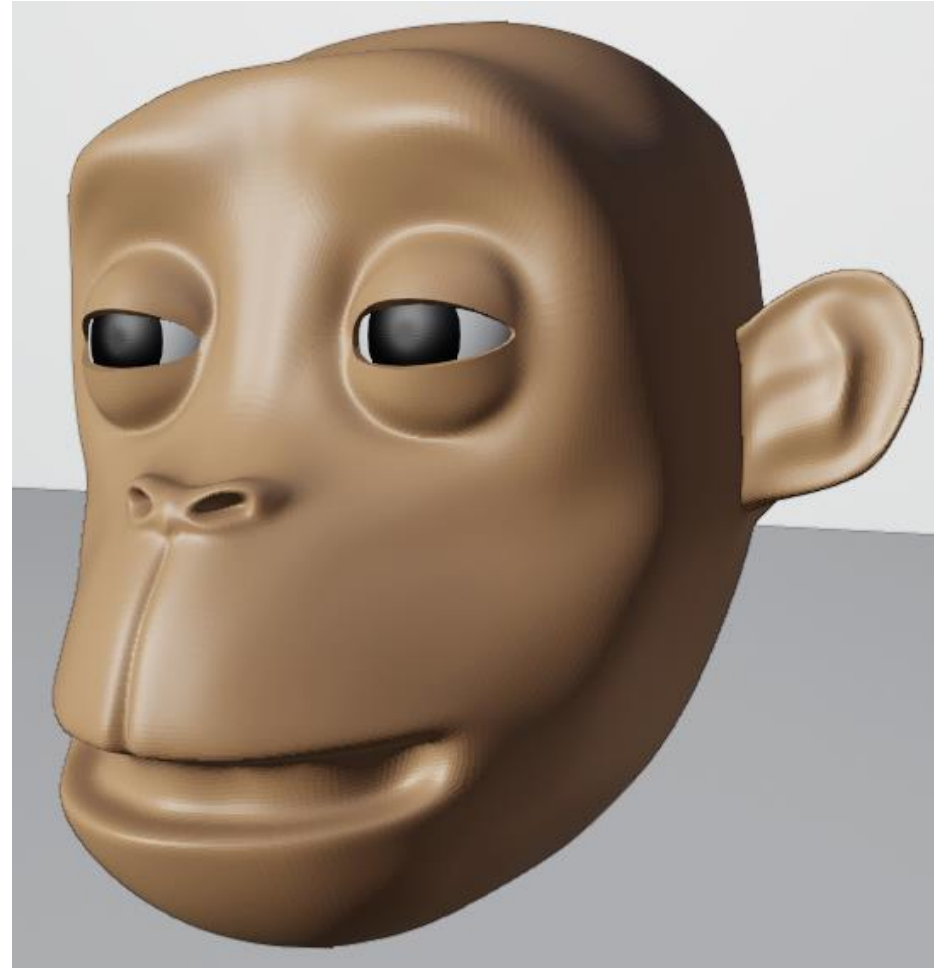
- Módulo MP3 DFPlayer mini



# DISEÑO

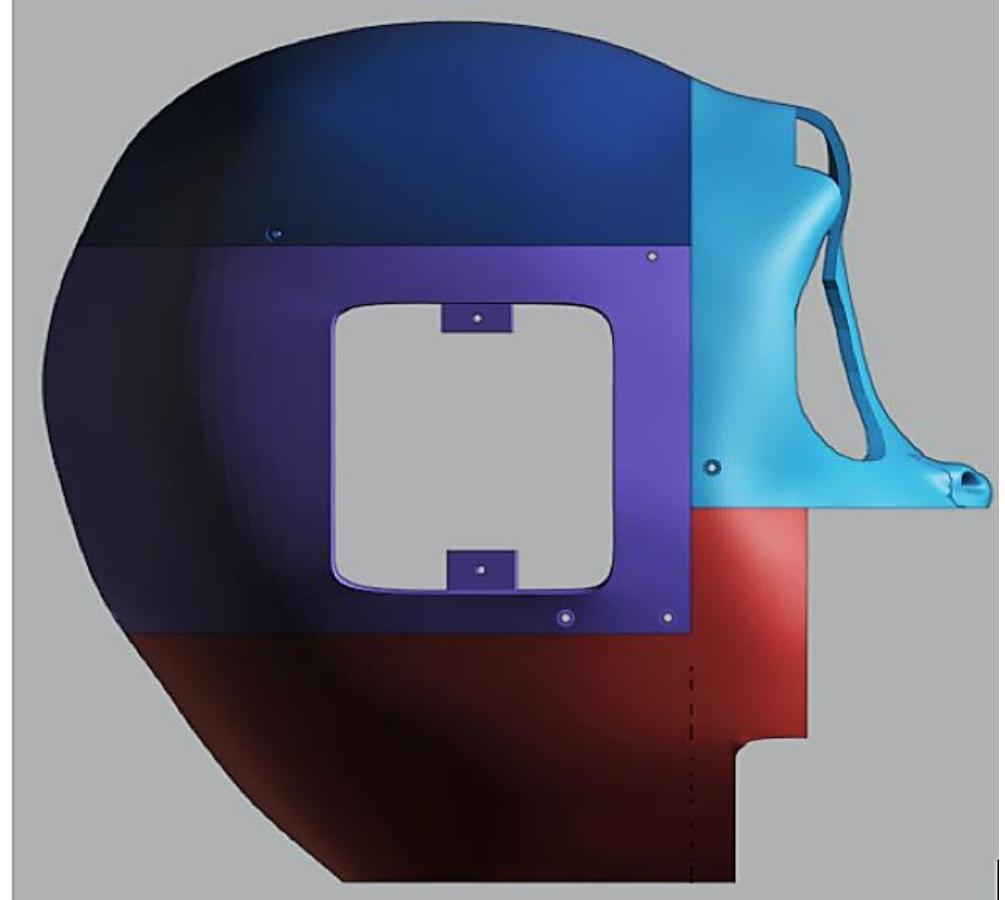
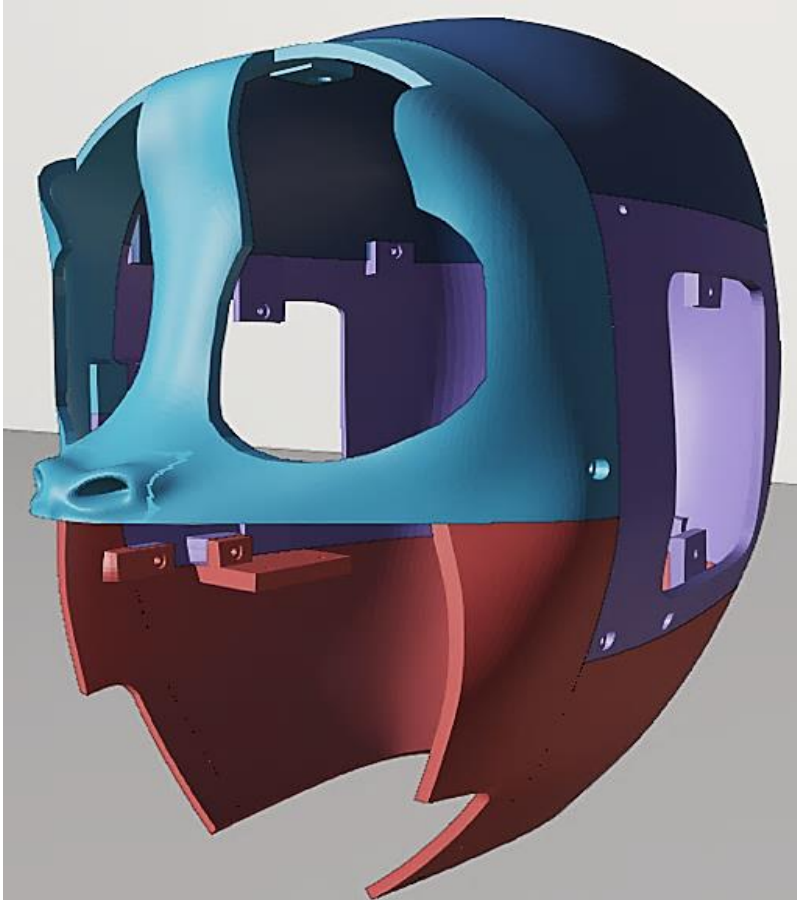
## DISEÑO ESTÉTICO :

- Está compuesto por dos grupos: el modelo estético del robot y los mecanismos y estructura de soporte de la cabeza.
- El diseño del modelo estético y mecanismos (ojos, boca, labios y cuello) de la cabeza animatrónica sigue el método de ensayo y error, proceso que permite encontrar una solución a un problema a partir de la prueba de diferentes alternativas.



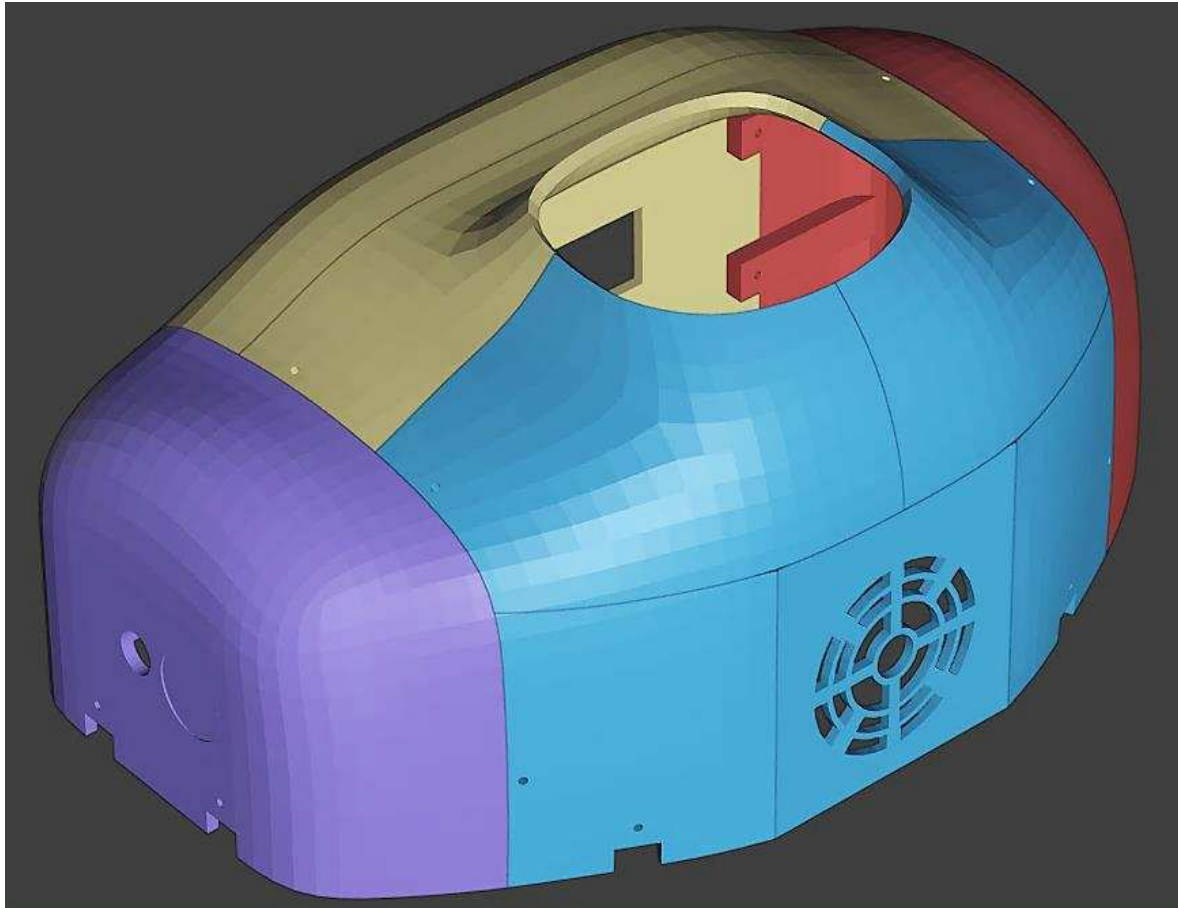
# DISEÑO

## DISEÑO ESTÉTICO :



# DISEÑO

## DISEÑO ESTÉTICO:

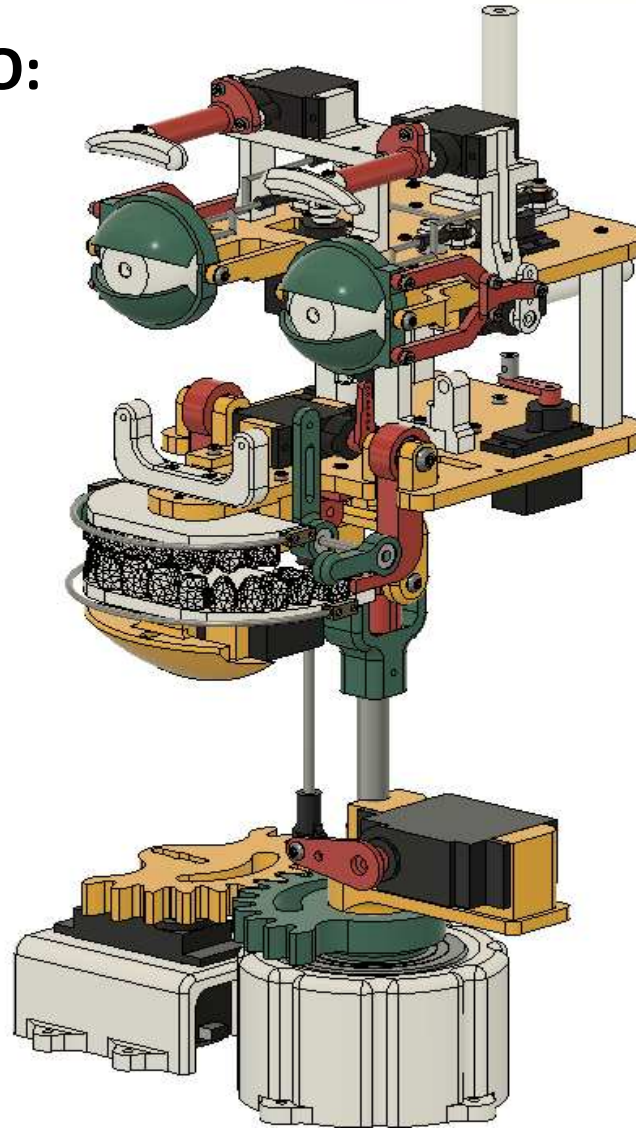


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# DISEÑO

## DISEÑO MECÁNICO:

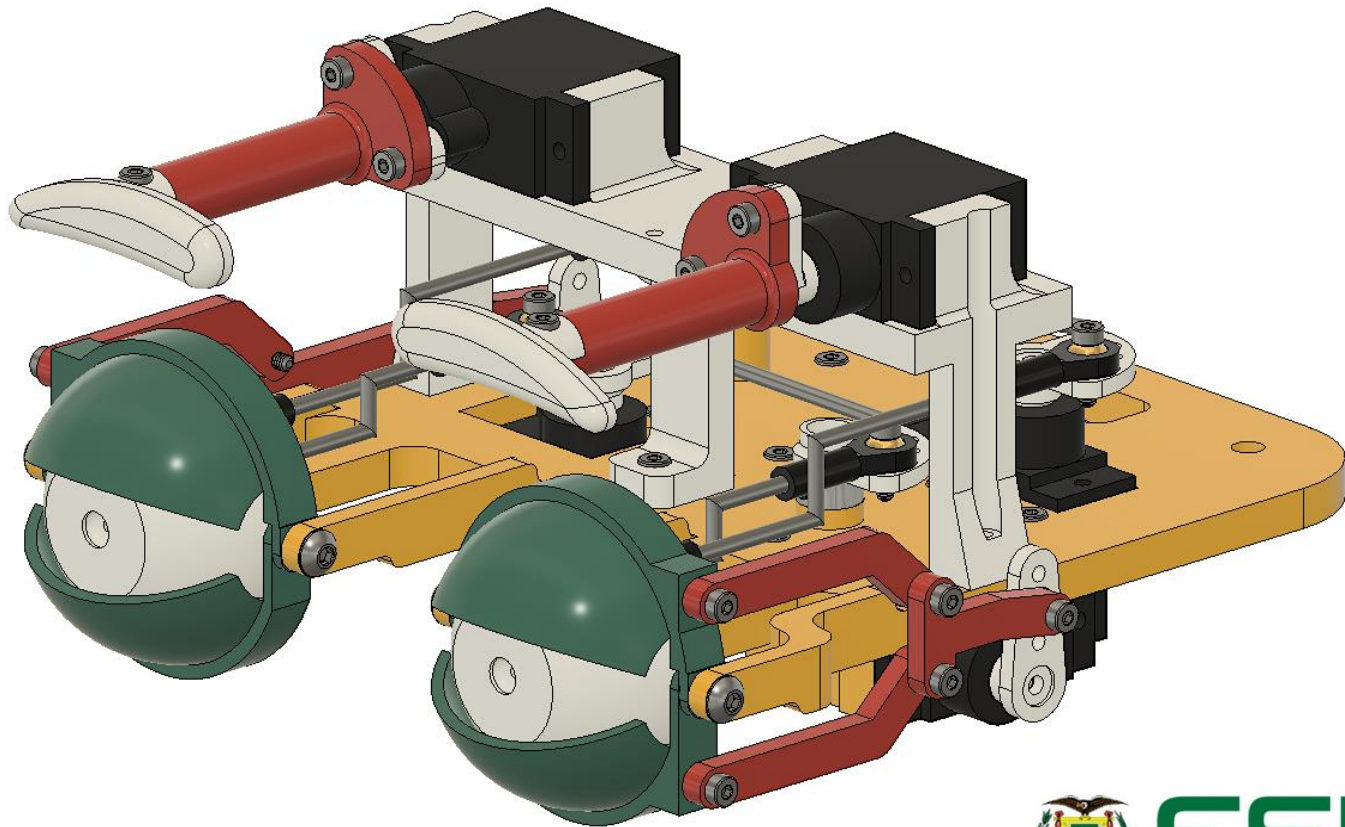


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO

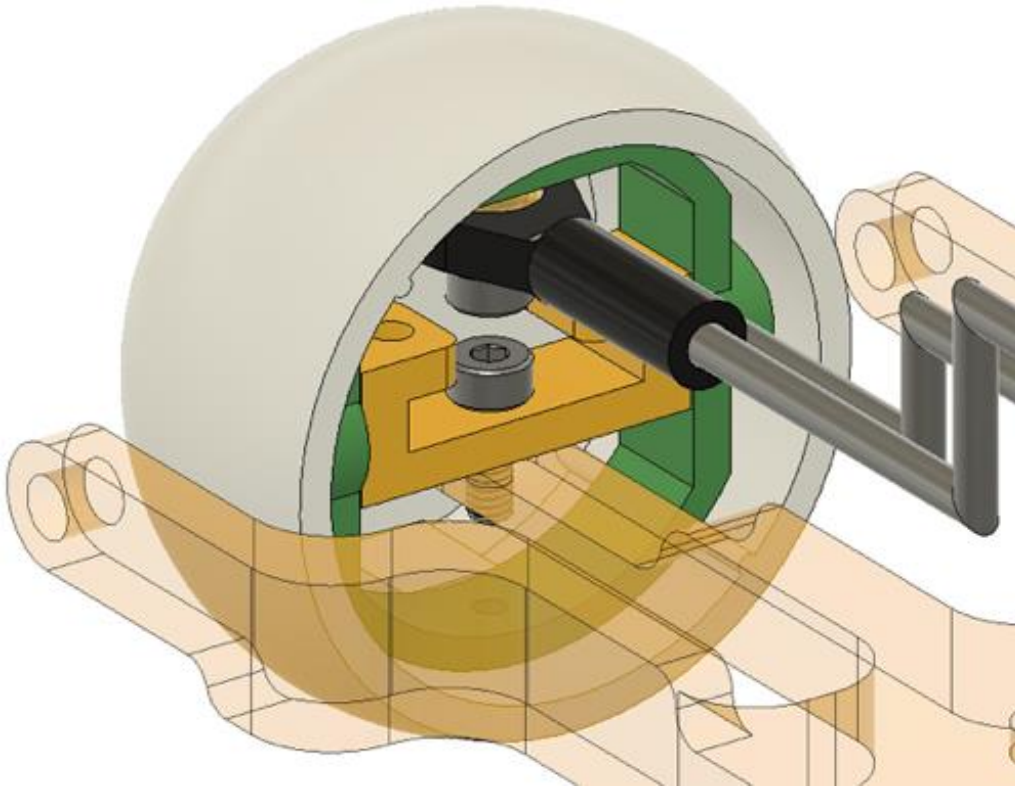
## MECANISMO DE OJOS:

- Compuesto por un sistema que duplica el movimiento de un ojo al otro, con movimiento de párpados y cejas independiente para cada caso.



# DISEÑO

## MECANISMO DE OJOS:



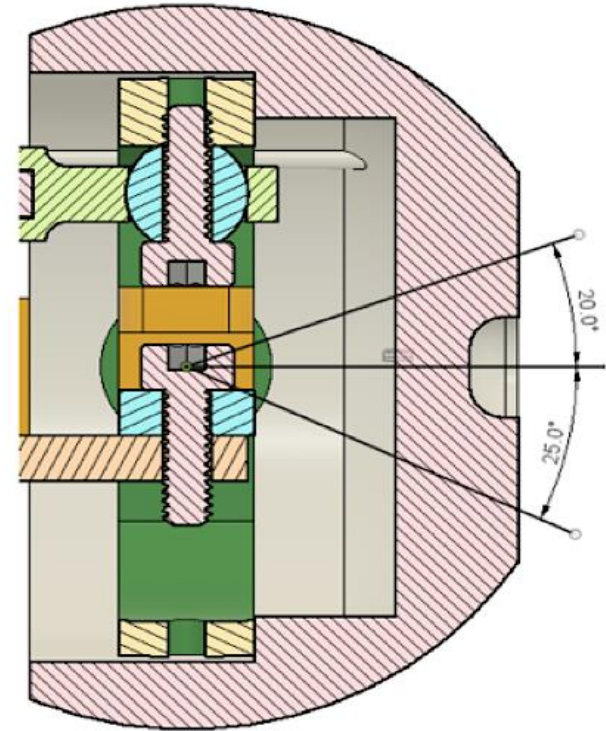
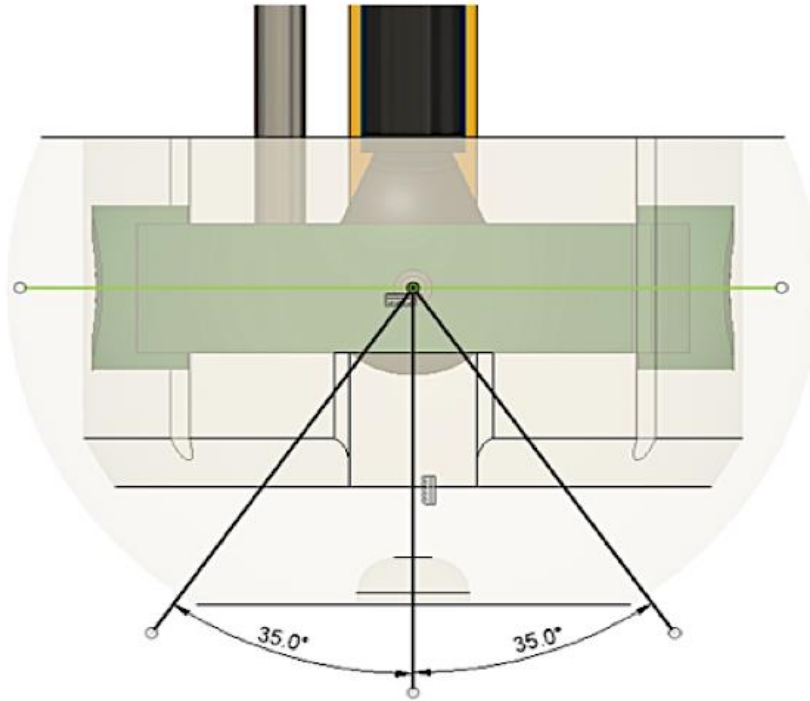
Cada ojo cuenta con un diámetro de 32 mm para los globos oculares del robot y una distancia entre ojo y ojo de 70 mm



# DISEÑO

## MECANISMO DE OJOS:

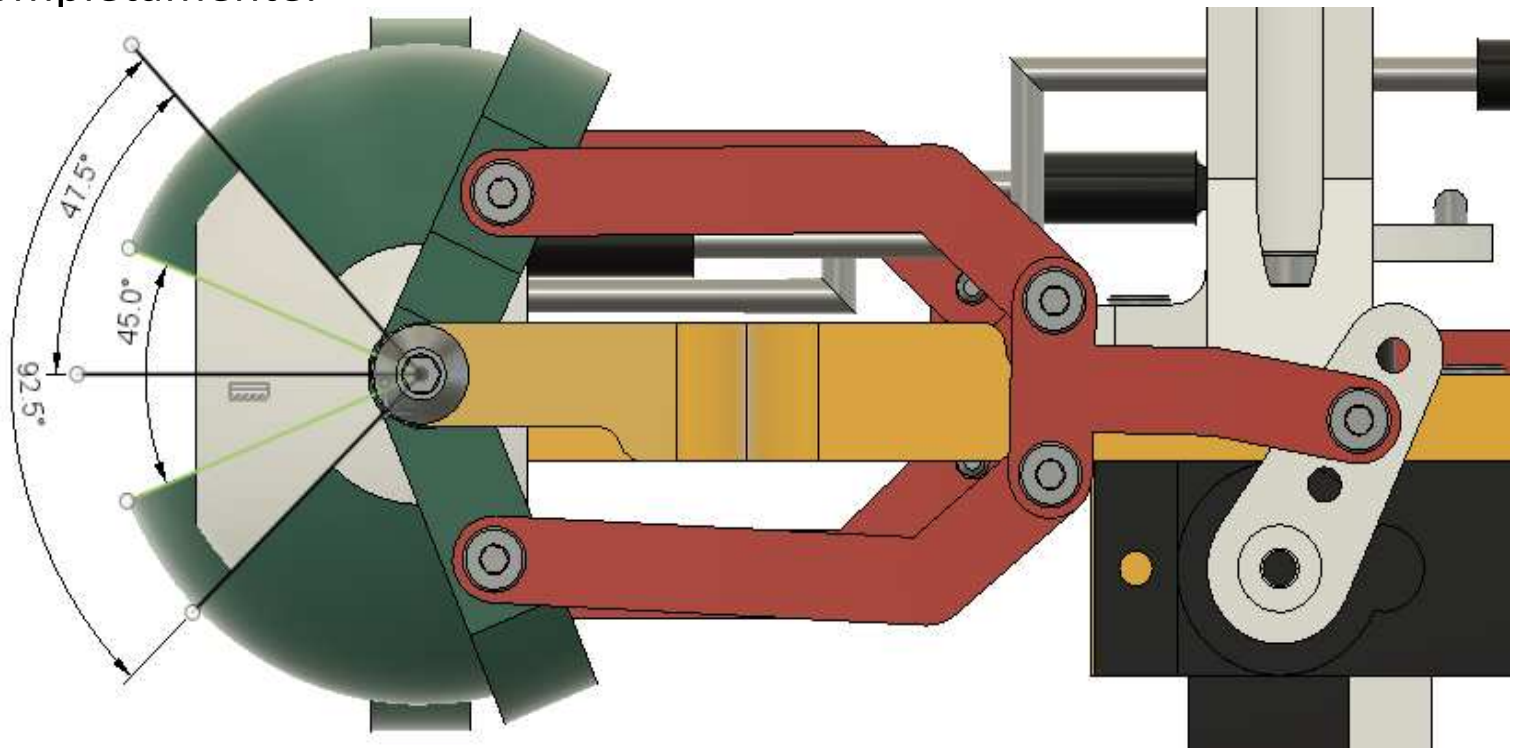
- Tomando a la pupila como referencia, cada ojo es capaz de rotar  $\pm 35$  grados en el eje vertical y cuentan con una movilidad total de 45 grados en dirección horizontal.



# DISEÑO

## MECANISMO DE OJOS:

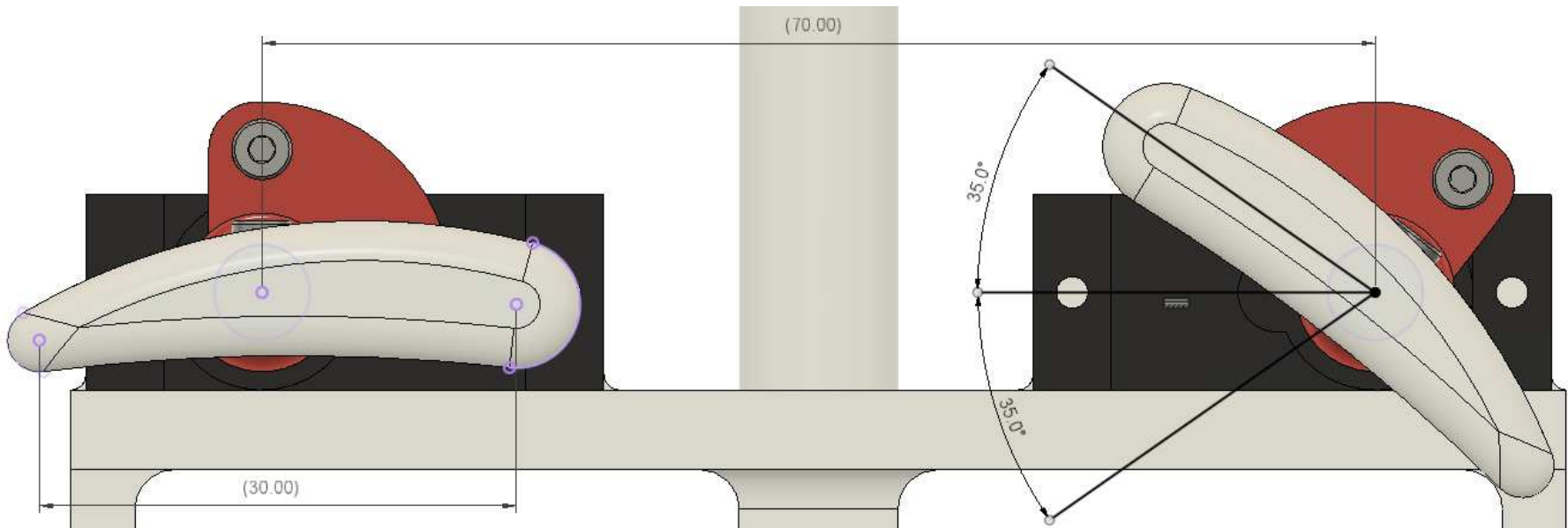
- Los párpados, superior e inferior, son capaces de replicar la acción de parpadear, esto lo hacen al rotar  $92.5$  grados entre ellos y al cerrarse completamente.



# DISEÑO

## MECANISMO DE OJOS:

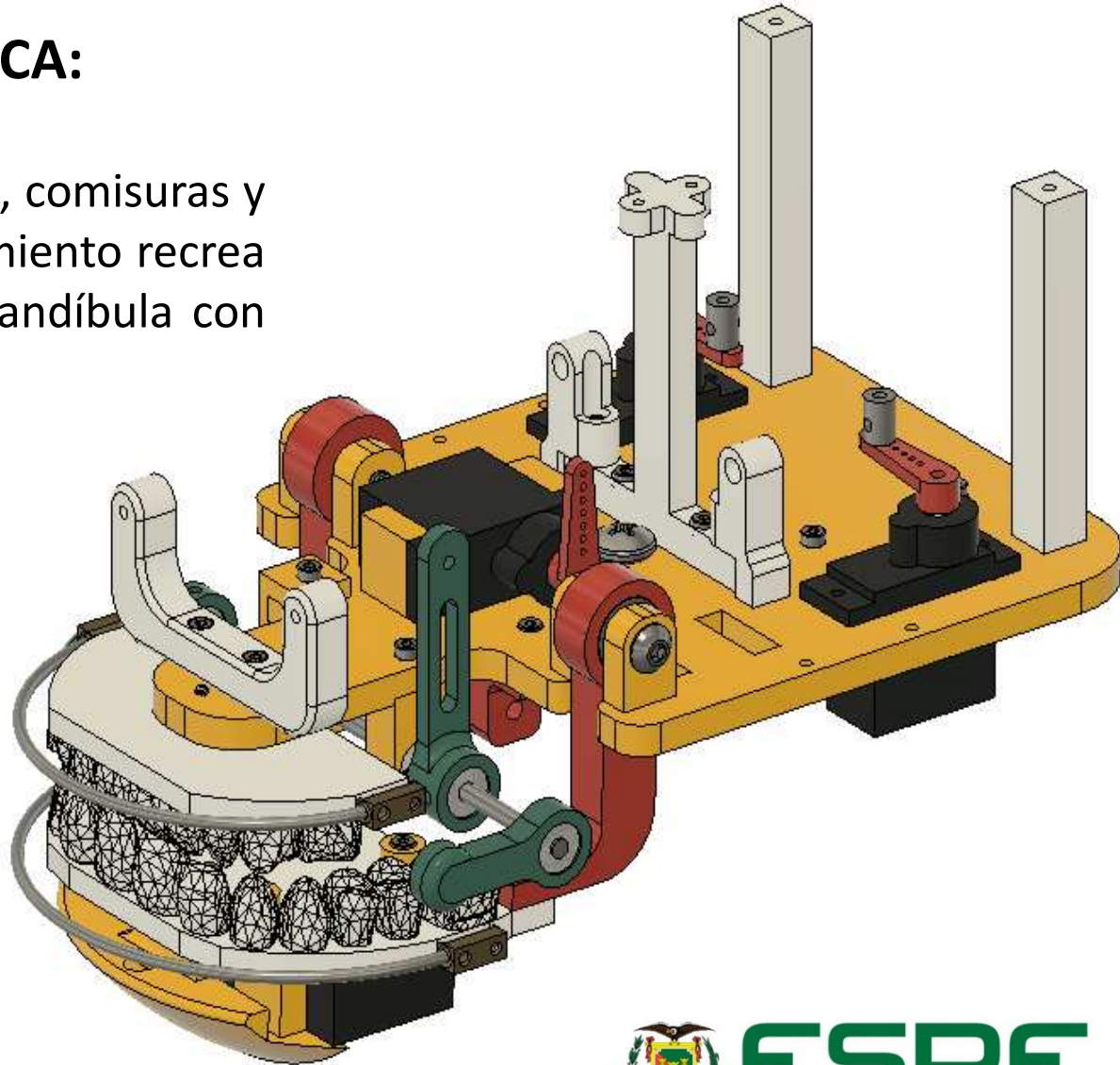
- Las cejas son accionadas por actuadores diferentes, cada una tiene un largo aproximado de 30 mm y una separación de 70 mm, con un límite de rotación de  $\pm 35$  grados.



# DISEÑO

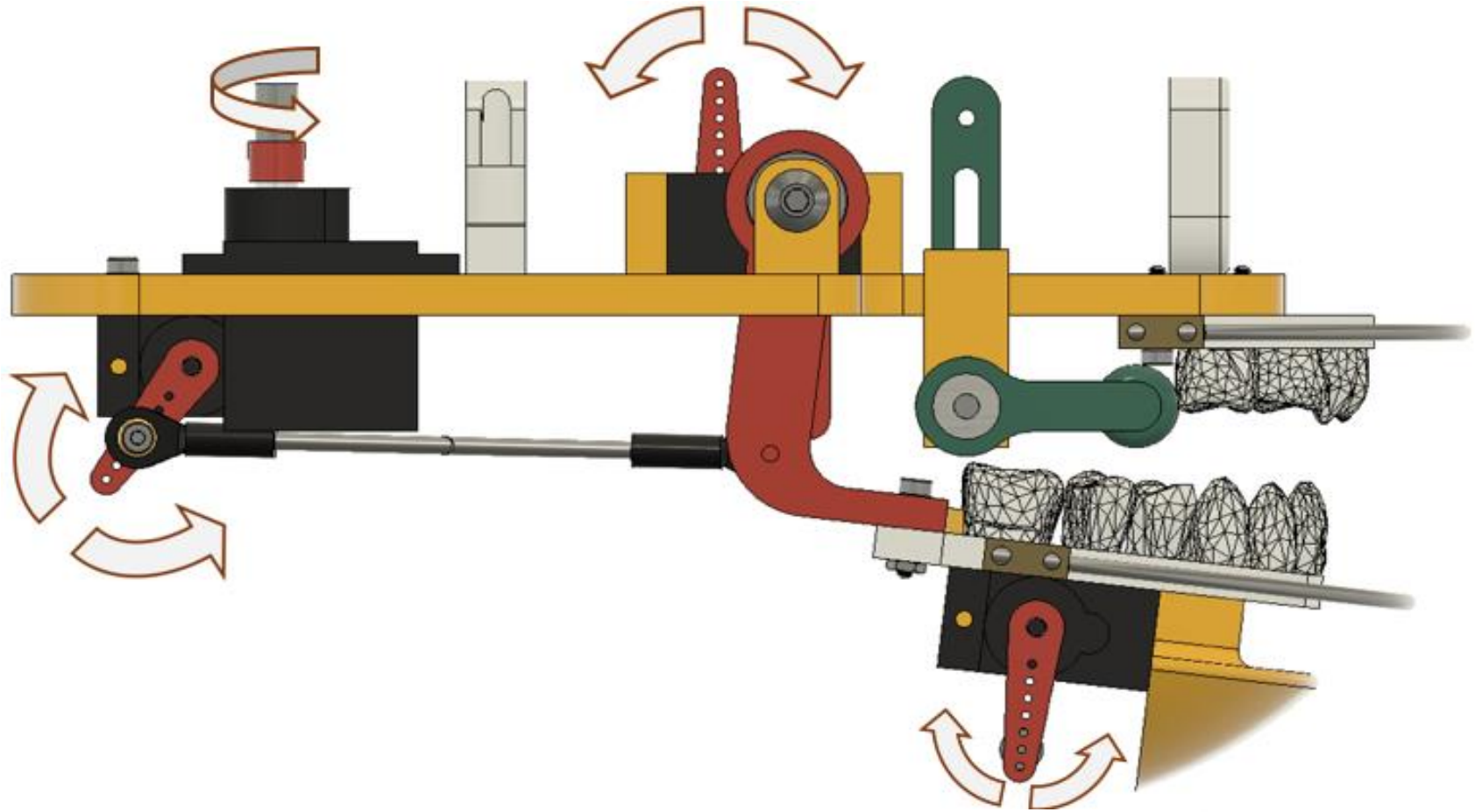
## MECANISMO DE LA BOCA:

- Compuesto por los labios, comisuras y maxilar inferior, su movimiento recrea el abrir y cerrar de la mandíbula con un solo actuador.
- Los labios, elaborados a partir de cuerdas de guitarra, y comisuras son fundamentales en la ejecución de expresiones faciales.



# DISEÑO

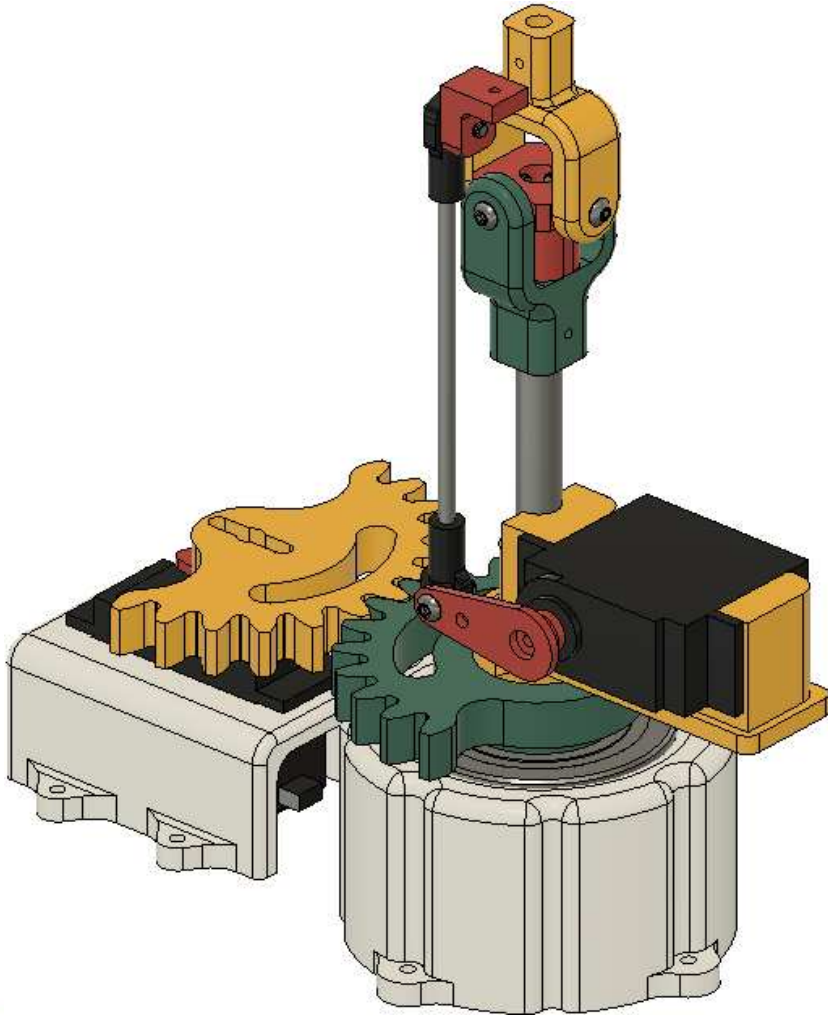
## MECANISMO DE LA BOCA:





# DISEÑO

## MECANISMO DEL CUELLO:



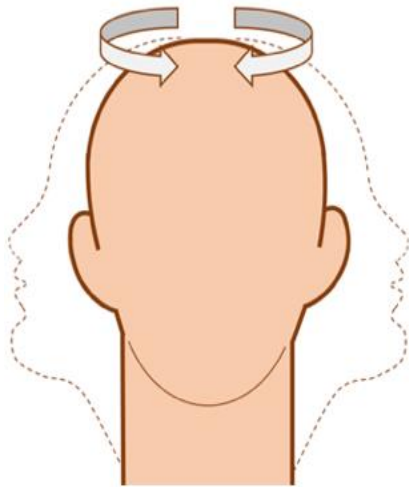
- El mecanismo cuenta con una articulación tipo universal, un sistema de engranajes y una base de soporte, esta última incorpora un rodamiento rígido de bolas el cual permite al cuello tener una libre rotación.
- Los movimientos del cuello se realizan por medio de dos actuadores, uno ubicado en un soporte fijo y otro colocado en la base.



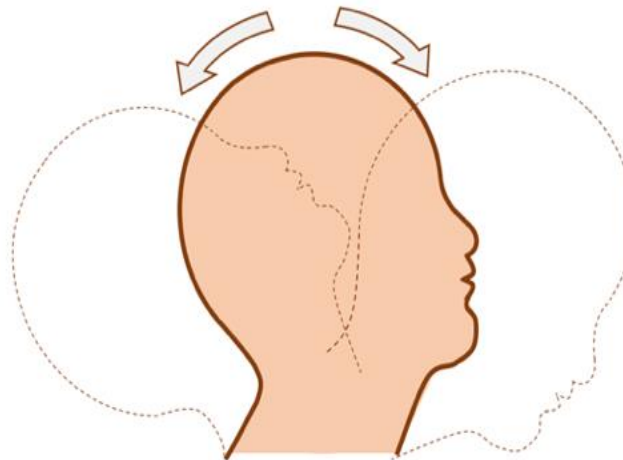
# DISEÑO

## MECANISMO DEL CUELLO:

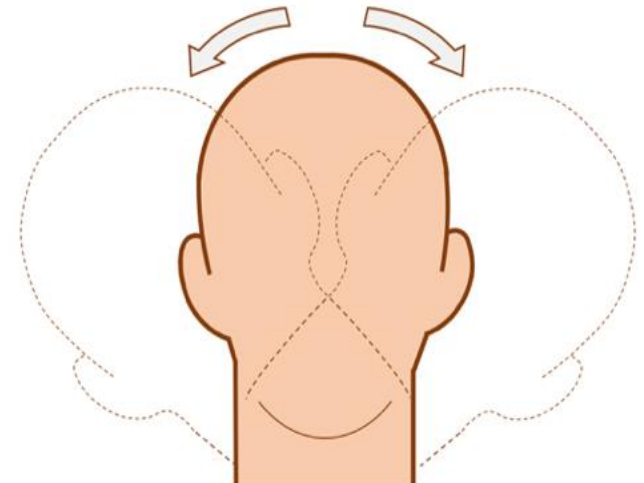
- Se enfoca en cumplir con dos de los tres movimientos naturales que realiza el cuello de un ser humano: (a) movimientos de rotación de derecha a izquierda y (b) extensión y flexión del cuello, quedando excluido del diseño la inclinación lateral (c).



(a)



(b)



(c)



# DISEÑO

## DIMENSIONAMIENTO DE ACTUADORES:

- Para determinar, teóricamente, el torque que requiere cada actuador de cada uno de los mecanismos se tiene:

$$\tau_t = F * d$$

Donde:

$\tau_t$  es el torque calculado del actuador en [Nm]

$F$  la fuerza aplicada a un punto en [N]

$d$  la distancia entre el punto hacia el eje de giro en [m]

- No obstante, para encontrar el torque nominal se incorporan factores correctivos: factor de seguridad de 2, un rendimiento “e” de 80 % y un porcentaje de pérdidas de 50 %

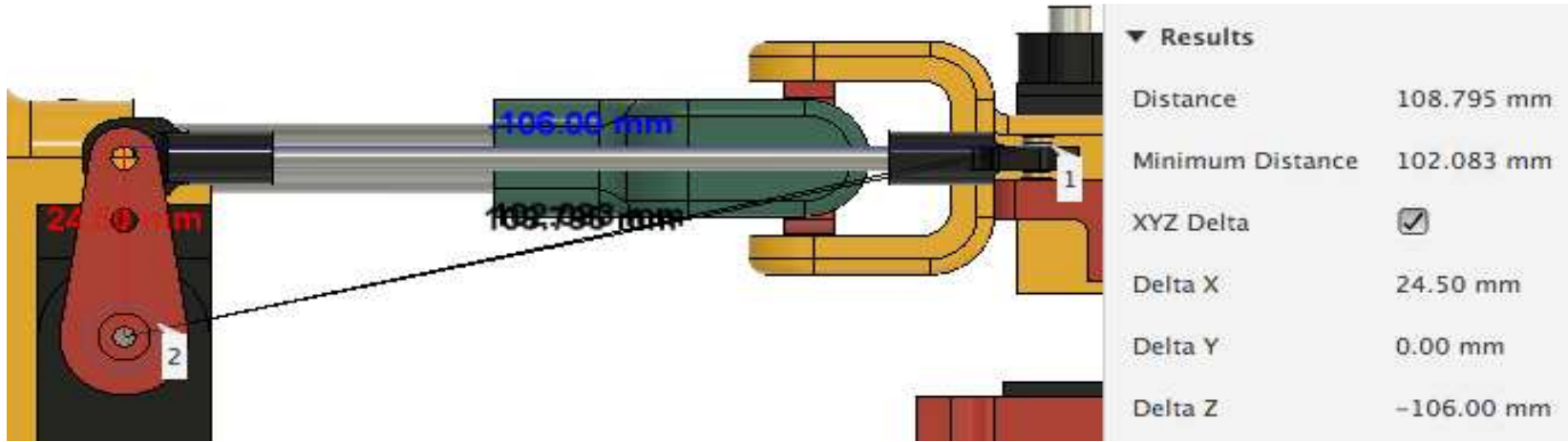
$$\tau_n = \frac{F_{seguridad}}{e * Pérdidas} (\tau_t)$$

$$\tau_n = \frac{2}{(0.8)(0.5)} * \tau_t \Rightarrow 5 * \tau_t$$



# DISEÑO

## DIMENSIONAMIENTO DE ACTUADORES:



$$\tau_t = \text{Peso} * \text{Distancia}$$

$$\tau_t = (0.44 + 0.35) \text{ kg} * (9.81 \text{ m/s}^2) * (0.0245 \text{ m})$$

$$\tau_t = 0.1899 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau_n = 5(0.1899 \text{ N} \cdot \text{m})$$

$$\tau_n = 0.9495 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 9.68 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$



# DISEÑO

## DIMENSIONAMIENTO DE ACTUADORES:



Características	Valores
Torque	9.4 kgf-cm (4.8 V); 10 kgf-cm (6 V)
Velocidad de giro	0.17 s / 60 grados (4.8 V)
Corriente de funcionamiento	Sin carga: 350 mA. Bloqueo 1500 mA
Ángulo de rotación	180 grados $\pm$ 5 grados
Dimensiones	40.4 x 19.9 x 37.5 mm
Peso	58 gr



# DISEÑO

## ANÁLISIS MÉCANICO DE LA ESTRUCTURA BASE DE LA BOCA:

- La estructura base de la boca es el elemento encargado de soportar al mecanismo de los ojos y los demás componentes de la boca, comisura y labios.

$$F_{OE} = (0.550 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2) = 5.396 \text{ N}$$

$$F_{MI} = (0.0651 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2) = 0.639 \text{ N}$$

$$F_{CB} = (0.1264 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2) = 1.24 \text{ N}$$

Donde:

$F_{OE}$  es la fuerza producida por las masas del armazón o estructura externa y del mecanismo de los ojos.

$F_{MI}$  es producida por la masa del maxilar inferior y sus elementos.

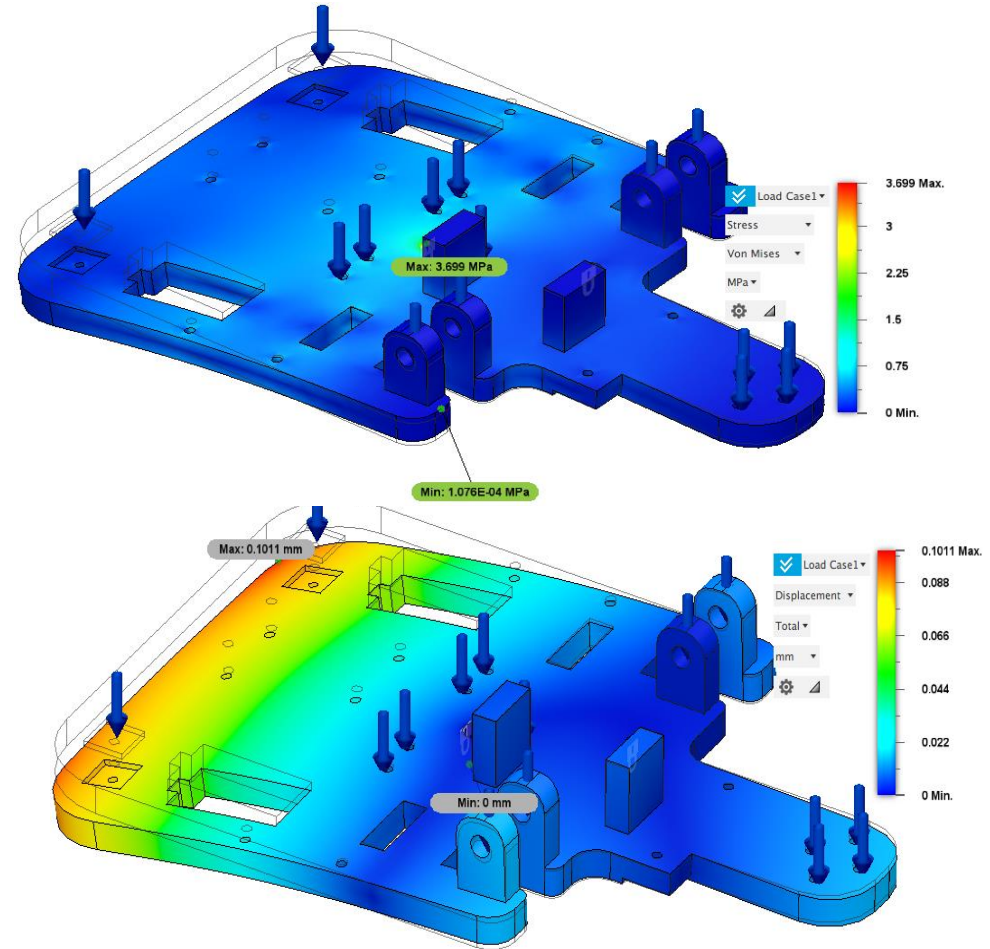
$F_{CB}$  se refiere a la masa de los componentes apoyados en la estructura base de la boca más la masa de la misma



# DISEÑO

## ANÁLISIS MÉCANICO DE LA ESTRUCTURA BASE DE LA BOCA:

- El esfuerzo máximo (3.699 MPa) al que se expone el elemento, llega a ser menor al valor de resistencia a la fluencia o límite elástico del PLA (40 MPa) y llega a sufrir un desplazamiento mínimo de 0.1011 mm en la parte posterior.



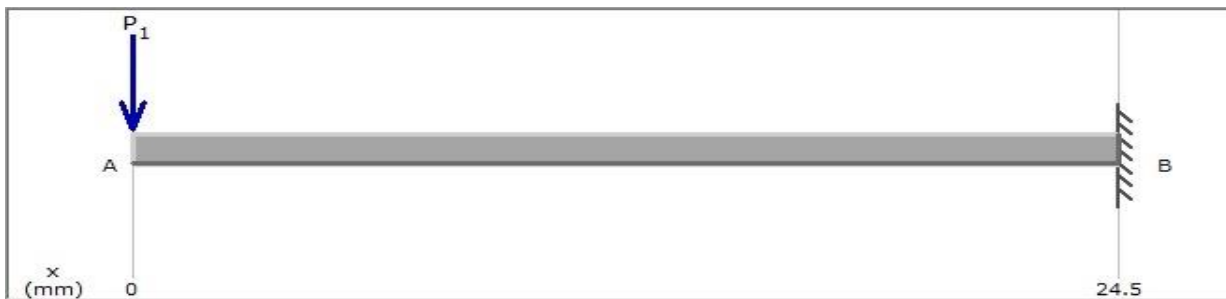
# DISEÑO

## ANÁLISIS MÉCANICO DEL ELEMENTO ELEVADOR DEL CUELLO:

- El brazo del servomotor que realiza la extensión y flexión del cuello debe soportar una carga, correspondiente a la suma de todas las fuerzas de las masas de la cabeza ( $F_{brazo}$ ), que se distribuye de igual manera con la articulación universal.

$$F_{brazo} = \frac{F_{OE} + F_{MI} + F_{CB}}{2}$$

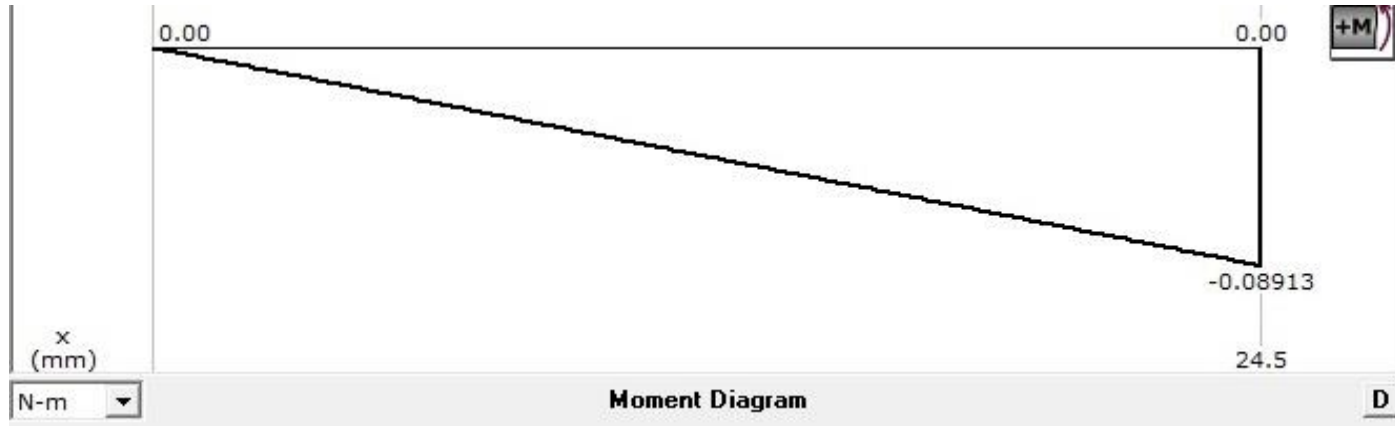
$$F_{brazo} = \frac{5.396 + 0.639 + 1.24}{2} = 3.638 \text{ N}$$





# DISEÑO

## ANÁLISIS MÉCANICO DEL ELEMENTO ELEVADOR DEL CUELLO:



- Para calcular el esfuerzo normal ( $\sigma$ ) provocado por un momento flector de un elemento, es factible aplicar:

$$\sigma = M * \frac{c}{I}$$

Donde:

$M$  es el momento flector máximo

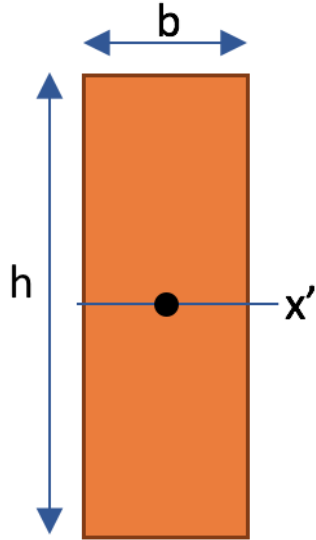
$c$  la distancia medida desde la fibra más lejana hacia el centroide

$I$  es el momento de inercia con respecto al eje de giro



# DISEÑO

## ANÁLISIS MÉCANICO DEL ELEMENTO ELEVADOR DEL CUELLO:



- La fórmula para calcular el momento de inercia de una sección rectangular es:

$$I_x = \frac{1}{12} * b * h^3$$

Donde:

$I_x$  es el momento de inercia con respecto al eje x

$b$  representa el ancho

$h$  el alto de la sección rectangular

$$I_x = \frac{1}{12} (0.002 * 0.015^3) m^4$$

$$I_x = 5.625 \times 10^{-10} m^4$$

$$\sigma = (0.08913 N \cdot m) * \frac{0.0075 m}{5.625 \times 10^{-10} m^4}$$

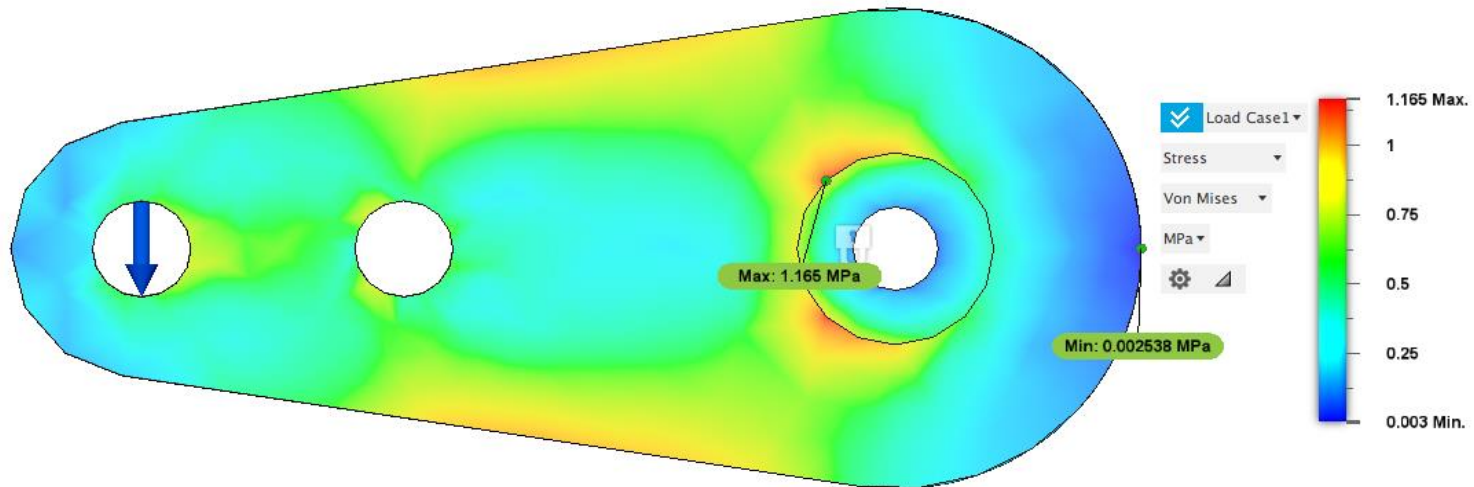
$$\sigma = 1188400 \frac{N}{m^2} \rightarrow \mathbf{1.1884 MPa}$$



# DISEÑO

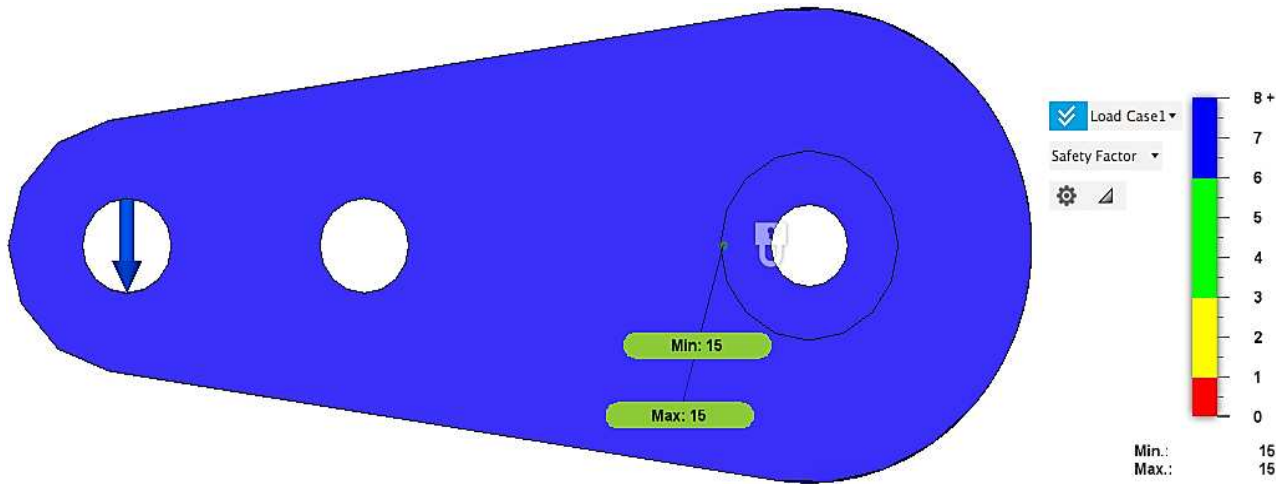
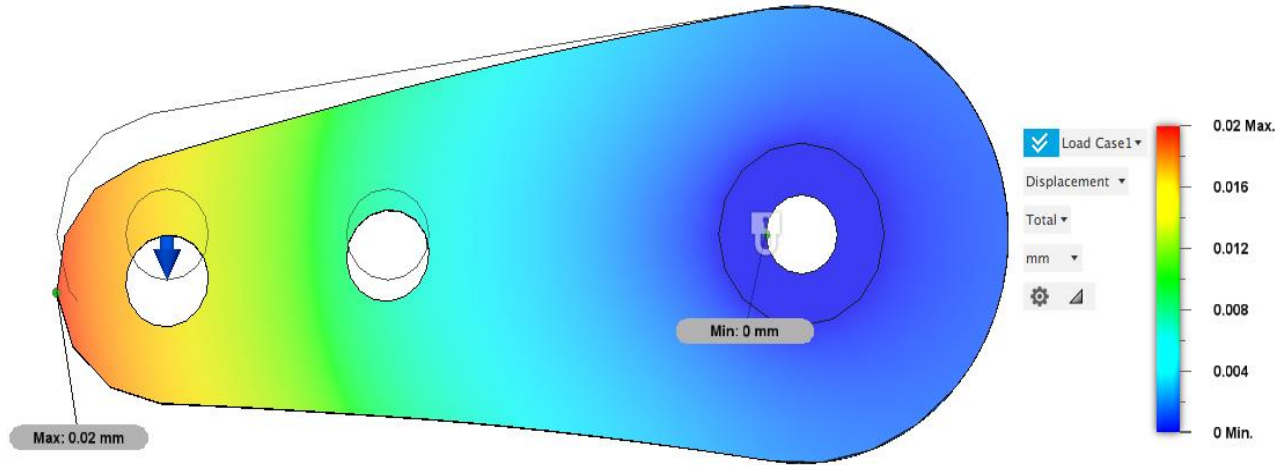
## ANÁLISIS MÉCANICO DEL ELEMENTO ELEVADOR DEL CUELLO:

- El esfuerzo máximo que soporta el brazo del servomotor es de 1.165 MPa, valor similar al calculado, mismo que está muy por debajo de la resistencia del PLA.



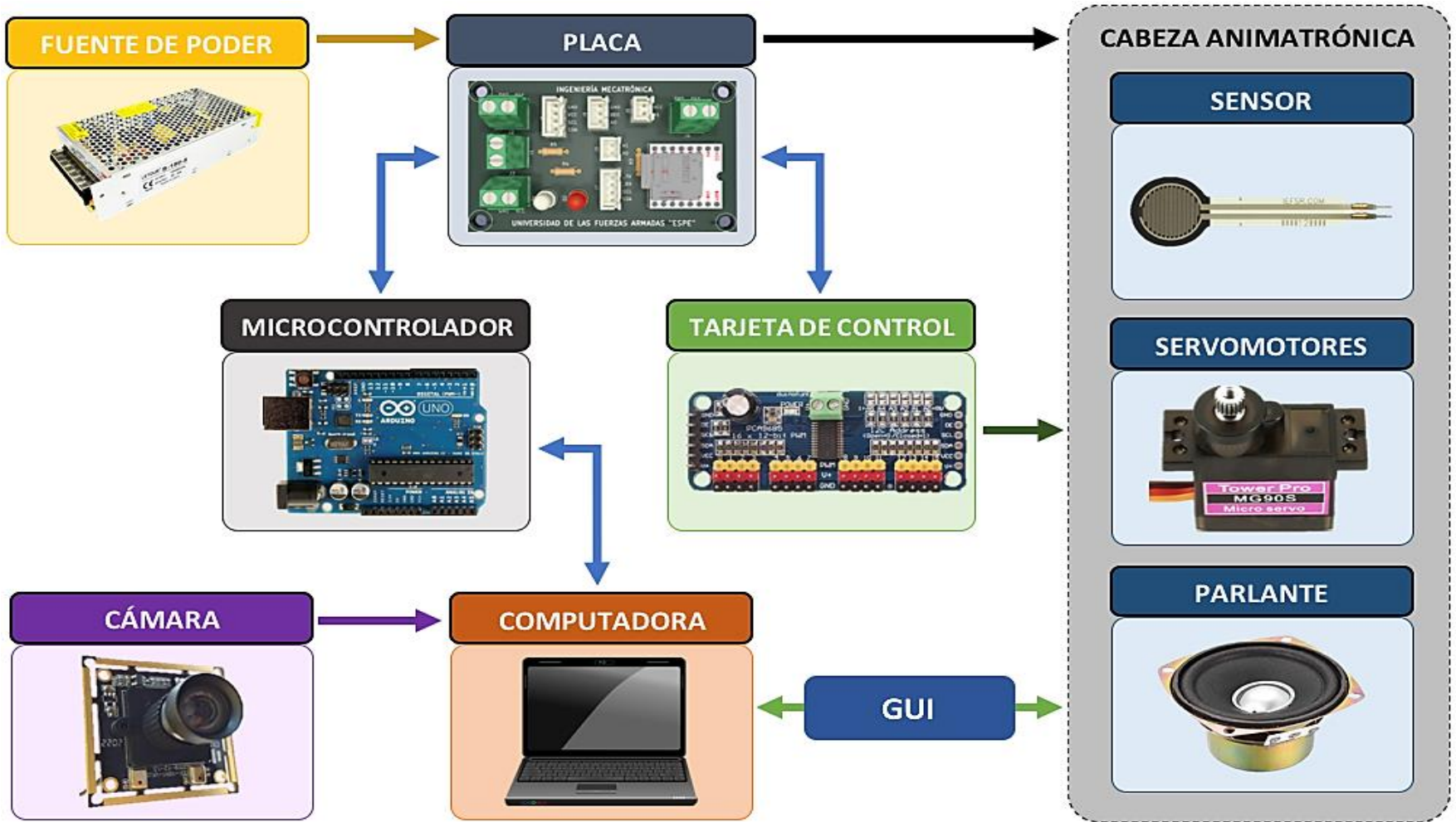
# DISEÑO

## ANÁLISIS MÉCANICO DEL ELEMENTO ELEVADOR DEL CUELLO:



# DISEÑO

## DISEÑO ELECTRÓNICO:

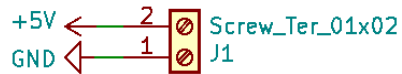


# DISEÑO

## DISEÑO ELECTRÓNICO:

### PINES DE CONEXIÓN

#### FUENTE DE ALIMENTACIÓN



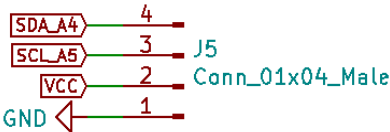
#### ARDUINO POWER



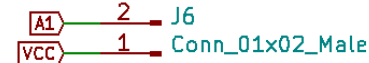
#### SPEAKER



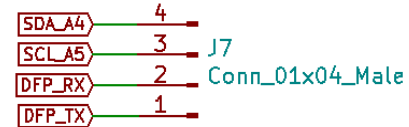
#### PCA9685



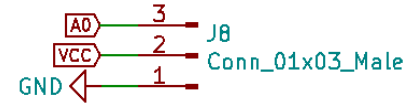
#### FSR 402



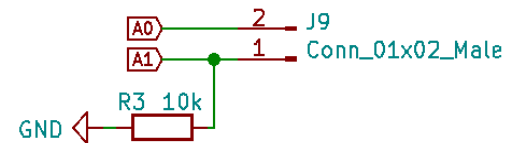
#### ARDUINO PINES DIGITALES



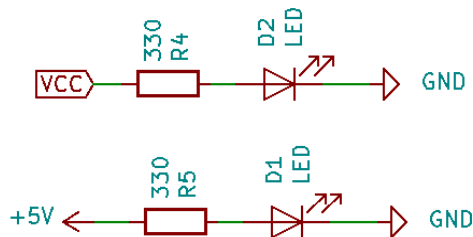
#### VOLUME CONTROL



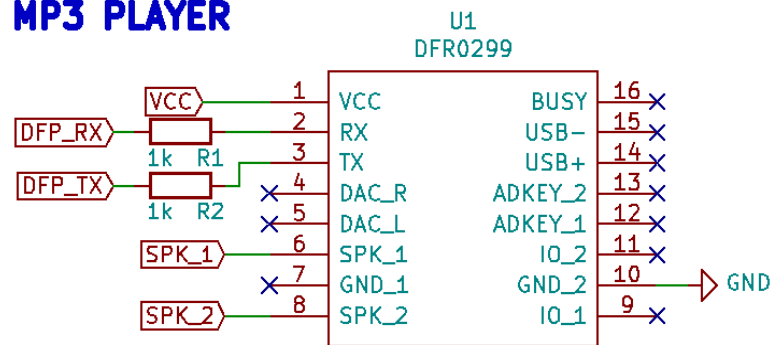
#### ARDUINO PINES ANALÓGICOS



### INDICADORES



### MP3 PLAYER



# DISEÑO

## DISEÑO ELECTRÓNICO:

- El dimensionamiento de la fuente de poder considera el consumo total, valor resultante de la suma de la potencia eléctrica que requiere cada elemento:

$$P = V * I$$

Donde:

$P$  representa la potencia eléctrica

$V$  es el voltaje

$I$  es la corriente consumida

$$P = 5 V * [(0.4 * 11) + (1.5 * 2)] A$$

$$P = 5 V * 7.4 A$$

$$P = 37 W$$

- Para calcular el ancho de pista de la placa de circuito impreso ( $A_P$ ), se detallan fórmulas que dependen del área de la pista ( $A$ ), la corriente máxima ( $I$ ), la variación de temperatura ( $\Delta T$ ) y el grosor de la pista ( $G$ ):

$$A = \left( \frac{I}{k_1 * \Delta T^{k_2}} \right)^{1/k_3}$$

$$A_P = \frac{A}{G * 1.378}$$



# DISEÑO

## DISEÑO ELECTRÓNICO:

- Se considera un aumento de temperatura de 10°C, un grosor de pista de 1 onza por pie cuadrado y, para PCBs con pistas externas, se dan valores de:  $k_1 = 0.0647$ ,  $k_2 = 0.4281$  y  $k_3 = 0.6732$ , entonces:

$$I_{m\acute{a}x} = [4(0.4) + 7(0.07) + 0.35 + 1.5] = 3.94 \text{ A}$$

$$A = \left( \frac{3.94}{0.0647 * (10)^{0.4281}} \right)^{1/0.6732} = 103.51 \text{ mils}^2$$

$$A_p = \frac{103.51}{1 * 1.378} = 75.11 \text{ mils}$$

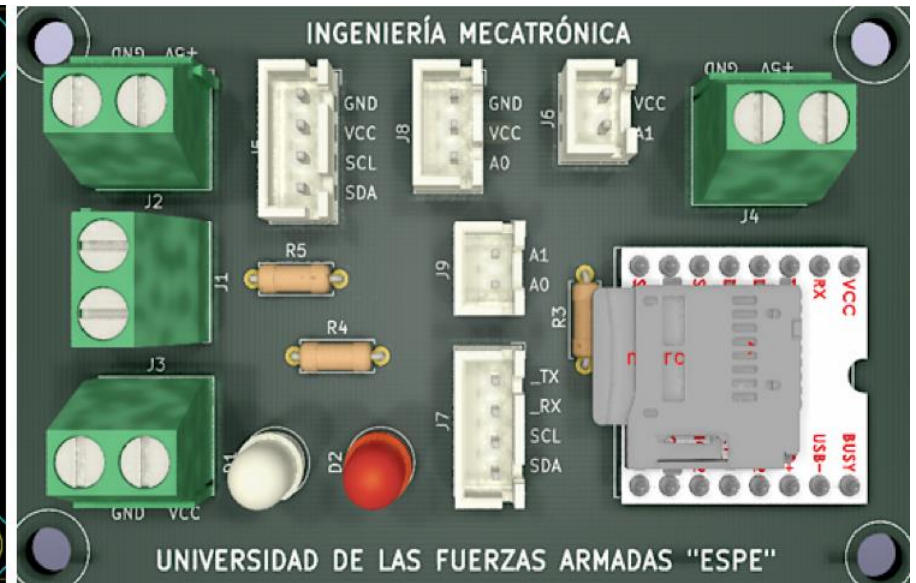
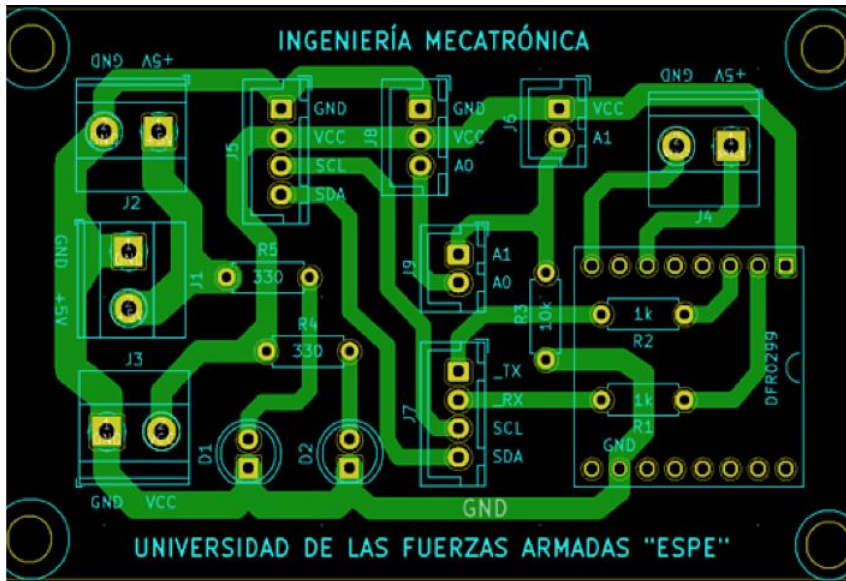
$$A_p = 1.91 \text{ mm} \rightarrow 2\text{mm}$$





# DISEÑO

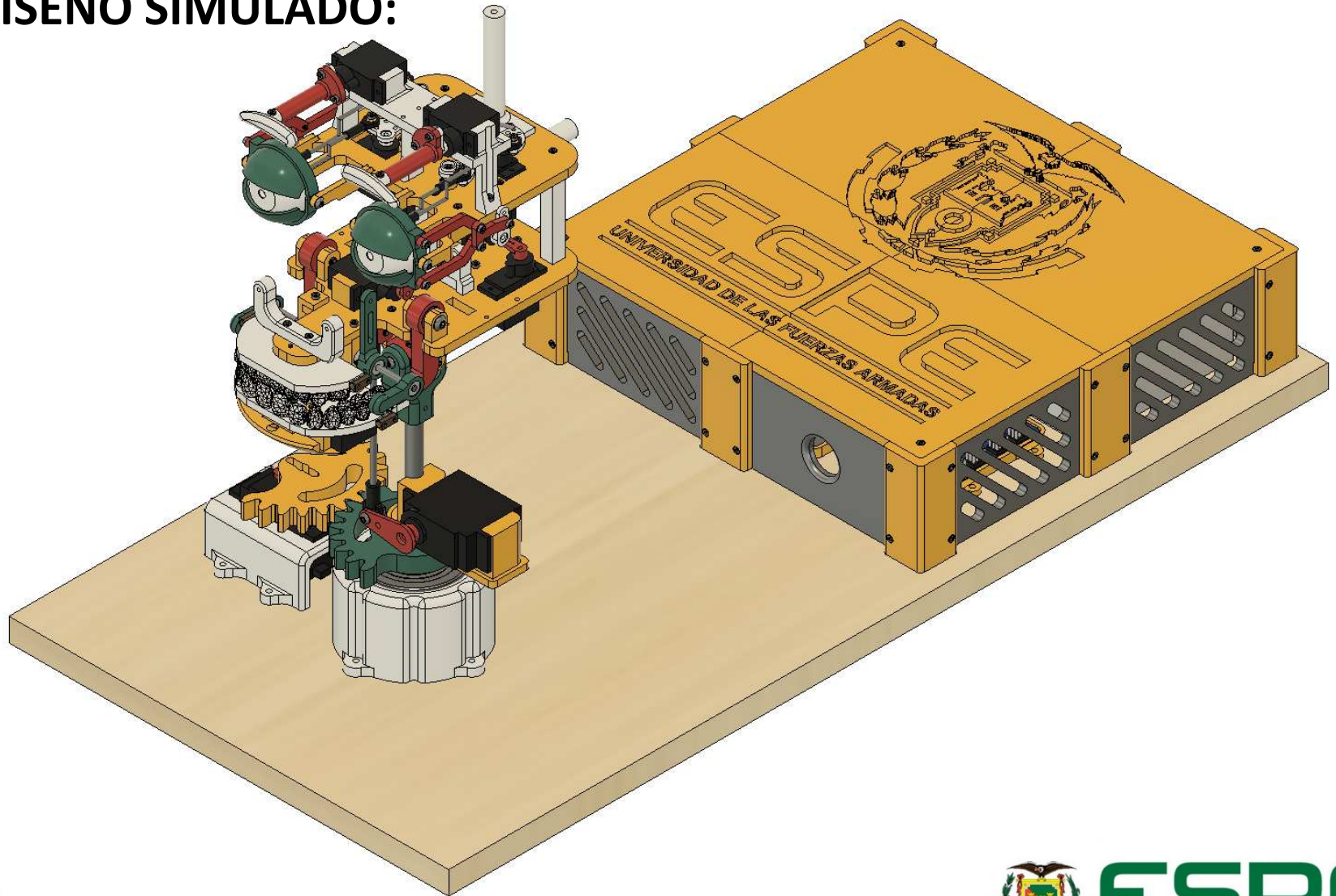
## DISEÑO ELECTRÓNICO:



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO

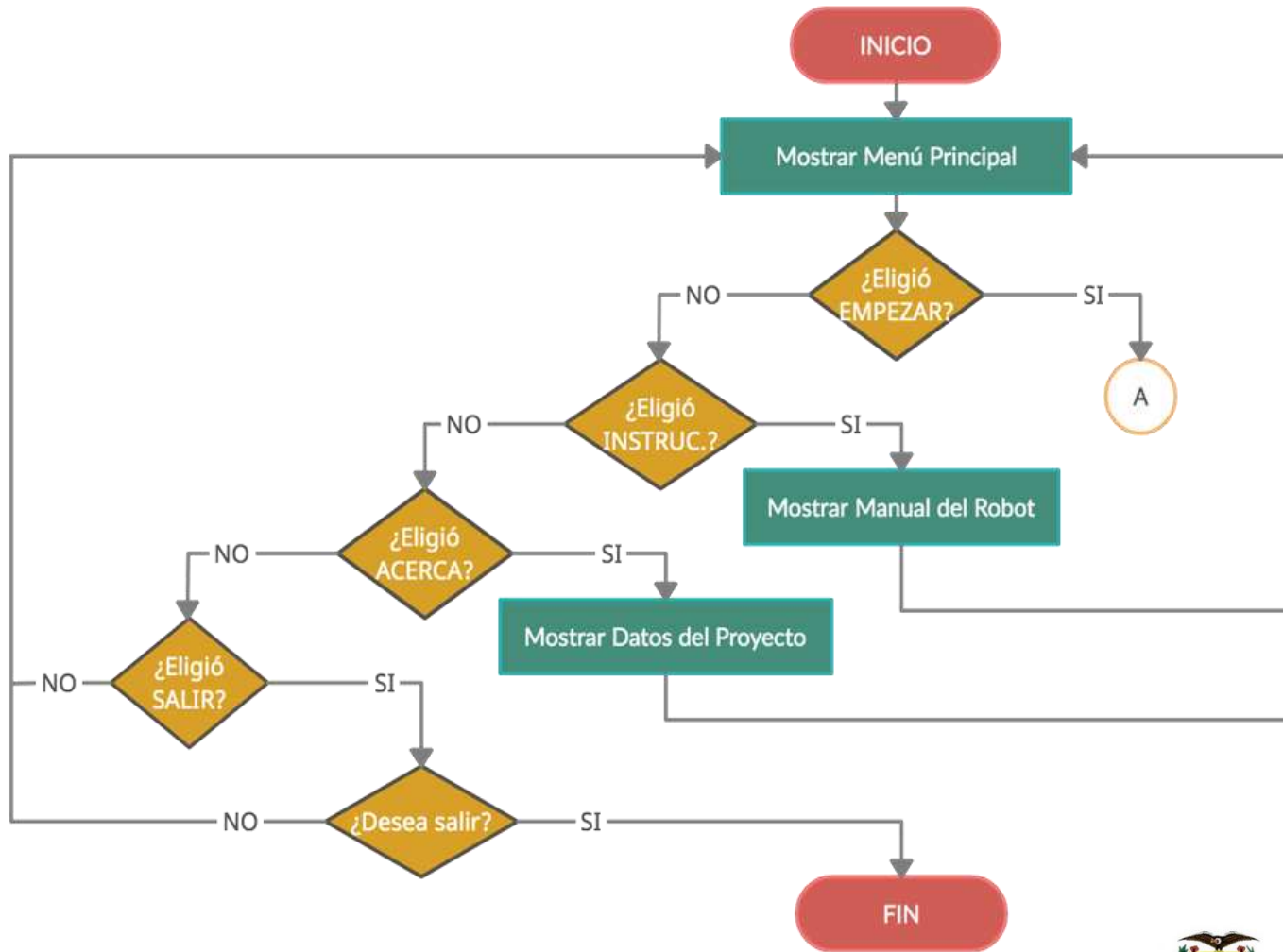
DISEÑO SIMULADO:



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

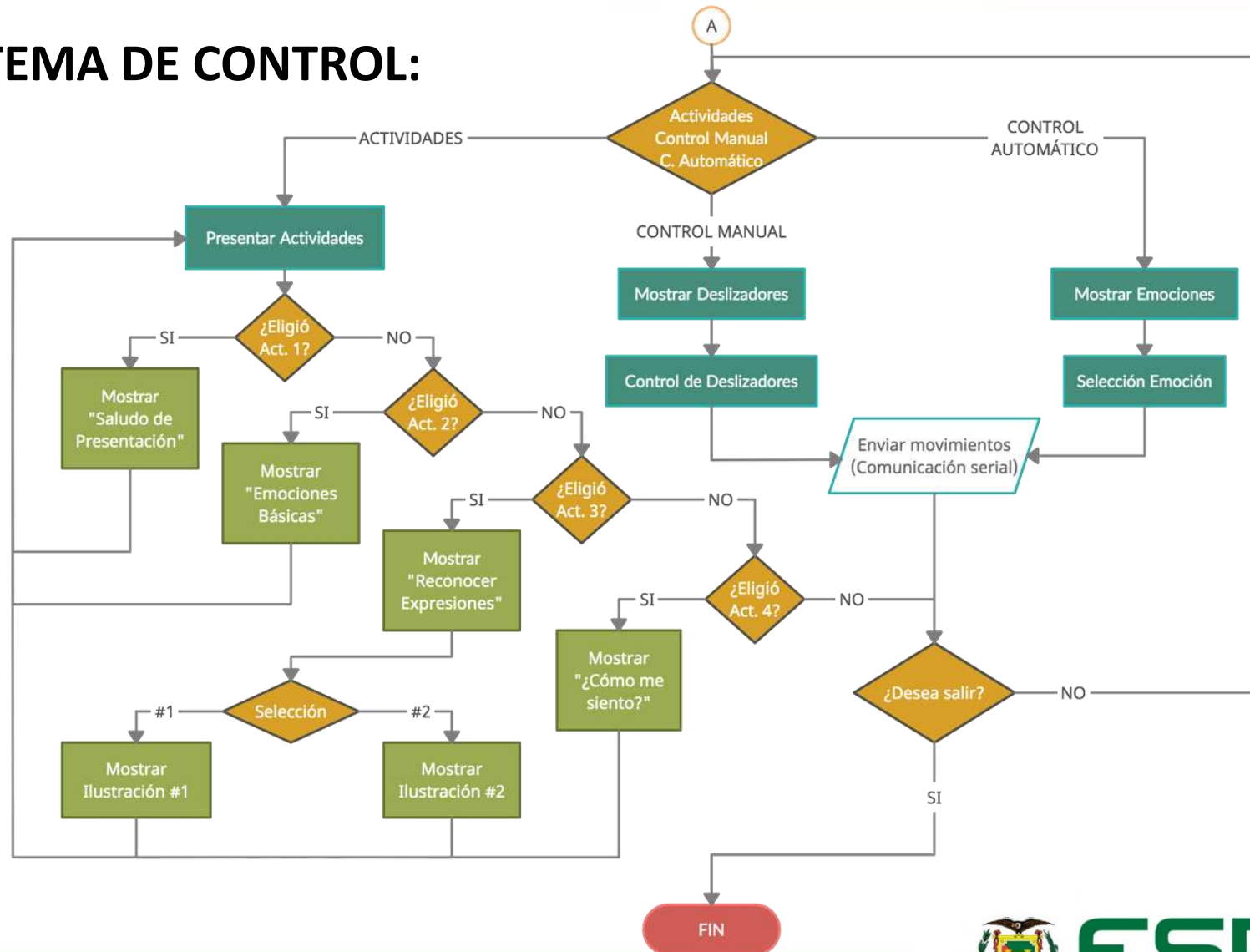
# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:



# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:



# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:

- La GUI de control inicia con la presentación de un menú principal, el cual muestra las opciones: “Empezar”, “Instrucciones”, “Acerca” y “Salir”.



# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:



# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:

The interface displays six panels for learning basic emotions, each with a title, a description, and a character's face with a callout box for facial features.

- Emociones Básicas 1/6:** **FELICIDAD**. La mayoría de personas sonrín cuando está feliz, así: (Callout: smiling mouth)
- Emociones Básicas 2/6:** **IRA**. La mayoría de personas frunce las cejas y la boca cuando está enojada, así: (Callout: furrowed brows and downturned mouth)
- Emociones Básicas 3/6:** **TRISTEZA**. La mayoría de personas baja las cejas y los labios cuando está triste, así: (Callout: downturned mouth)
- Emociones Básicas 4/6:** **ASCO**. La mayoría de personas frunce las cejas y arruga los labios cuando siente asco, así: (Callout: furrowed brows and wrinkled lips)
- Emociones Básicas 5/6:** **SORPRESA**. La mayoría de personas agranda sus ojos, levanta sus cejas y abre su boca cuando está sorprendida, así: (Callout: wide eyes and open mouth)
- Emociones Básicas 6/6:** **MIEDO**. La mayoría de personas agranda sus ojos y baja sus labios cuando tiene miedo, así: (Callout: wide eyes and downturned mouth)



# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:



Robot\_Monito (TEA)



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:

The interface consists of six sequential screens, each titled "Reconocer Expresiones" followed by a fraction (1/6 to 6/6). Each screen contains a central illustration of a character with a specific facial expression and a 3x2 grid of six emotion icons. The icons are labeled: FELICIDAD (green), MIEDO (orange), TRISTEZA (blue), SORPRESA (yellow), ASCO (grey), and IRA (red). The character's expressions are: 1/6 (crying), 2/6 (surprised), 3/6 (green face), 4/6 (happy), 5/6 (neutral), and 6/6 (neutral). Each screen has a "Siguiente" button, except for the last one which has a "Terminar" button. The text "Seleccione la emoción que corresponda al dibujo:" is present on each screen.




# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:



Reconocer Expresiones 1/6


Escoja la emoción que corresponda al dibujo:



FELICIDAD	MIEDO
TRISTEZA	SORPRESA
ASCO	IRA

Reconocer Expresiones 2/6


Escoja la emoción que corresponda al dibujo:



FELICIDAD	MIEDO
TRISTEZA	SORPRESA
ASCO	IRA

Reconocer Expresiones 3/6


Escoja la emoción que corresponda al dibujo:



FELICIDAD	MIEDO
TRISTEZA	SORPRESA
ASCO	IRA

Reconocer Expresiones 4/6


Escoja la emoción que corresponda al dibujo:



FELICIDAD	MIEDO
TRISTEZA	SORPRESA
ASCO	IRA

Reconocer Expresiones 5/6


Escoja la emoción que corresponda al dibujo:



FELICIDAD	MIEDO
TRISTEZA	SORPRESA
ASCO	IRA

Reconocer Expresiones 6/6

Escoja la emoción que corresponda al dibujo:

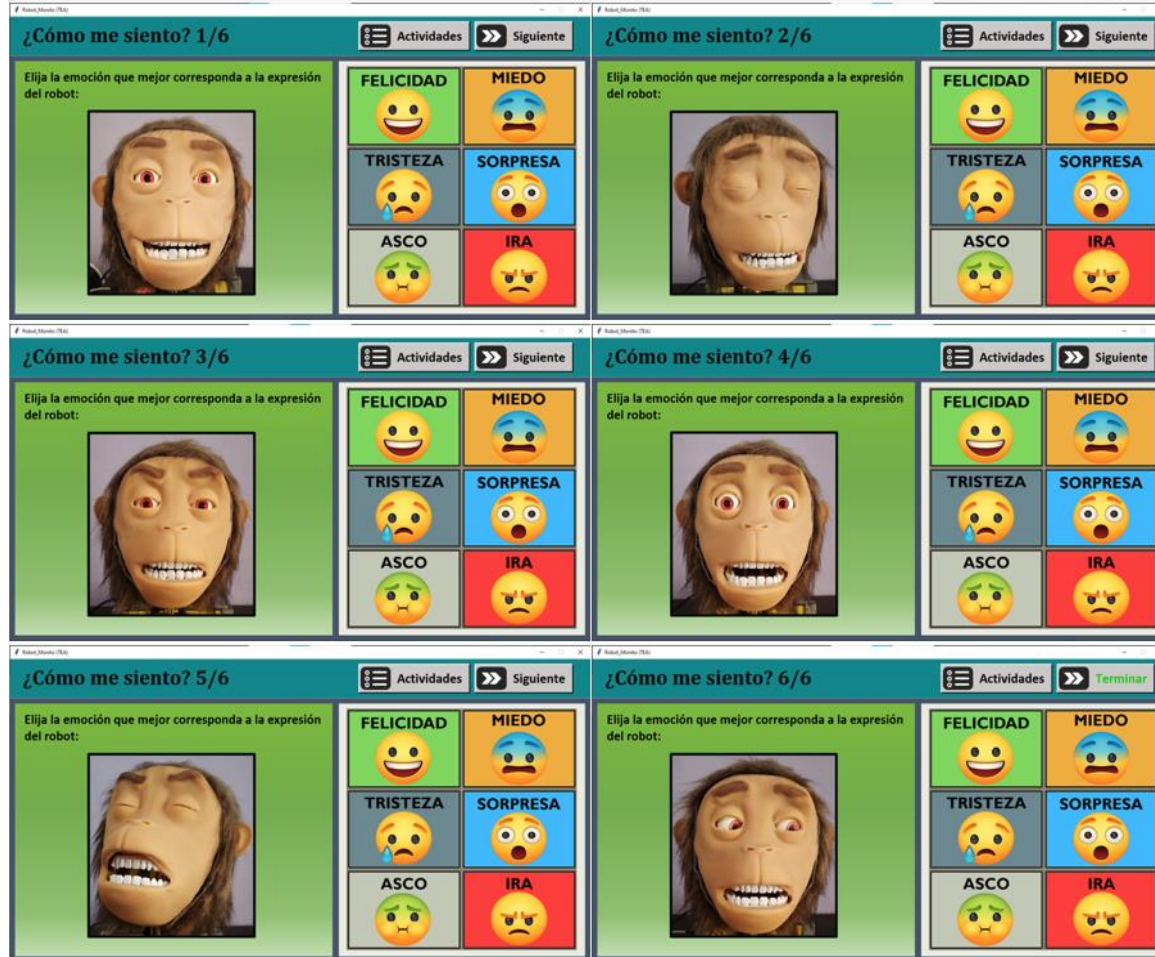


FELICIDAD	MIEDO
TRISTEZA	SORPRESA
ASCO	IRA



# INTERFAZ

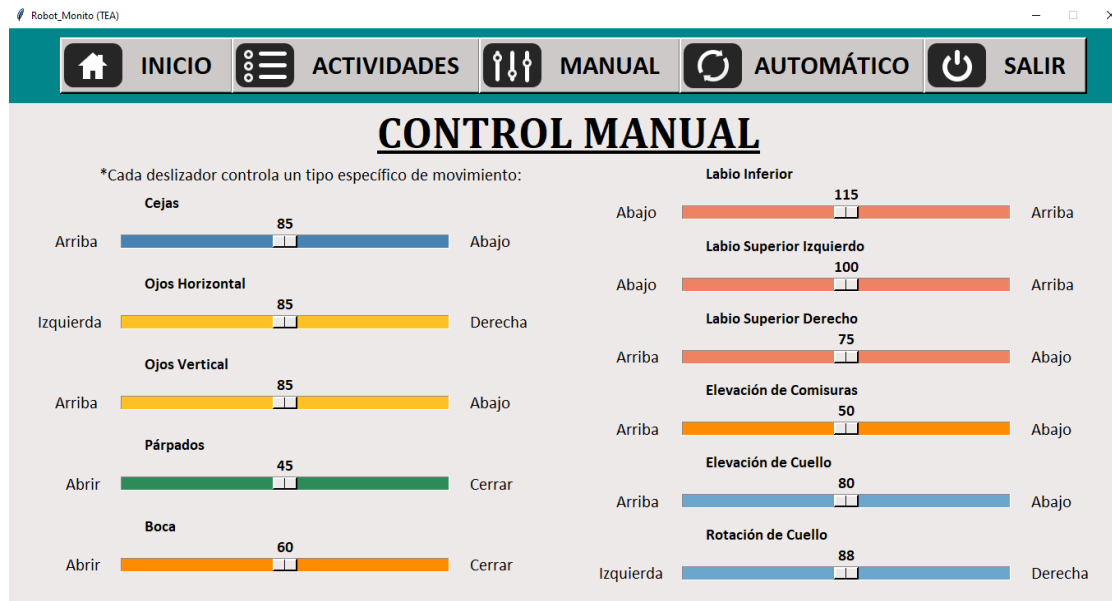
## SISTEMA DE CONTROL:



# INTERFAZ

## SISTEMA DE CONTROL:

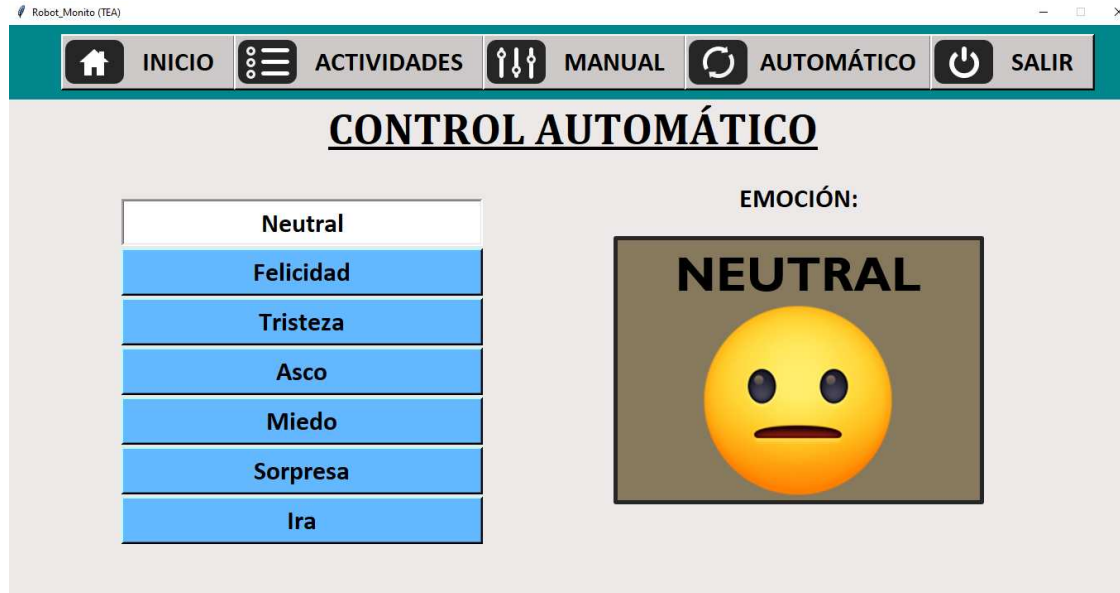
- La GUI de control también permite controlar los movimientos del rostro del robot, para ello se implementan deslizadores, uno por cada tipo específico de movimiento, destinados al control de las cejas, movimiento horizontal y vertical de los ojos, párpados, boca, elevación de las comisuras, labio superior izquierdo, labio superior derecho, labio inferior, y finalmente la rotación y elevación del cuello.



# INTERFAZ

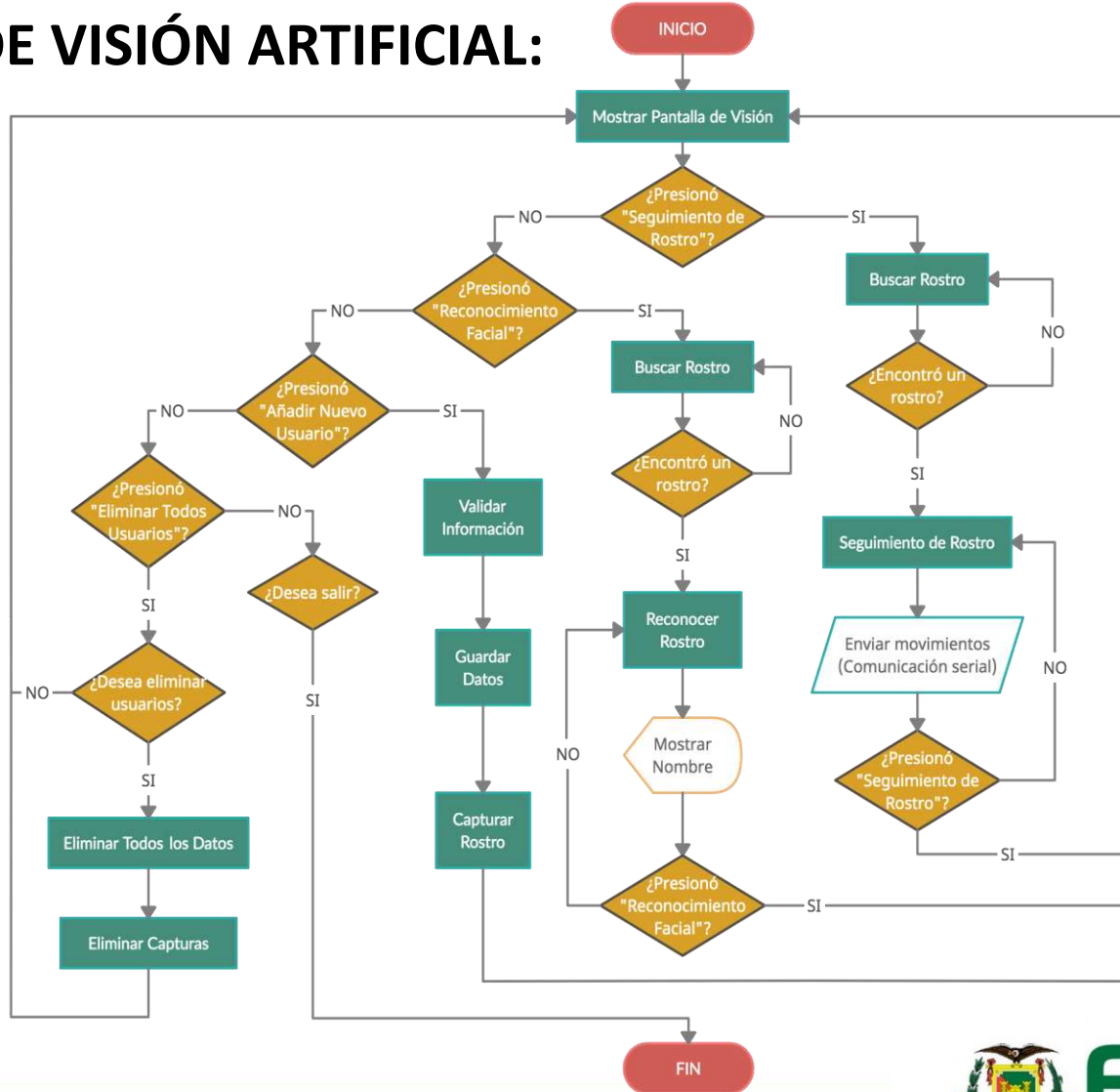
## SISTEMA DE CONTROL:

- La GUI de control también permite controlar mediante selectores la emoción que se desea mostrar en la cabeza animatrónica, dicha instrucción se envía al controlador y este a su vez activa los servomotores para expresar la emoción elegida.



# INTERFAZ

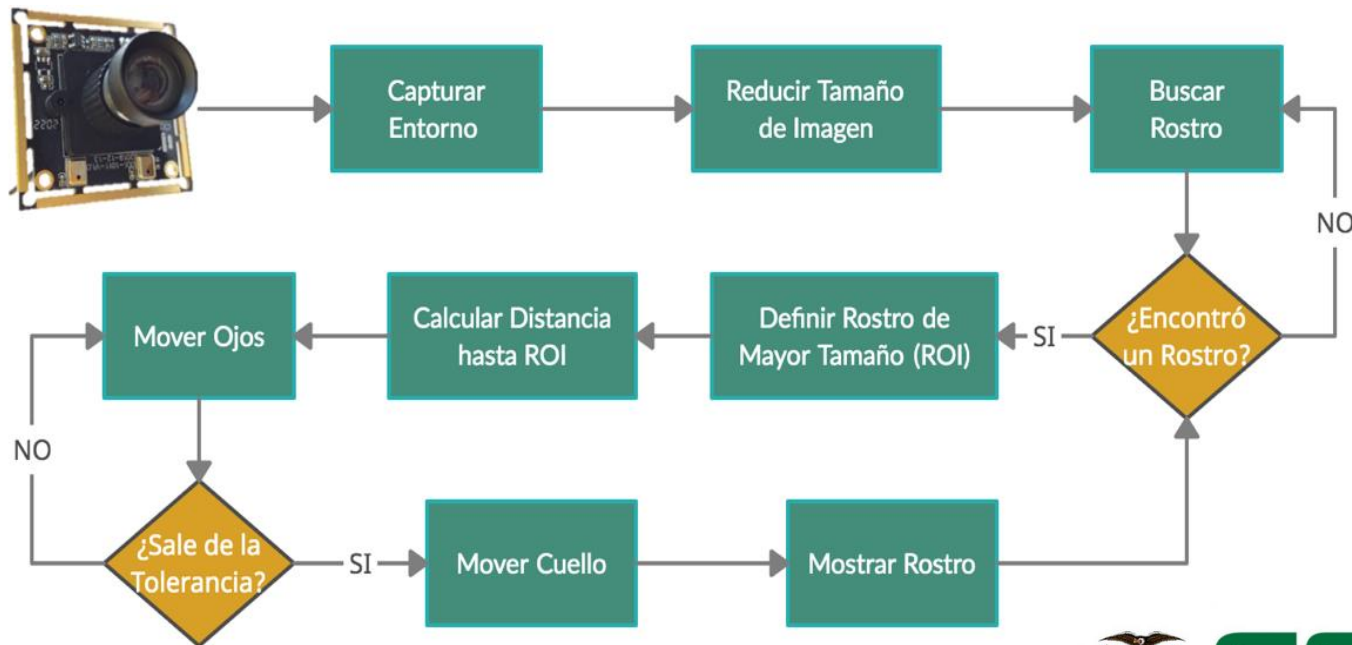
## SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL:



# INTERFAZ

## SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL:


- La función “Seguimiento de Rostro” analiza la presencia de rostros en el entorno y, de encontrar alguno, proporciona cuatro puntos (superior, derecho, inferior, izquierdo) correspondientes al rostro de mayor tamaño. Esta información se envía al controlador, mismo que genera las correspondientes instrucciones a los actuadores para hacer el seguimiento.



# INTERFAZ

## SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL:




Monito - Visión Artificial



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Carrera de  
Mecatrónica

**Cabeza Animatrónica**  
**"MONITO"**

 **SEGUIMIENTO DE ROSTRO**  **RECONOCIMIENTO FACIAL**  **SALIR**

Seleccionar el puerto serial:  
COM6 - USB-SERIAL CH340 (COM6)

Información del Nuevo Usuario:

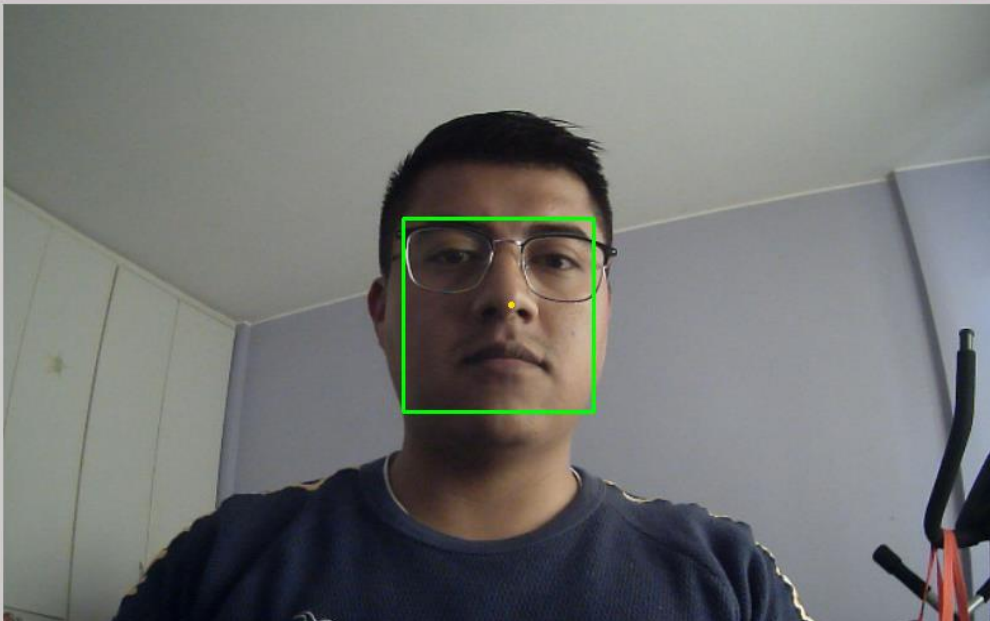
ID:

Nombre:

Apellido:

Edad:

Añadir Nuevo Usuario      Eliminar Todos los Usuarios



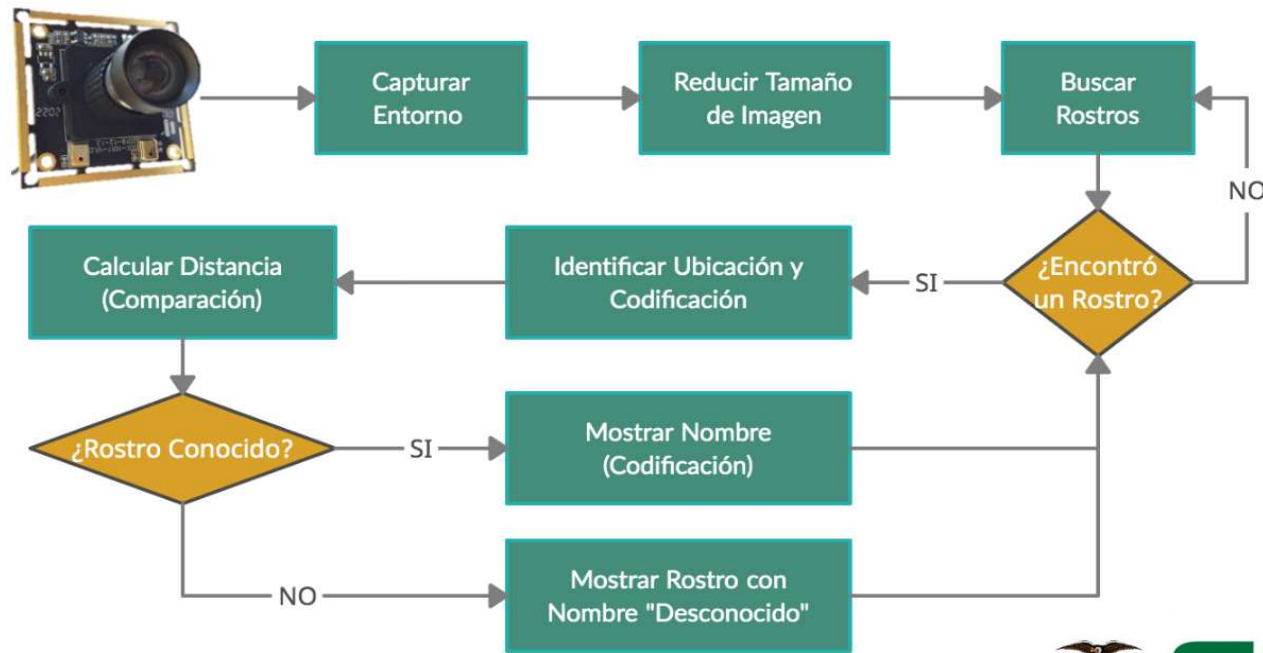
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# INTERFAZ

## SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL:


- La función “Reconocimiento Facial” utiliza la librería Face\_recognition para obtener la ubicación y codificación de los rostros en el entorno de la cámara, el proceso se basa en identificar si el rostro mostrado por pantalla es conocido o no, de serlo, se enmarca en un recuadro de color verde y se coloca el nombre en la parte superior, caso contrario, como nombre se muestra el texto “Desconocido”.



# INTERFAZ

## SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL:




Monito - Visión Artificial



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Carrera de  
Mecatrónica

### Cabeza Animatrónica "MONITO"

 SEGUIMIENTO DE ROSTRO  RECONOCIMIENTO FACIAL  SALIR

Seleccionar el puerto serial:  
COM6 - USB-SERIAL CH340 (COM6)

Información del Nuevo Usuario:

ID:

Nombre:

Apellido:

Edad:

Añadir Nuevo Usuario      Eliminar Todos los Usuarios



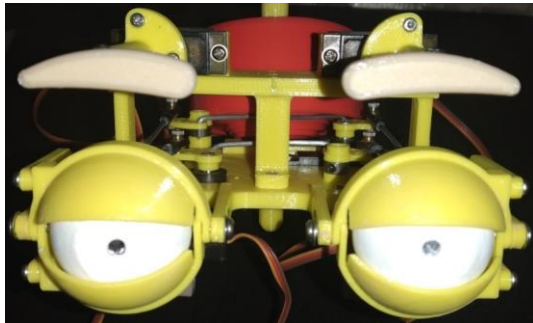
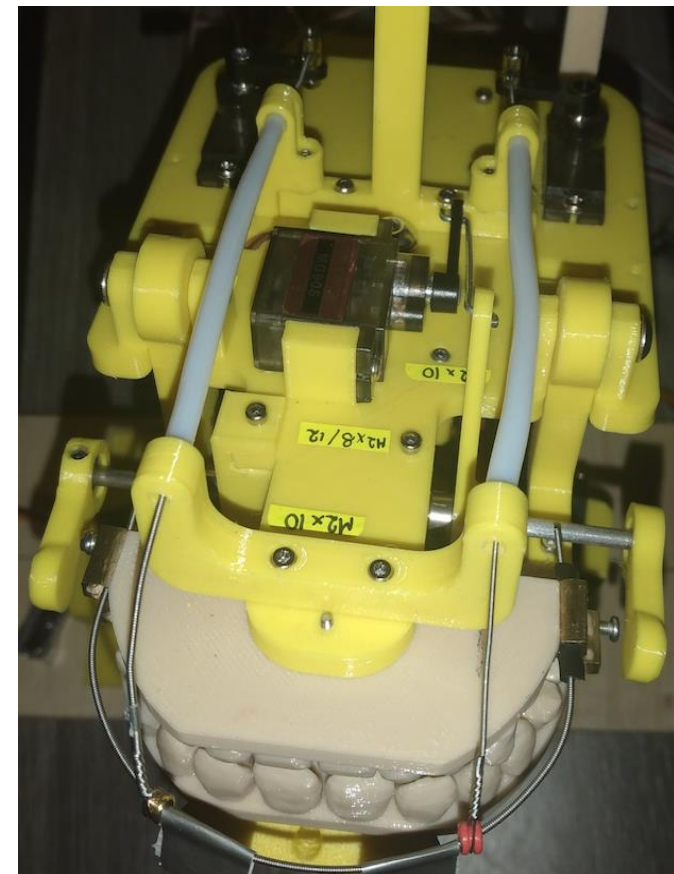
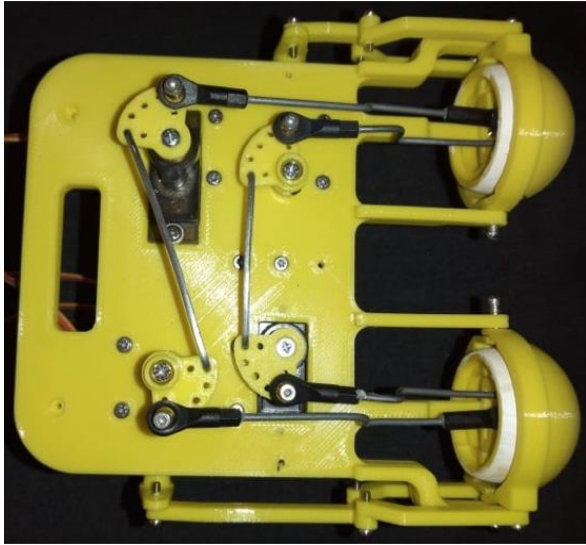
Diego\_Rendon



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

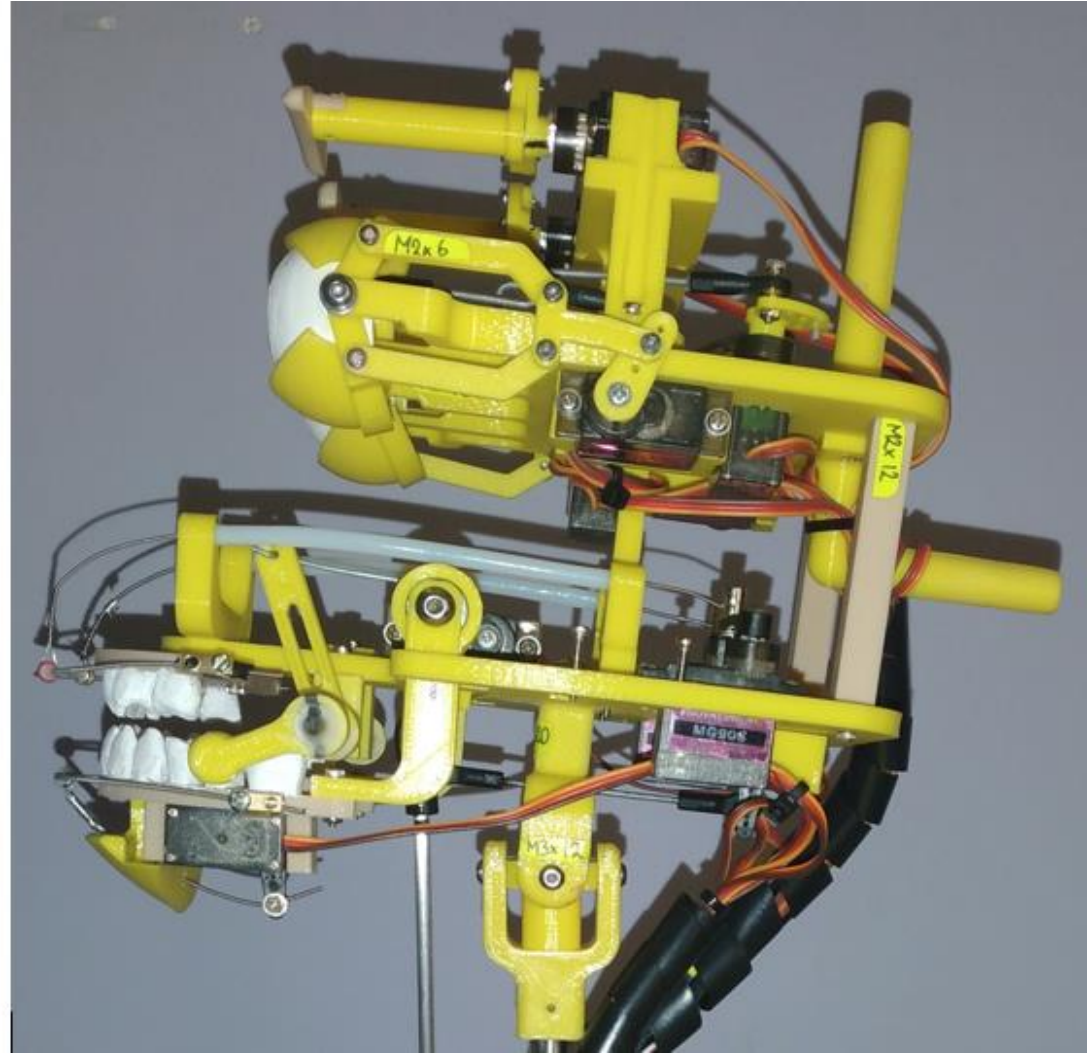
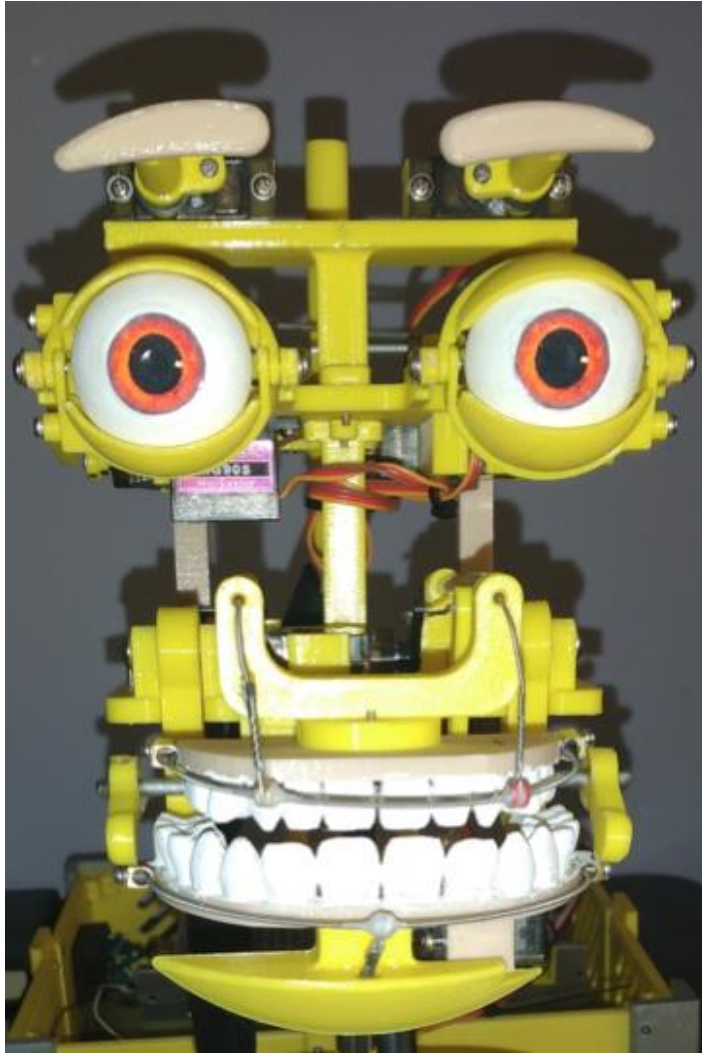
# CONSTRUCCIÓN

## MECANISMOS:



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONSTRUCCIÓN

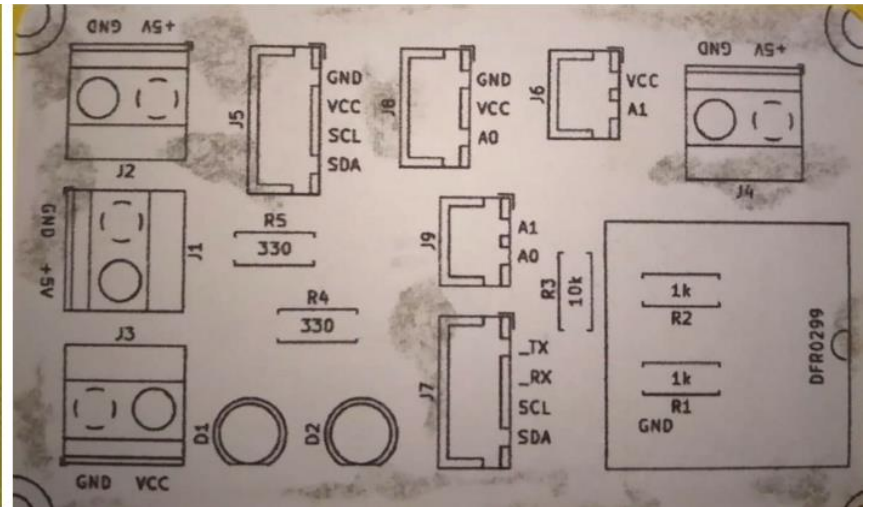
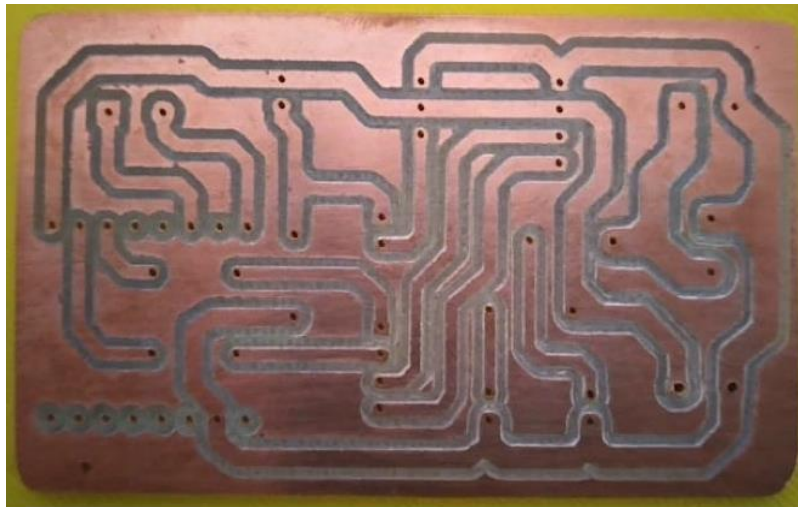
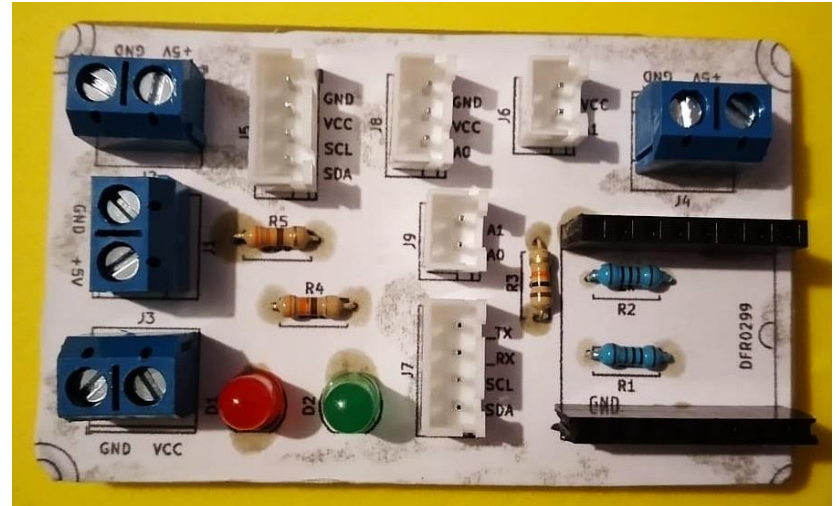


**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONSTRUCCIÓN

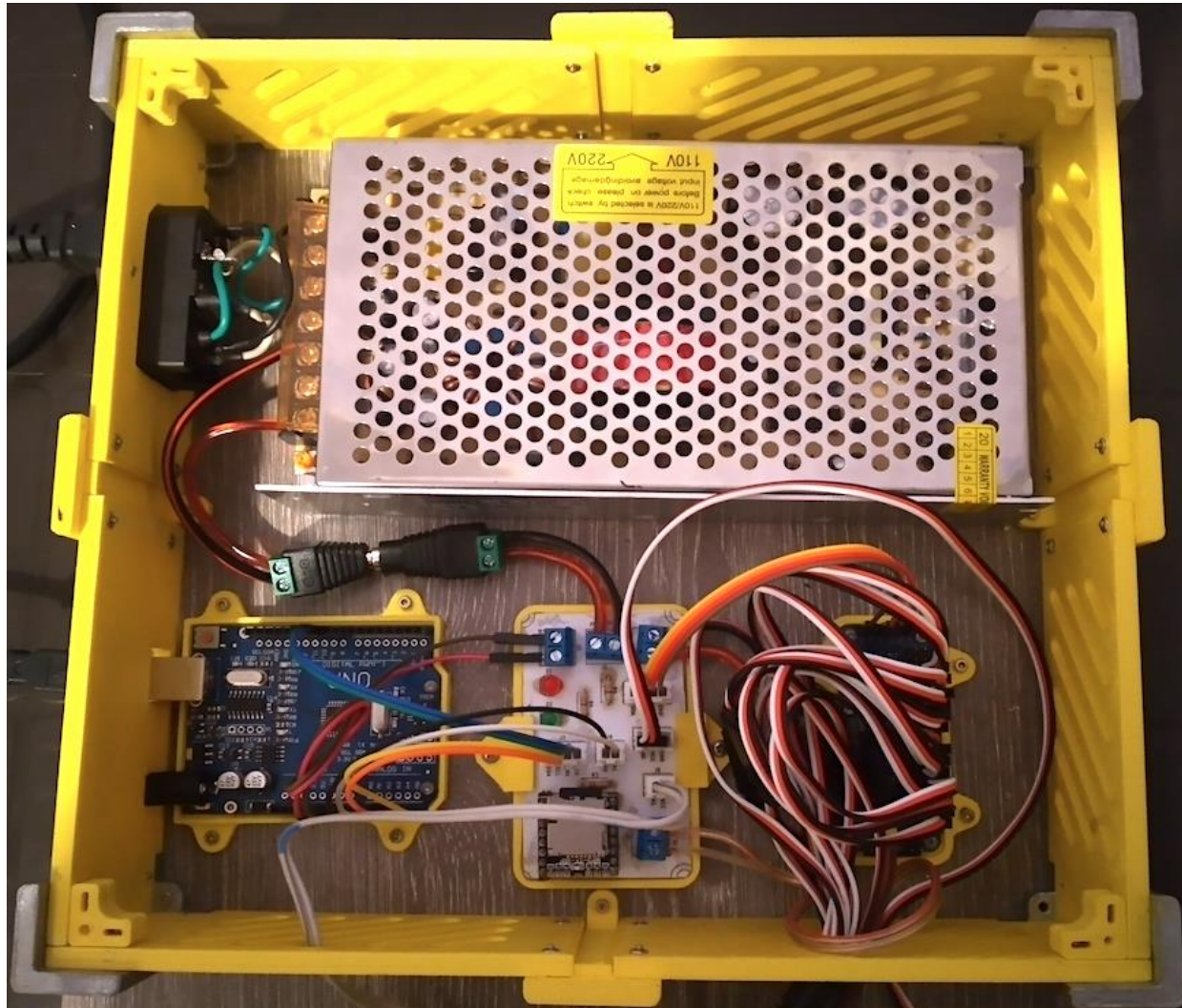
PLACA DE CIRCUITO IMPRESO:



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONSTRUCCIÓN

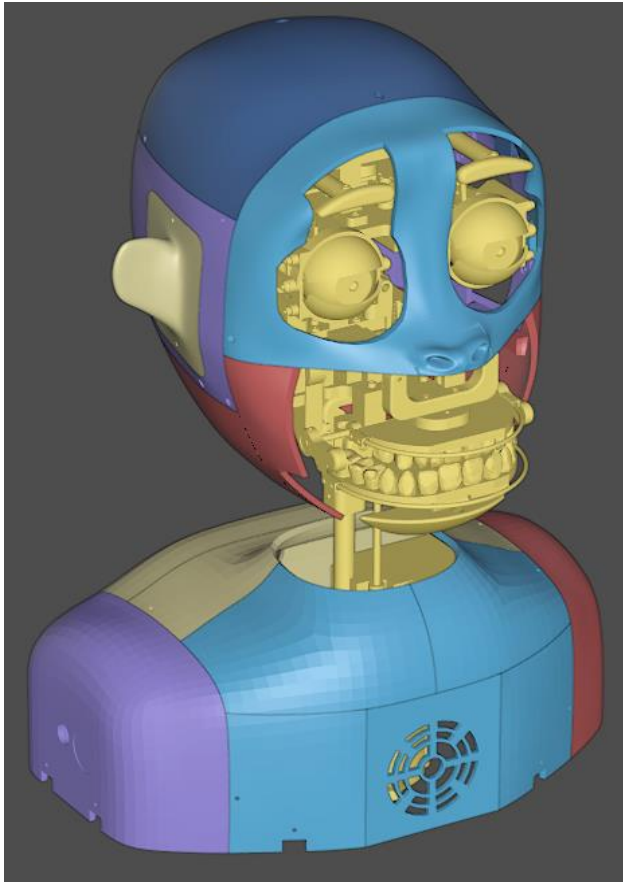
CAJA DE CONTROL:



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

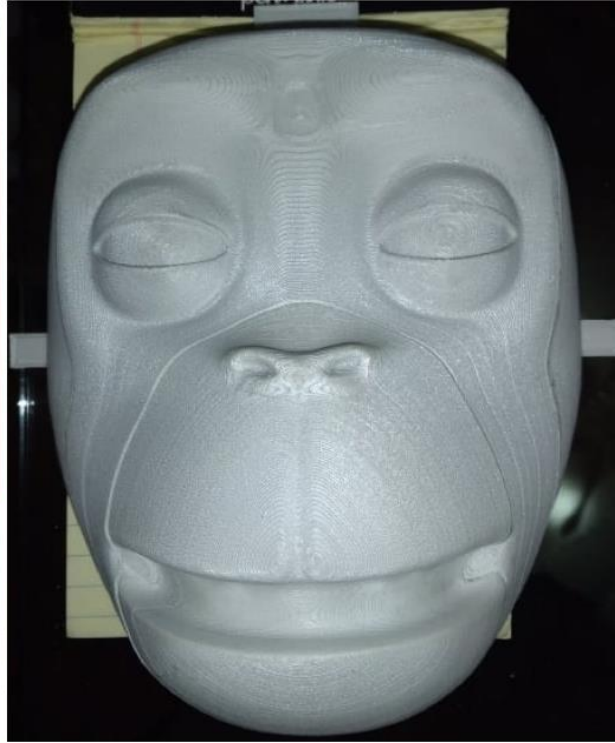
# CONSTRUCCIÓN

## CONSTRUCCIÓN ESTÉTICA:



# CONSTRUCCIÓN

## CONSTRUCCIÓN ESTÉTICA:



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# CONSTRUCCIÓN

## CONSTRUCCIÓN ESTÉTICA:



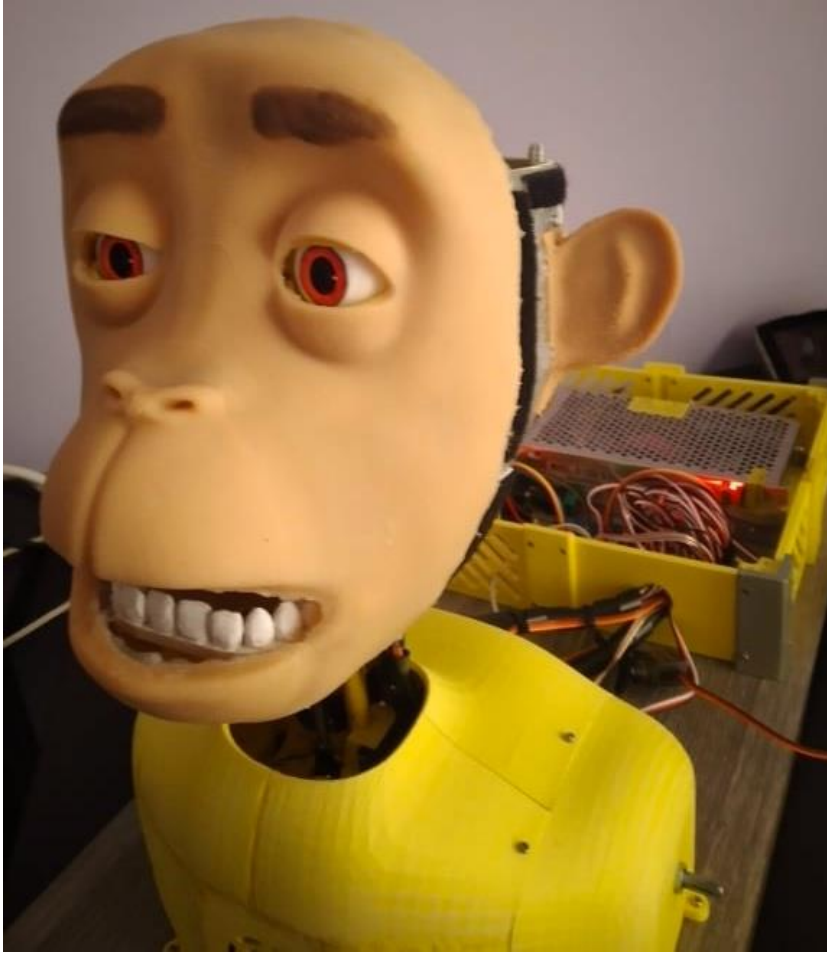
# CONSTRUCCIÓN

## CONSTRUCCIÓN ESTÉTICA:



# CONSTRUCCIÓN

## CONSTRUCCIÓN ESTÉTICA:



# CONSTRUCCIÓN











## PROGRAMACIÓN:

Paquete	Versión	Uso
Pillow	8.2.0	Manejo de imágenes
Cmake	3.18	Compilador para librerías de C++ (requisito de la librería dlib)
Dlib	19.22.0	Algoritmos de machine learning (requisito de face-recognition)
face-recognition	1.3.0	Detección y reconocimiento de rostros
gTTs	2.2.3	Texto a voz
Numpy	1.20.2	Análisis de datos y cálculo numérico
opencv-contrib-python	4.5.1.48	Algoritmos de visión artificial complementarios
opencv-python	4.4.0.46	Algoritmos de visión artificial
Pygame	2.0.1	Módulo de diseño de juegos (requisito de gTTs)
Pyserial	3.5	Comunicación por puerto serial















# PRUEBAS Y RESULTADOS

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO (Capacidades Mecánicas):

Elemento	Rango de Movilidad	Movimiento Mínimo	Movimiento Máximo
Cejas	70°		
Ojos (Horizontal)	50°		
Ojos (Vertical)	70°		
Párpados	50°		
Labio Superior Izquierdo	40°		



# PRUEBAS Y RESULTADOS

Elemento	Rango de Movilidad	Movimiento Mínimo	Movimiento Máximo
Labio Superior Derecho	50°		
Labio Inferior	50°		
Comisuras	100°		
Maxilar Inferior	40°		
Cuello (Elevación)	40°		
Cuello (Rotación)	90°		



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO (Emociones Universales):

Emoción	Descripción	AU
Felicidad	Leve cierre de párpados y levantamiento de comisuras.	6+12
Ira	Depresión de cejas, apertura de párpados y elevación del labio superior.	4+5+10
Tristeza	Cierre de párpados, depresión de cejas y comisuras.	4+6+15
Asco	Elevación del labio superior, depresión de comisuras y descenso del labio inferior.	10+15+16
Sorpresa	Apertura de párpados y caída de mandíbula.	5+26
Miedo	Levantamiento de cejas, apertura de párpados y mandíbula ligeramente caída.	4+5+26



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO (Emociones Universales):

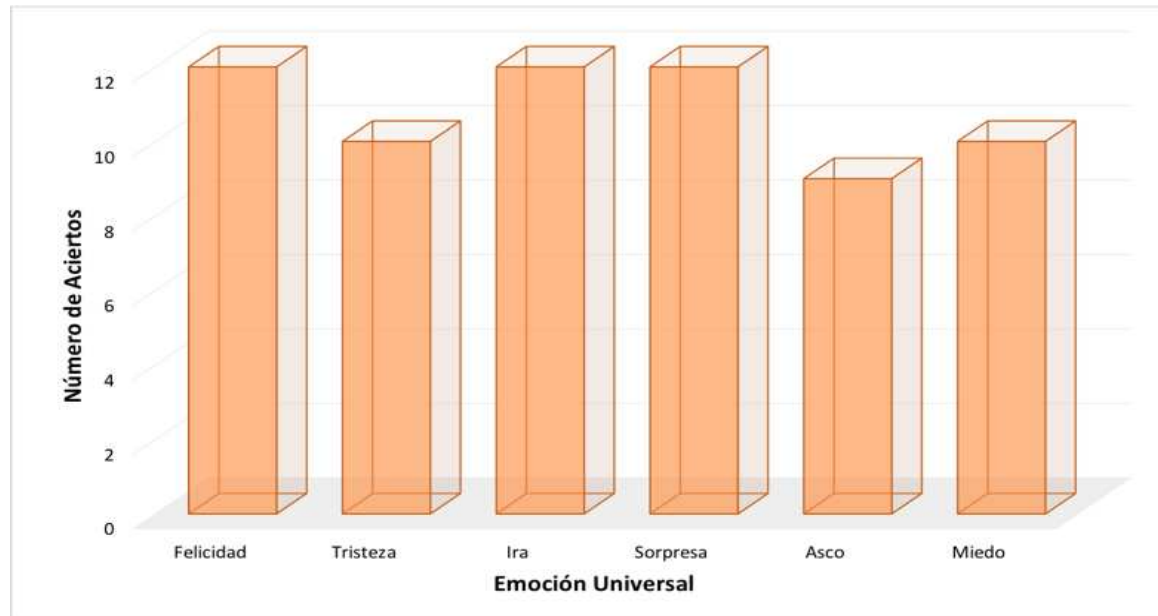




# PRUEBAS Y RESULTADOS

## RESULTADOS (NIÑOS):

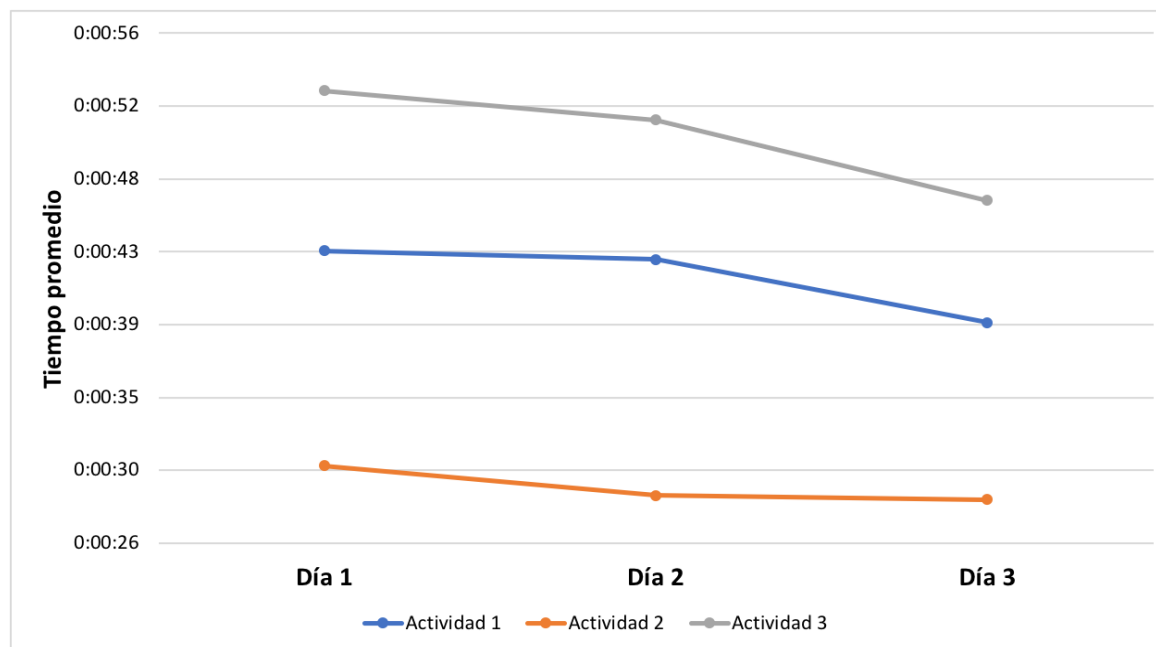
- El análisis de la actividad “¿Cómo me siento?” permite observar que las emociones de felicidad, ira y sorpresa son las que mejor expresa la cabeza animatrónica; asimismo, se refleja una ligera equivocación para las emociones de tristeza y miedo expresadas por el robot con 10 de 12 aciertos y finalmente se puede distinguir que la emoción de asco es la más compleja o difícil de reconocer.



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## RESULTADOS (NIÑOS):

- Analizando el promedio de tiempo que tardan los usuarios en completar las tres actividades, es posible denotar que a medida que pasan los días el tiempo que requieren llega a ser menor para todas las actividades, pero se destaca “¿Cómo me siento?” con una reducción de 7 segundos en comparación con el primer día



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS:

- **H0:** La cabeza animatrónica con percepción sensorial no facilitará la comunicación de niños y niñas con trastorno del espectro autista (TEA).
- **H1:** La cabeza animatrónica con percepción sensorial facilitará la comunicación de niños y niñas con trastorno del espectro autista (TEA).

Apartado	Reconocimiento de Emociones		¿Cómo me siento?	Total
	Ilustración #1	Ilustración #2		
Tiempo (segundos)	500	351	600	1451
Cantidad de aciertos	67	67	65	199
<b>Total</b>	<b>567</b>	<b>418</b>	<b>665</b>	<b>1650</b>

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O}$$

Apartado	Reconocimiento de Emociones		¿Cómo me siento?
	Ilustración #1	Ilustración #2	
Tiempo (segundos)	498.62	367.59	584.80
Cantidad de aciertos	68.38	50.41	80.20



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS:

$$x^2 = \sum_{i=1}^f \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

$$v = (f - 1)(c - 1)$$

Donde:

$x^2$  representa el valor calculado de Chi-Cuadrado

$f$  es el número de filas

$c$  es el número de columnas

$O_{ij}$  es la frecuencia observada en la fila  $i$  de la columna  $j$

$$x_{pruebas}^2 = 0.0038 + 0.7487 + 0.3951 + 0.0279 + 5.4598 + 2.8808 = 9.52$$

$$v_{pruebas} = (2 - 1)(3 - 1) = 2$$



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS:

$$x_{\text{cerrado}}^2 = 3 * (0.6429) + 2 * (0.0714) + 1.7857 + 3 * (1.5) + 2 * (0.1667) + 4.1667$$
$$x_{\text{cerrado}}^2 = 12.86$$

$$v_{\text{cerrado}} = (2 - 1)(6 - 1) = 5$$

$$x_{\text{cualitativo}}^2 = 3 * (0.1037) + 2 * (0.0252) + 0.4085 + 3 * (0.67) + 2 * (0.1625) + 2.6401$$
$$x_{\text{cualitativo}}^2 = 5.75$$

$$v_{\text{cualitativo}} = (2 - 1)(6 - 1) = 5$$

$$x_{\text{encuestas}}^2 = 18.61$$



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS:

$$x^2_{pruebas} = 9.52$$

$$x^2_{encuestas} = 18.61$$

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494

- Comparando los valores calculados de Chi-Cuadrado es posible observar que ambos resultados son mayores que los de tabla, lo que permite descartar la hipótesis nula ( $H_0$ ), en otras palabras, es seguro afirmar que la cabeza animatrónica con percepción sensorial facilita la comunicación de niños y niñas con trastorno del espectro autista (TEA).



# CONCLUSIONES

- Para definir correctamente los parámetros estéticos de la cabeza animatrónica se hizo una investigación profunda, la cual definió que tanto los niños con desarrollo típico como los niños con TEA tienden a preferir más los modelos con atributos caricaturescos que los realistas. Por ello, el modelo propuesto, realizado en el software libre Blender, tiene facciones semejantes a las de un mono con rasgos de caricatura, mismo que cuenta con un pelaje de felpa para cubrir la estructura y un rostro de silicona que brinda una elasticidad adecuada para el preciso movimiento de componentes. Es fundamental aclarar que, a pesar de que el proyecto fue desarrollado para mejorar la comunicación de niños con TEA, se presentaron limitantes al momento de realizar pruebas con los mismos debido a las circunstancias mundiales de pandemia, por lo que en las pruebas únicamente participan niños con desarrollo típico, quienes mostraron un alto interés en el robot y en sus actividades.



# CONCLUSIONES

- La estructura de soporte de la cabeza animatrónica y sus mecanismos (ojos, boca y cuello), se diseñaron considerando los parámetros estéticos y se construyeron mediante impresión 3D. Recíprocamente, el diseño de los mecanismos se realizó con el método de ensayo y error, mientras que los componentes se seleccionaron siguiendo el proceso genérico de desarrollo de un producto.
- El sistema de percepción sensorial del robot está compuesto por el sentido de la vista usando una cámara Arducam IMX291, del tacto por medio de un sensor de presión FSR402 y la capacidad del habla mediante un parlante con control de volumen encargado de impartir instrucciones al usuario. Adicionalmente, para evitar ambigüedad en la clasificación de emociones, se utilizó el concepto de expresiones faciales propuesto por el Dr. Ekman, en el cual se reconocen como universales a las emociones de felicidad, ira, tristeza, asco, sorpresa y miedo; así, el sistema de actuadores, compuesto por 11 micro servomotores MG90S y 2 servomotores MG995, posee un total de 13 grados de libertad y es capaz de ejecutar movimientos en la piel del rostro que simulan las seis emociones universales





# CONCLUSIONES

- Para el control de la cabeza animatrónica se desarrollaron dos interfaces de usuario usando el paquete Tkinter, la primera GUI está destinada al sistema de control del robot, mismo que introduce actividades didácticas para el aprendizaje y reconocimiento de emociones, además de incluir funciones para el control manual y automático de los elementos del rostro por medio de deslizadores y botones de selección de emociones, respectivamente. La segunda GUI se enfoca al sistema de visión artificial, mismo que cuenta con funciones de seguimiento de rostro y reconocimiento facial mediante herramientas de código abierto, estas operaciones se formularon para aumentar el rango de aplicación del robot



# CONCLUSIONES

- Finalmente, la funcionalidad del robot se verificó tanto con el análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento aplicadas durante tres sesiones a cuatro niños en edades entre 6 y 8 años, como con valoraciones de cinco adultos que usaron la interfaz de control para manipular al robot de forma manual y automática. Las pruebas realizadas muestran que los niños interactúan de forma positiva con el robot e indican que los participantes logran entender bien las emociones que ejecuta el robot, no obstante, de todas las emociones, el asco presenta menor consistencia de reconocimiento; esto se debe a que los movimientos asociados a dicha emoción son más complejos de alcanzar, ya que implican el uso de la AU 9 correspondiente al arrugamiento de la nariz



# RECOMENDACIONES

- Antes de utilizar la cabeza animatrónica, se recomienda que el usuario estudie de forma detallada el manual de uso, para que se familiarice de mejor manera con las diferentes características del robot, las actividades de la interfaz de control y las funciones del sistema de visión artificial.
- Mientras no se utilice la cabeza animatrónica, se recomienda guardar el robot en un lugar seco y libre de objetos que puedan caer sobre el rostro o la caja de control.
- Estimar un tiempo de funcionamiento máximo de 25 minutos para evitar el aumento de temperatura en el interior de la caja de control, además, no se debe colocar ningún elemento pesado sobre la piel del rostro, estante de la cámara o la tapa de la caja.
- Para las funciones del sistema de visión artificial es recomendable seguir las distancias planteadas, siendo estas una separación horizontal de 60 cm y vertical de 15 cm entre el lente de la cámara y el rostro del usuario.

*Gracias*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA