



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

Ruales Cortés Carlos David

DIRECTOR: Ing. Arteaga L. Oscar B.

CODIRECTOR: Ing. Rivas L. David R.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROSTRO ROBÓTICO DE APARIENCIA HUMANA, CON CAPACIDAD DE EJECUTAR GESTOS Y EMOCIONES, PARA LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”



Objetivo General

Diseñar y construir un rostro robótico que ejecute gestos y emociones acordes a las humanas.

Objetivos Específicos

- Diseñar y construir mecanismos, de soporte y movimiento para el cuello y cabeza del robot, así como varios músculos de la cara.
- Construir un sistema mecánico que realice el movimiento de abrir y cerrar los párpados y la boca, así como el posicionamiento sobre dos ejes diferentes, tanto para el rostro y para los ojos.
- Ensamblar las partes fijas y móviles de la cabeza del robot, según parámetros de diseño y estudios realizados.
- Establecer un sistema de control que permita cambiar los gestos del robot bajo comandos de programación.





Contenido

CAPÍTULO I	FUNDAMENTOS TEÓRICOS
CAPÍTULO II	DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN
CAPÍTULO III	IMPLEMENTACIÓN
CAPÍTULO IV	PRUEBAS Y RESULTADOS
CAPÍTULO V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- **Robot**

Significa postular sistemas mecatrónicos que desempeñen una función, usando el desarrollo de decisiones previamente programadas, mismas que son la base del pensamiento artificial.

- **Antropomorfismo**

El término antropomórfico, relaciona el resultado final del robot, frente a la o las cualidades que representa su forma.

- **Animatrónica**

Es la técnica que, mediante el uso de mecanismos robóticos, simula el aspecto y comportamiento de los seres vivos, empleando marionetas u otros muñecos mecánicos.

- **Robots Androides**

No solo son robots antropomórficos de tipo humanoide, sino que además poseen “iniciativa artificial”, bajo un concepto inesperado.





Emoción

Es un estado anímico que surge por alguna impresión sensorial, o la aparición en la mente de ideas o recuerdos, que generan alteraciones en los gestos, expresiones, en la atención, y en las acciones.

Gesto

Es todo aquel movimiento del cuerpo o del rostro que tiene como objetivo el transmitir emociones a quien los ve o recibe. Es quizás la forma de comunicación no verbal más común.

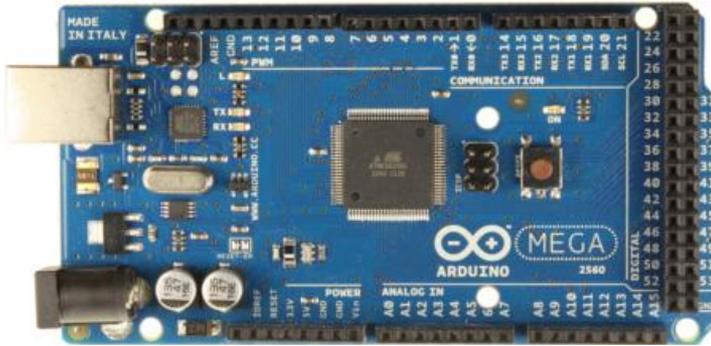


Autismo y la Robot-Terapia

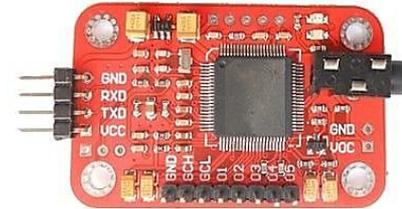
El autismo no es considerado como una enfermedad, es un síndrome que se resume como un conjunto de dificultades que afectan:

- La socialización
- La comunicación
- La imaginación
- La planificación
- La reciprocidad emocional
- Evidencia conductas repetitivas o inusuales.





Arduino Mega 2560



Módulo de Reconocimiento de Voz V2



Módulo WTV020-SD-16P



Módulo Bluetooth HC-07.



Servomotor Plástico de Corriente Continua.



Fusible



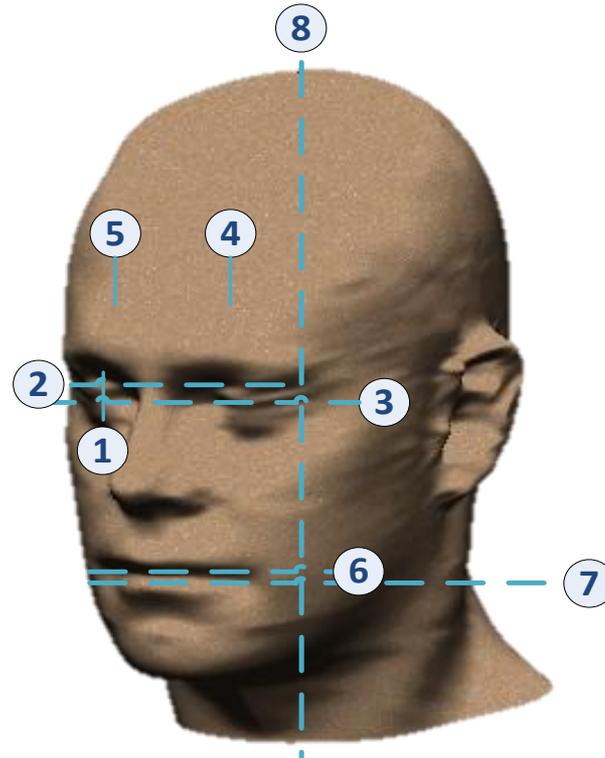
*Micrófono – Transductores
Electroacústico de Condensador*



*Altavoz - Transductor
Electroacústico Magnético*



Geometría del Sistema



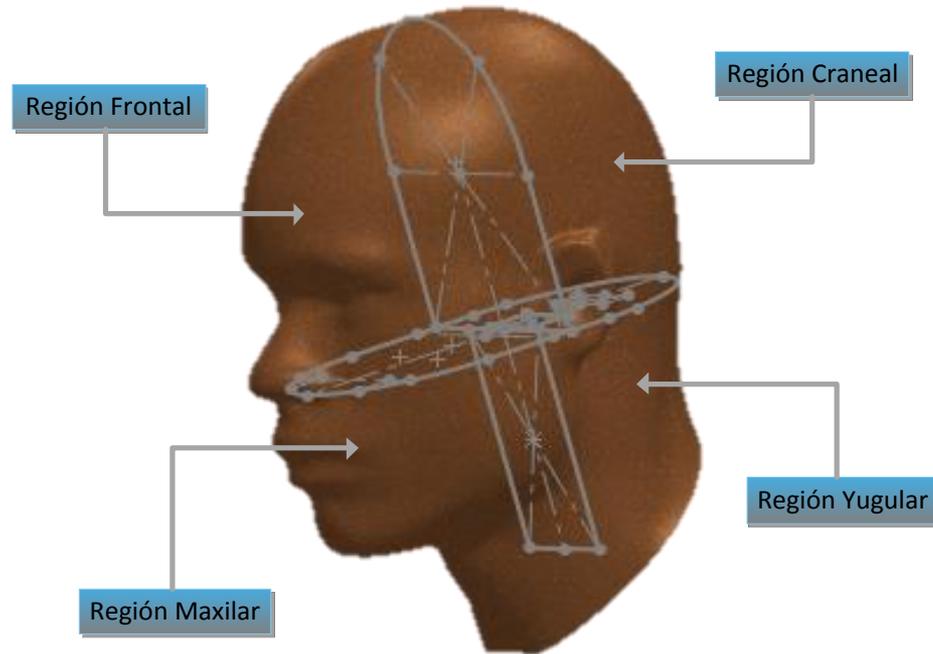


Parámetros de Diseño

- ✓ El tamaño del rostro robótico, así como el torso del mismo, deben ser conforme a las dimensiones y características de una persona normal de sexo masculino.
- ✓ El peso del rostro robótico debe ser no mayor a 6 kilogramos como medida aproximada.
- ✓ El rostro robótico debe conservar su posición y estabilidad como conjunto, ya sea al estar apagado o prendido.
- ✓ Las componentes de sujeción no deben ser visibles por ningún motivo, de manera que no altere la apariencia final.

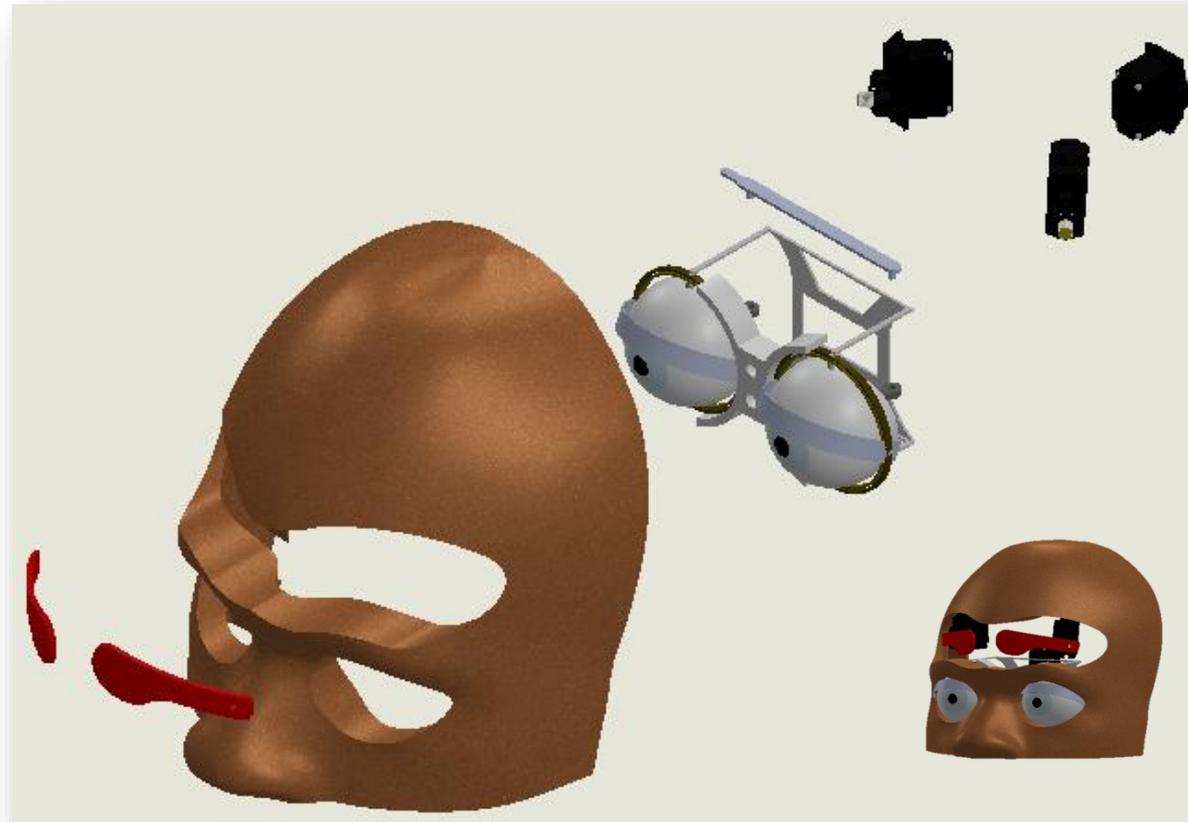


Distribución por Regiones del Rostro Robótico



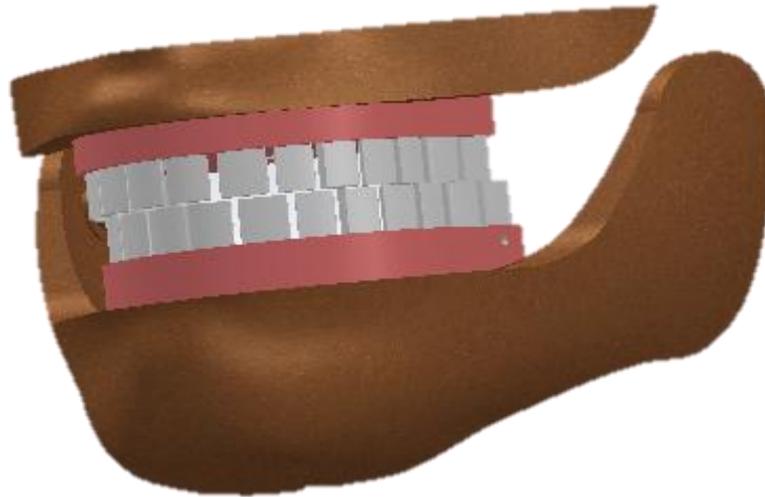


Región Frontal





Región Maxilar



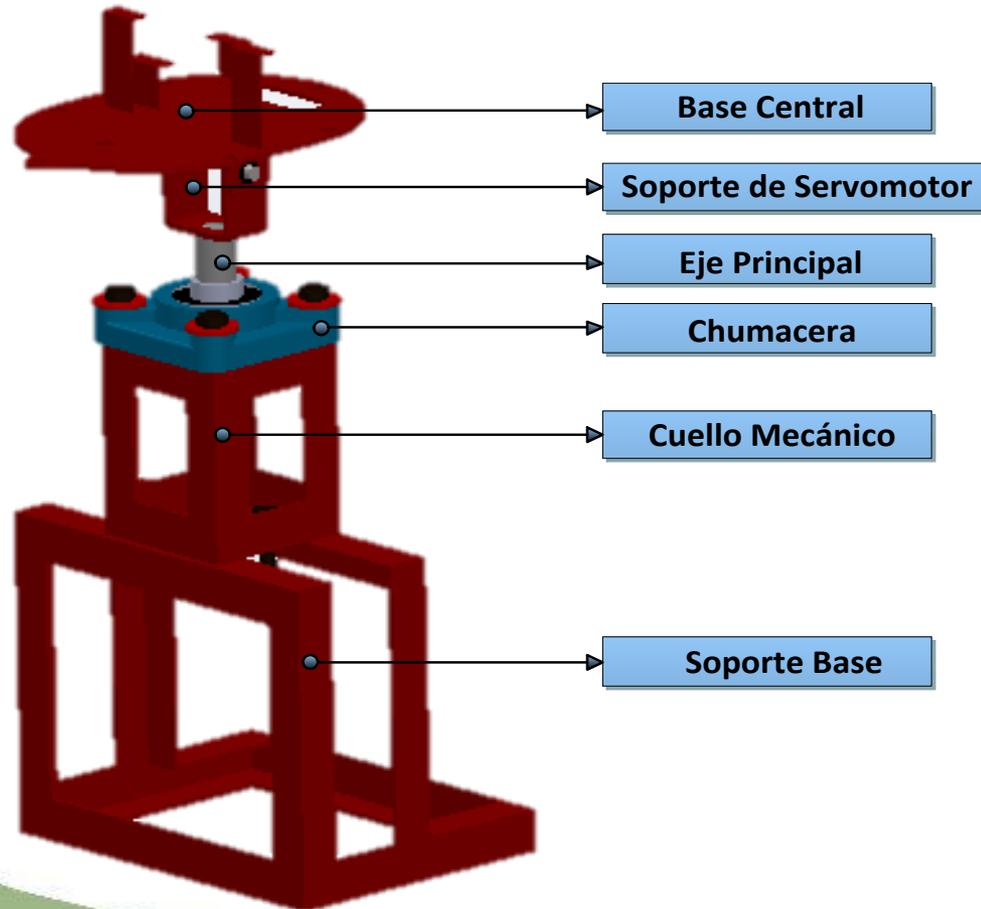


Región Craneal



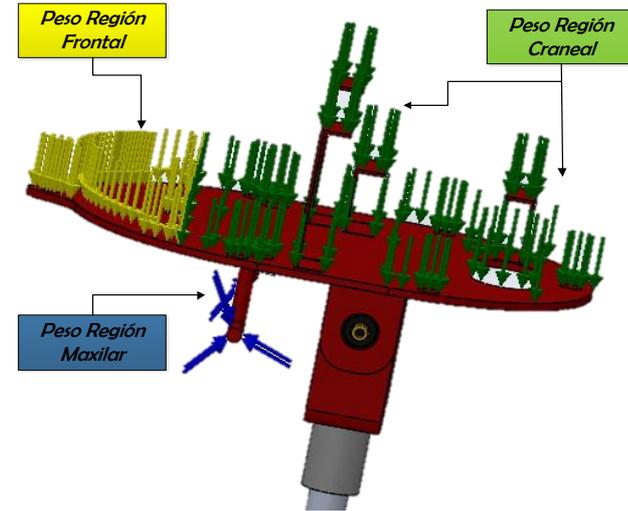
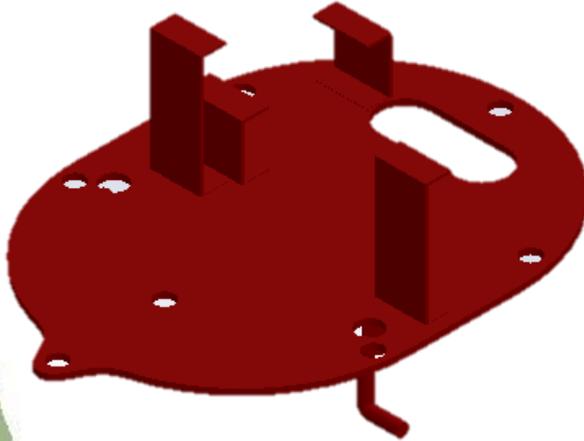


Base Mecánica del Robot





Base Central del Robot



Acero ASTM A36

- ✓ Resistencia a la tracción y ductibilidad baja.
- ✓ Buena maquinabilidad y resistencia al desgaste
- ✓ Material soldable
- ✓ De bajo costo en el mercado

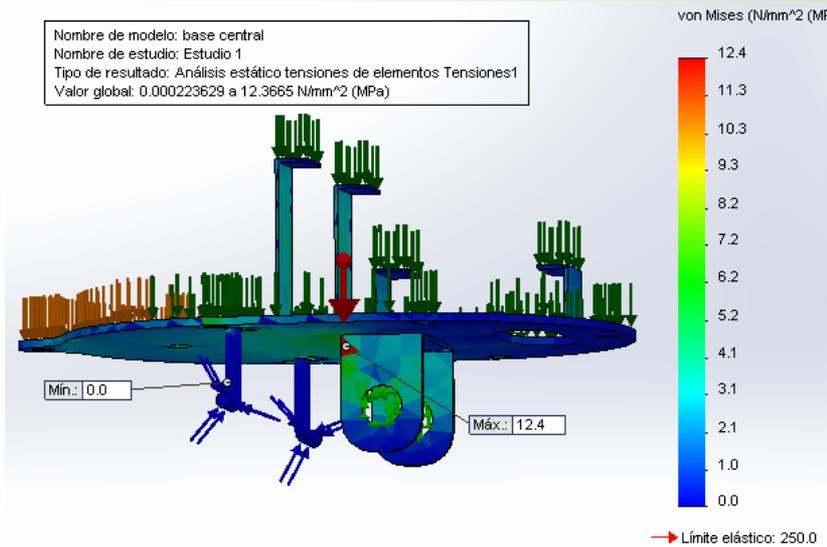


Gráfico de la Tensión de Von Mises

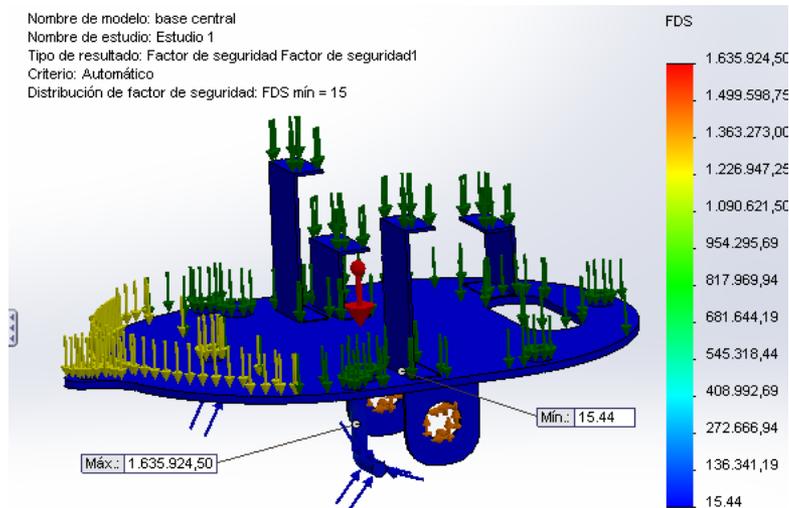


Gráfico del Factor de Seguridad

Comprobación de la Estructura de la Base Central del Rostro Robótico

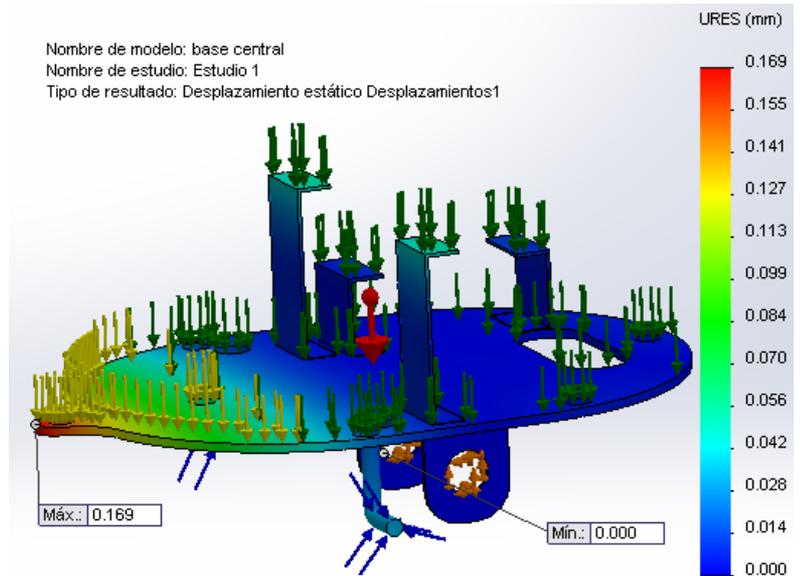


Gráfico del Desplazamiento Estático



Eje Principal del Robot



Selección del Material

Cálculo del esfuerzo flexionante

$$\sigma_b = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\sigma_b = \frac{(0.923Nm) \cdot (0.0095m)}{6.39 \times 10^{-9} m^4} = 1.372 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = 1.372 MPa$$

Cálculo del esfuerzo de compresión directo

$$\sigma_c = \frac{-F}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{13.665N}{2.835 \times 10^4 m^2} = 0.048 MPa$$



Selección del Material

Cálculo del esfuerzo cortante torsional

$$\tau = \frac{t_p}{Z_p}$$

$$\tau = \frac{t_p}{Z_p} = \frac{0.961N \cdot m}{1.346 \times 10^{-6} m^3} = 0.714MPa$$

Cálculo de la resistencia a la cedencia

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2N}$$

Factor de Seguridad $N=2$

$$S_y = 2(\tau_{\max} \cdot N) = 2(0.714MPa \cdot 2) = 2.856MPa$$

Cálculo del esfuerzo máximo

$$\tau_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma_T^2}{4} + \frac{t_p^2}{Z_p^2}} = \sqrt{\frac{(1.42)^2}{4} + \frac{(0.961)^2}{(1.346 \times 10^{-6})^2}} MPa$$

$$\tau_{\max} = 0.714MPa$$

Selección del Material:
Aluminio Aleado 6061-O
que posee una resistencia a la fluencia de 55MPa

Comprobación de la Estructura de la Base Central del Rostro Robótico

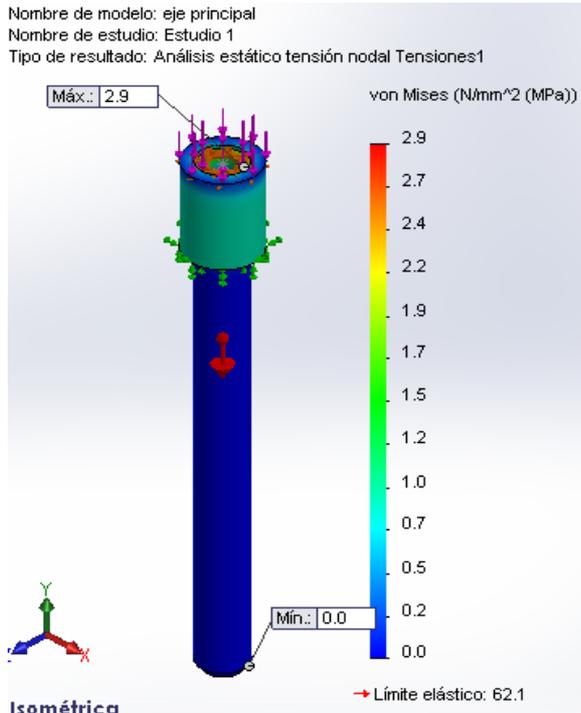


Gráfico de la Tensión de Von Mises

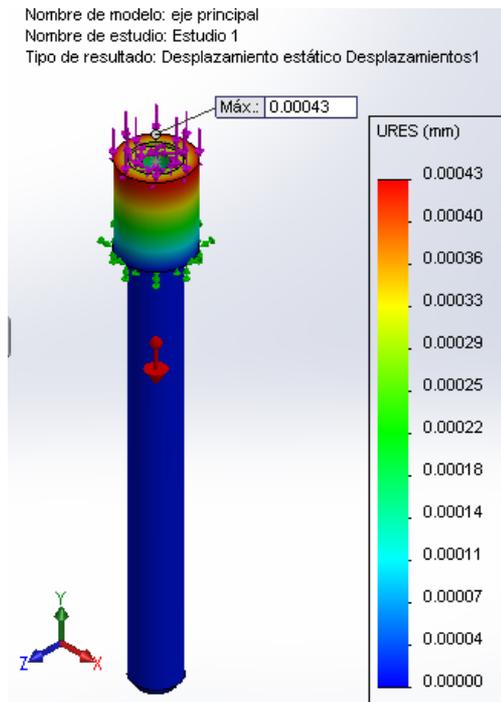


Gráfico del Desplazamiento Estático

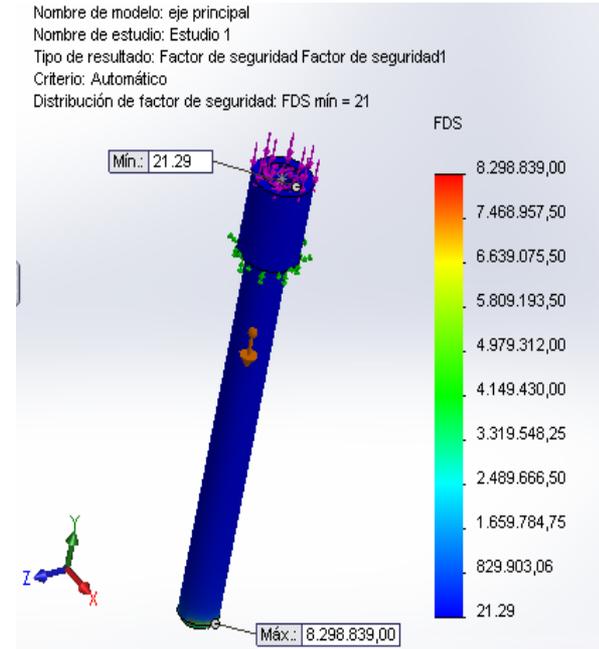
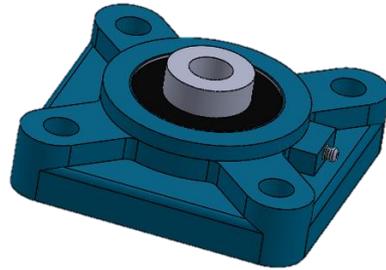


Gráfico del Factor de Seguridad



Chumacera y Rodamiento de la Base Mecánica del Robot



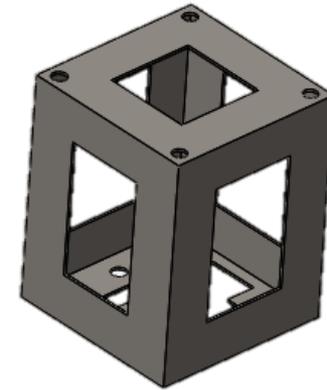
$$F_a = 11.968N + 2.42N + 4.12N = 18.508N$$

$$F_r = \frac{0.96N \cdot m}{0.0095m} = 101.053N$$

Chumacera: NBR UCF 201

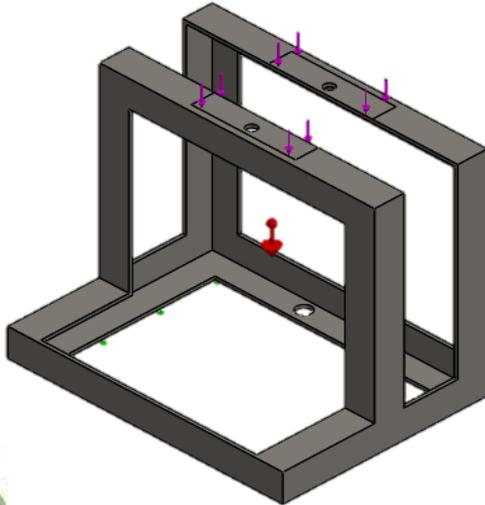
Rodamiento: NBR UC 201-08

Cuello Mecánico del Robot



Material: Acero ASTM A-36

Soporte Interior del Rostro Robótico



Cálculo del Factor de Seguridad

Material: Acero ASTM A36,
perfil tipo L (o ángulo),

Cálculo del esfuerzo total

$$\sigma_d = \frac{M}{S}$$

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$S = \frac{(0.195m) \cdot (0.002m)^2}{6} = \frac{7.8 \times 10^{-7} m^3}{6} = 1.3 \times 10^{-7} m^3$$

El momento flector máximo

$$W_1 = \frac{20.6N}{7.5cm} \rightarrow \frac{20.6N}{0.075m} = 274.67 \frac{N}{m}$$



DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN

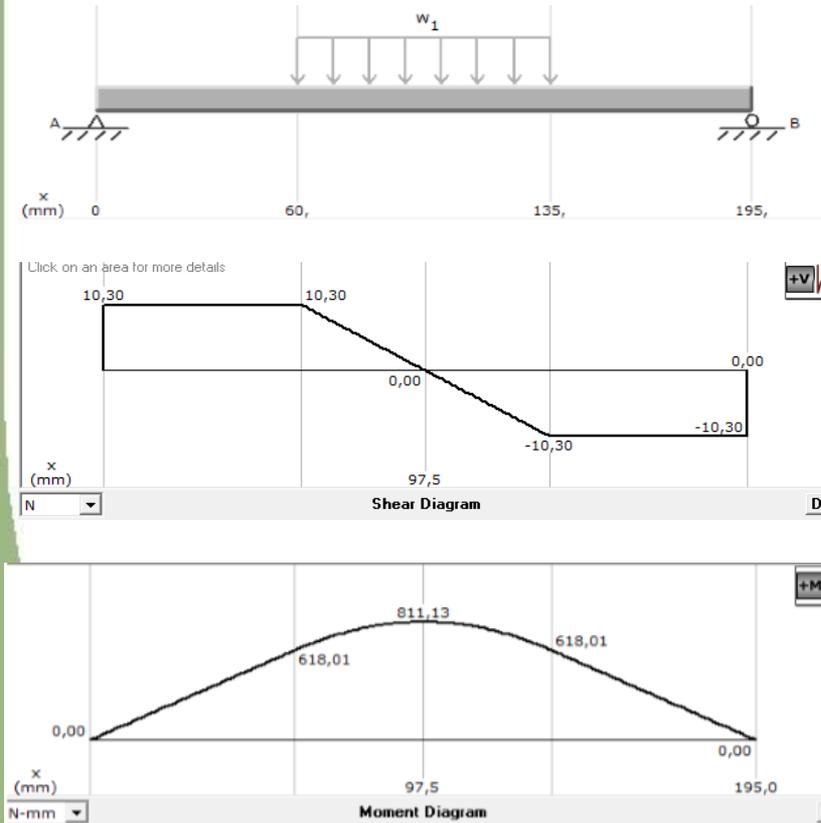
Cálculo del momento flector máximo

$$\sigma_d = \frac{M}{S} = \frac{0.8111N \cdot m}{1.3 \times 10^{-7} m^3} = 6.24 \frac{N}{m^2} \Rightarrow 6.24 MPa$$

Cálculo del factor de seguridad

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \Rightarrow N = \frac{S_y}{\sigma_d}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d} = \frac{248 MPa}{6.24 MPa} = 39.7$$



Nombre de modelo: Soporte Interior
Nombre de estudio: Estudio Estático
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1

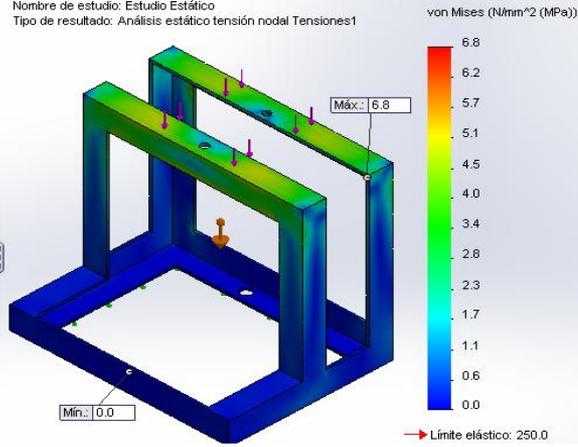


Gráfico de la Tensión de Von Mises

Nombre de modelo: Soporte Interior
Nombre de estudio: Estudio Estático
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 37

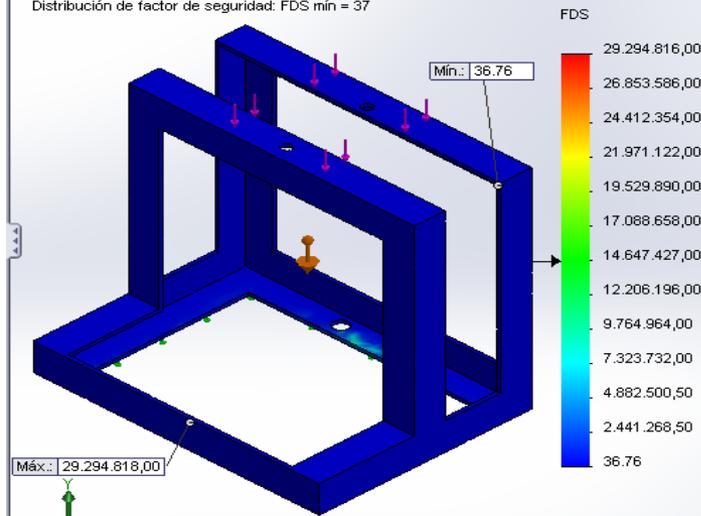


Gráfico del Factor de Seguridad

Comprobación de la Estructura de la Base Central del Rostro Robótico

Nombre de modelo: Soporte Interior
Nombre de estudio: Estudio Estático
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

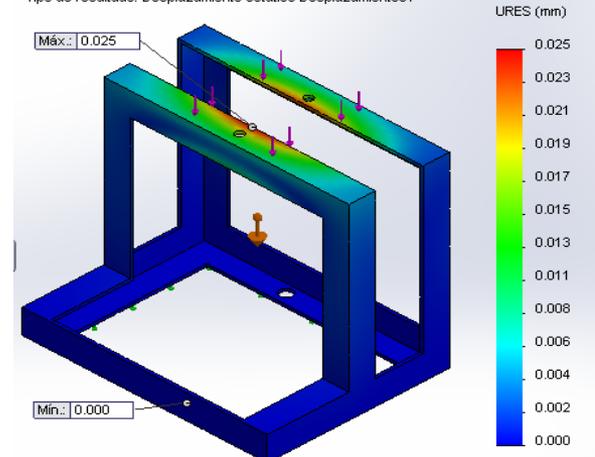


Gráfico del Desplazamiento Estático



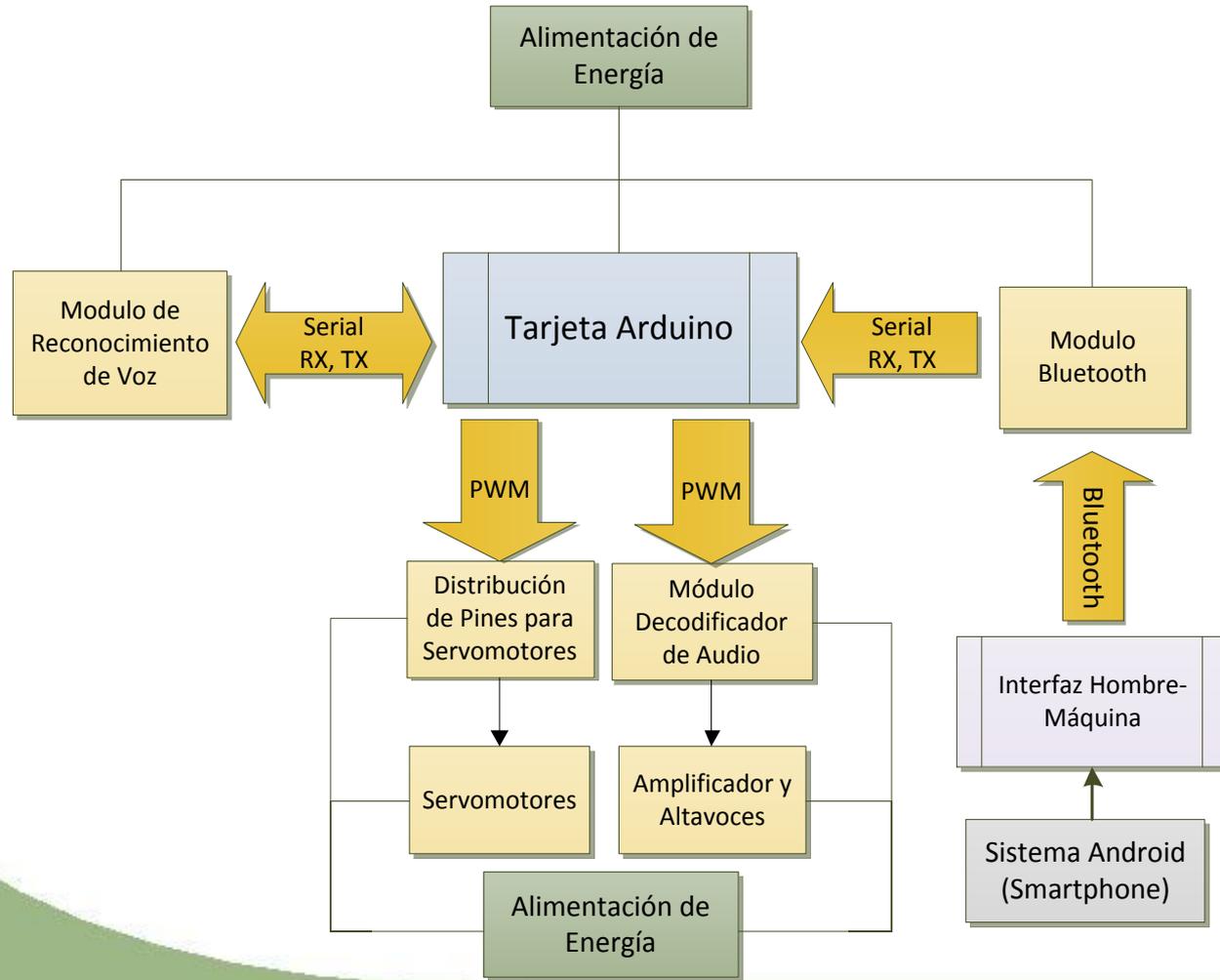
Selección del Servomotor

Parte / Órgano	Movimiento	Torque Requerido $T = F(N) \times d(m)$	Servomotor Seleccionado
Ojos	Derecha - Izquierda	$T = 4.2 \times 0.02 = 0.08 \text{ N.m}$	Power HD-1900PG
Ojos	Arriba - Abajo	$T = 8.2 \times 0.05 = 0.41 \text{ N.m}$	Power HD-3001HB
Párpados	Arriba - Abajo	$T = 5.7 \times 0.03 = 0.17 \text{ N.m}$	Power HD-3001HB
Ceño Izquierdo	Relajar - Fruncir	$T = 2.94 \times 0.04 = 0.11 \text{ N.m}$	Power HD-1900PG
Ceño Derecho	Relajar - Fruncir	$T = 2.94 \times 0.04 = 0.11 \text{ N.m}$	Power HD-1900PG
Mandíbula	Apertura - Cierre	$T = 11.8 \times 0.05 = 0.6 \text{ N.m}$	Power HD-6001HB
Cabeza	Arriba - Abajo	$T = 10.27 \times 0.09 = 0.92 \text{ N.m}$	Power HD-9001MG
Cabeza	Derecha - Izquierda	$T = 12.4 \times 0.06 = 0.75 \text{ N.m}$	Power HD-9001MG





Esquemático de Interacción del Sistema Electrónico





Esquema de Distribución Eléctrica para el Rostro Robótico

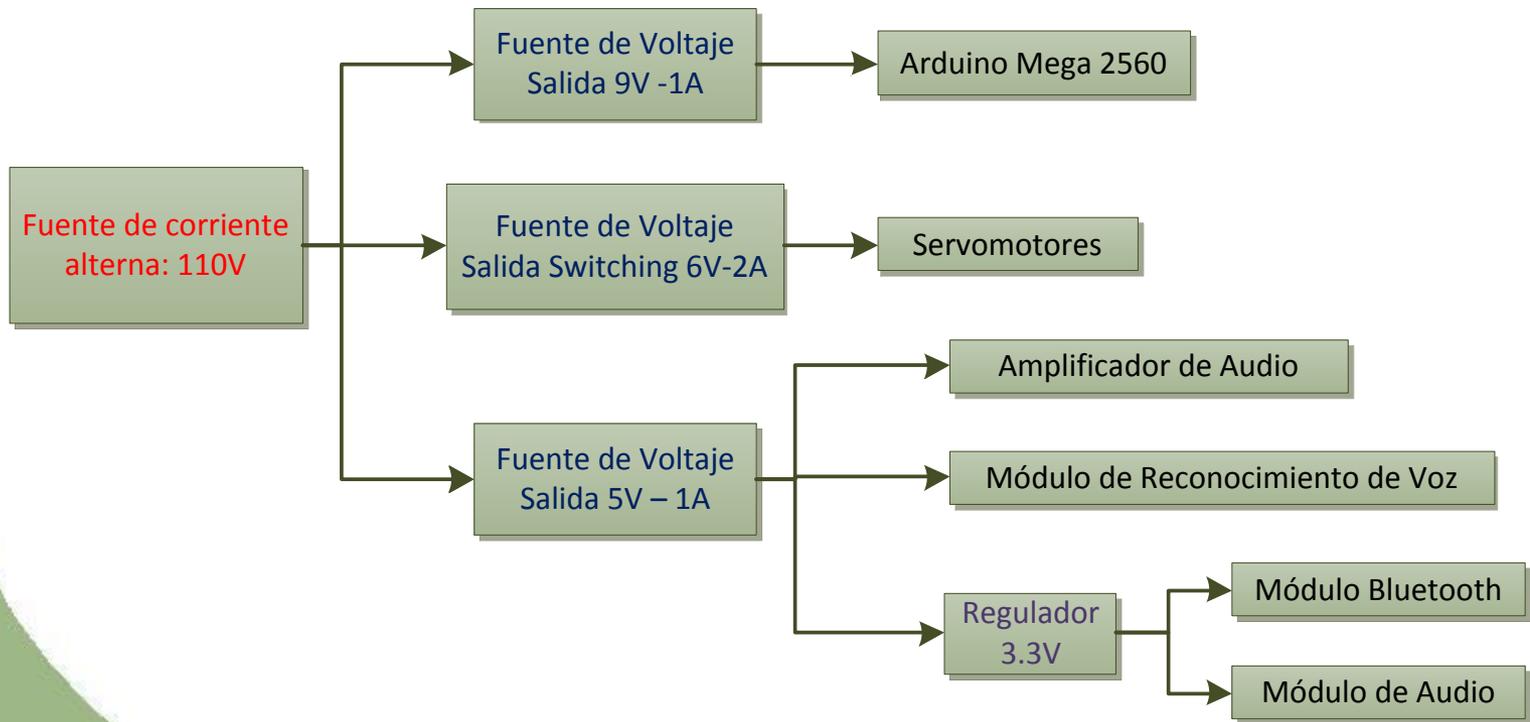
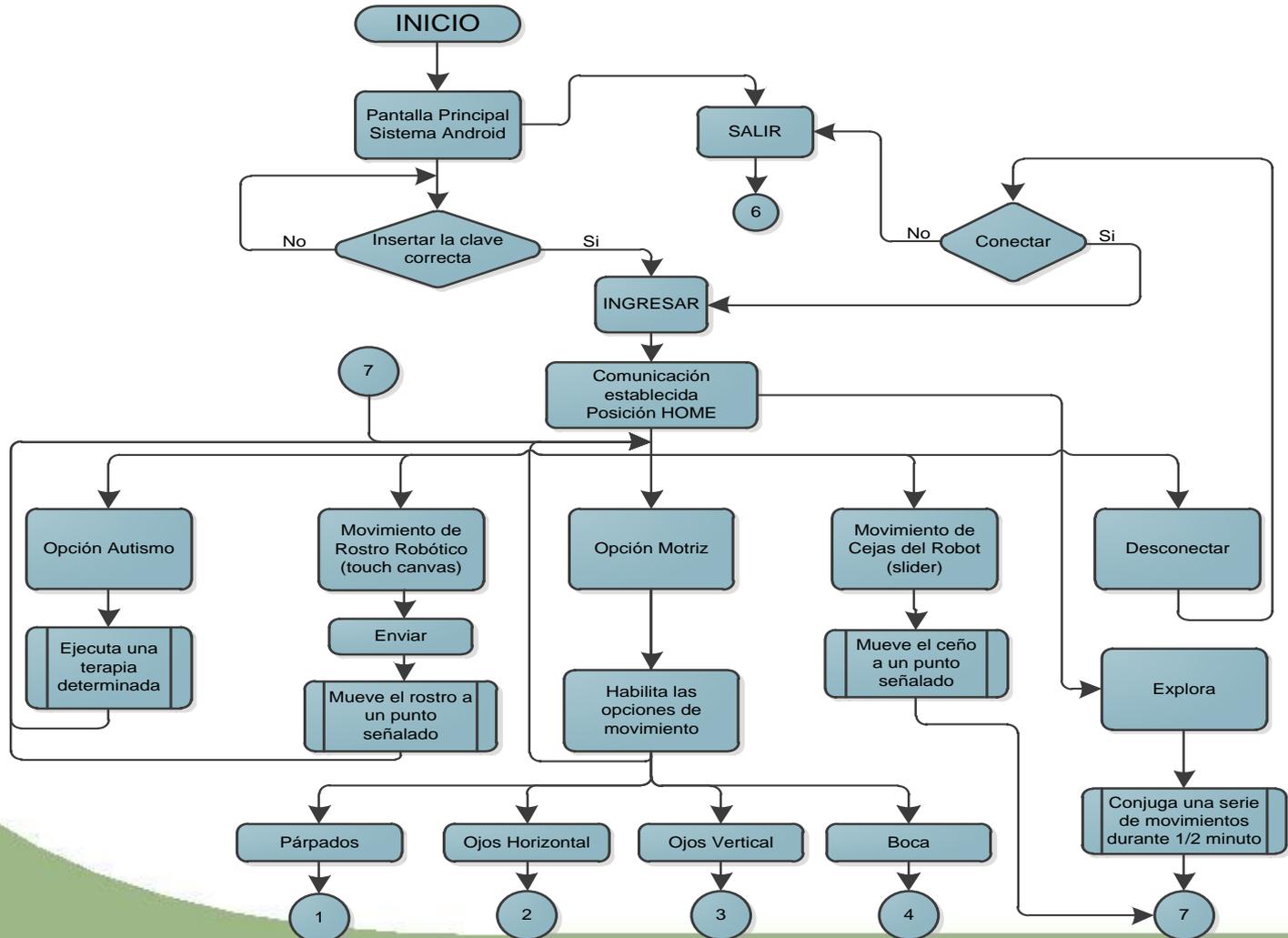


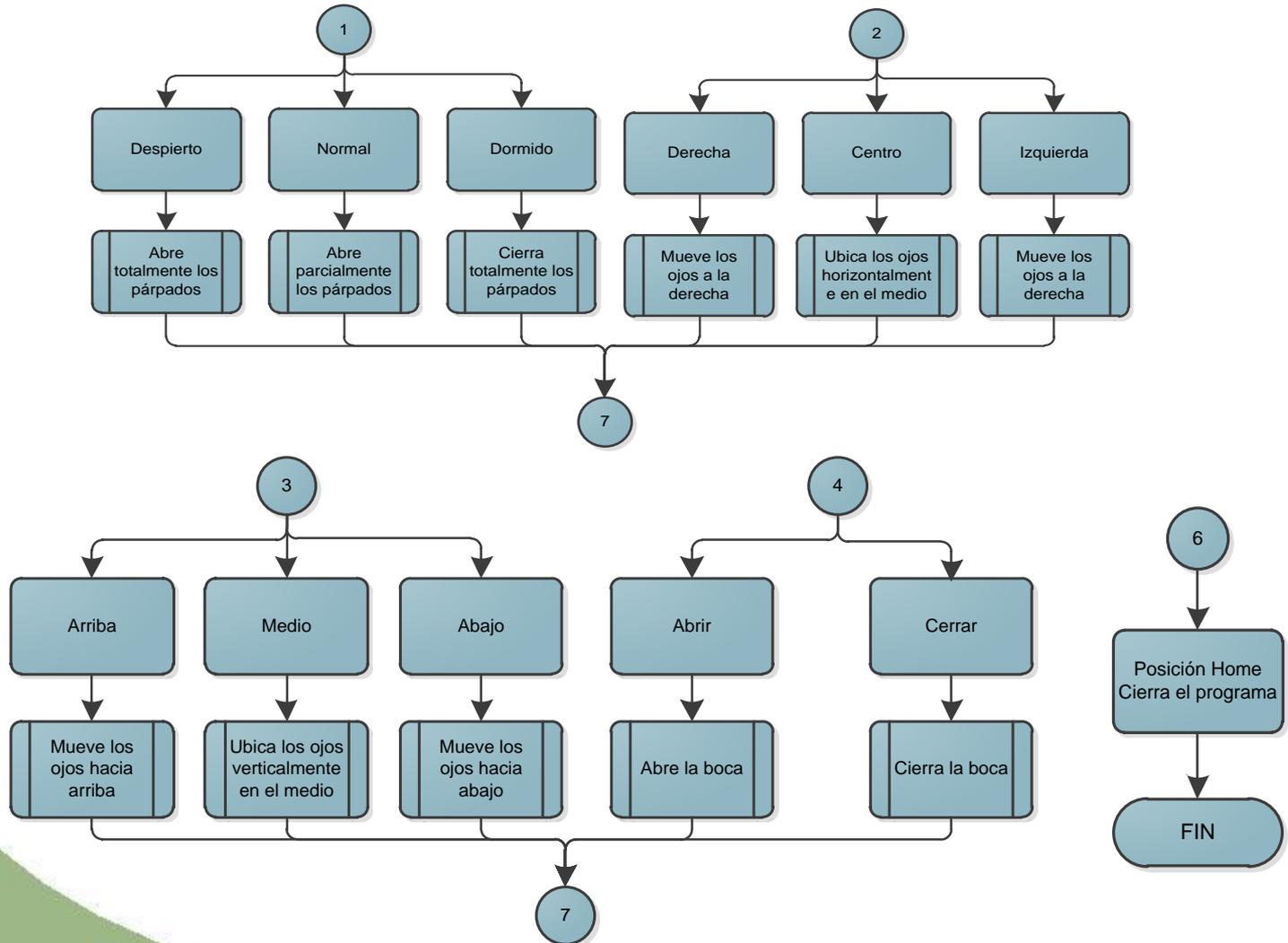


Diagrama de Flujo para el Control del Rostro Robótico





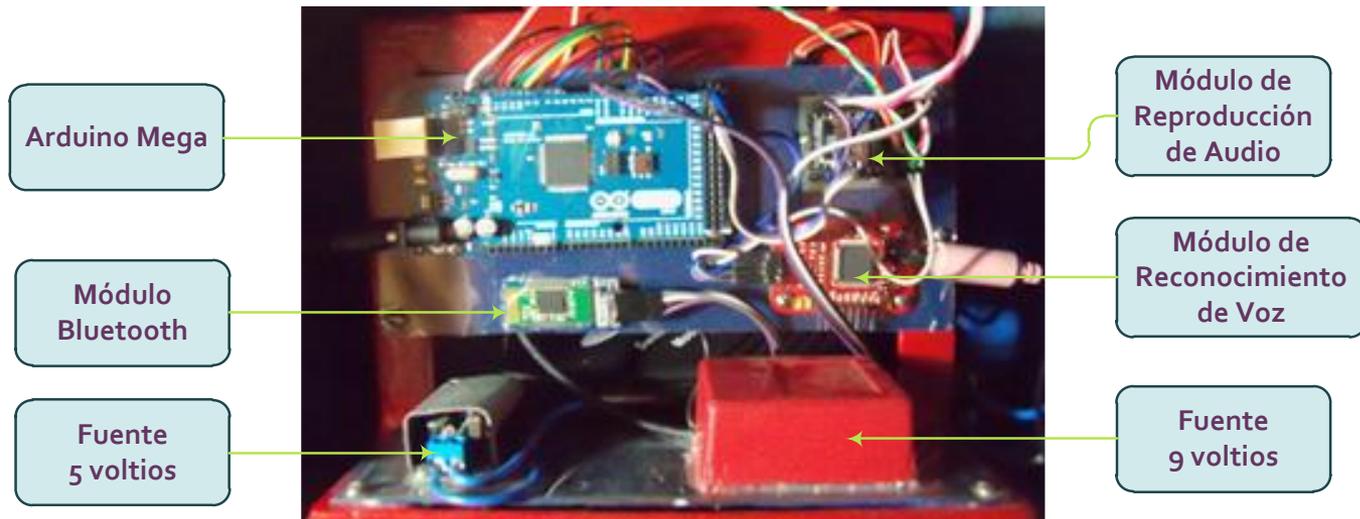
DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN





*Ensamblaje de Comprobación de los
Elementos Mecánicos.*

Ensamble de los Elementos Electrónicos en el Soporte Inferior

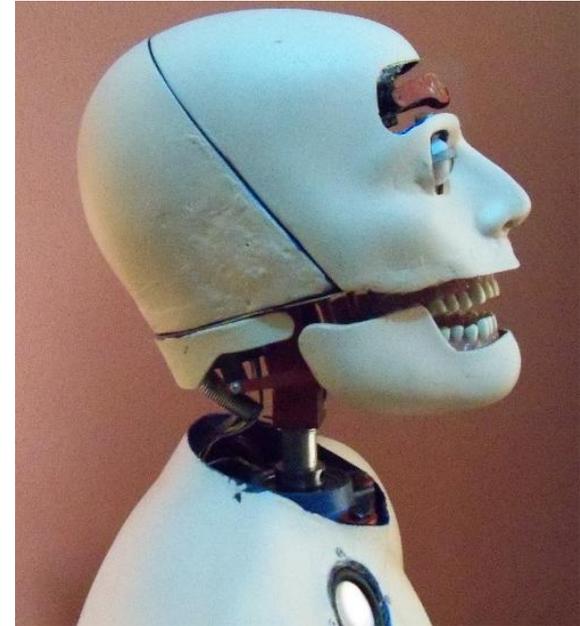
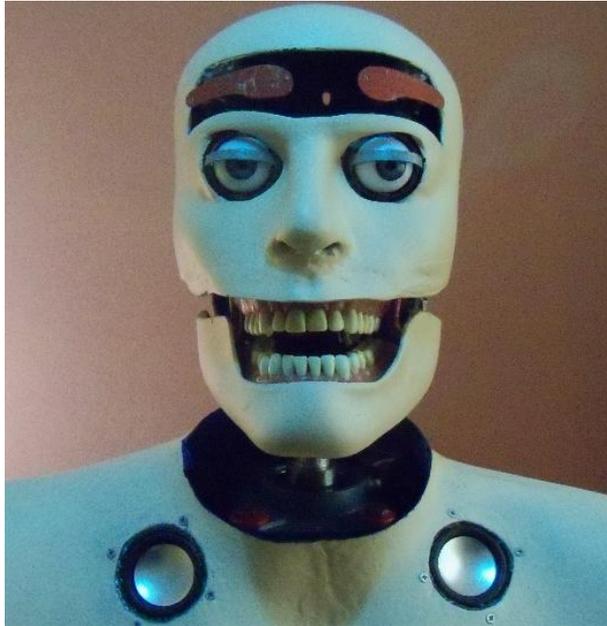




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN



Agrupación Final de los Componentes Internos de Rostro Robótico



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN



Máscara de Látex para el Rostro Robótico.

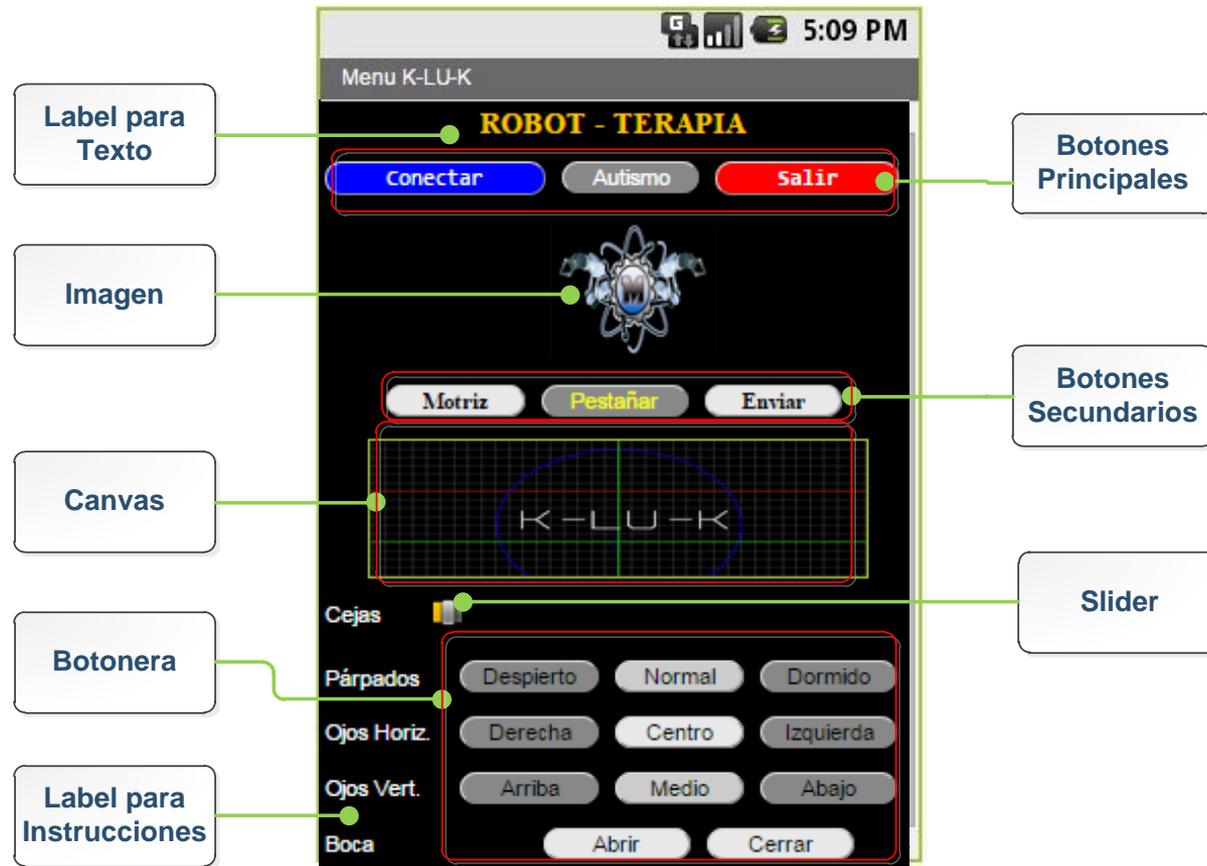


Desarrollo de la Aplicación para Dispositivos Android



Screen 1 de la Aplicación del Robot K-Lu-K.

Desarrollo de la Aplicación para Dispositivos Android



Screen 2 de la Aplicación del Robot K-Lu-K.



Pruebas Generales

La presentación final del robot K-Lu-K es la siguiente:



Robot K-Lu-K.



Pruebas de Comunicación

```
COM11
Enviar
Tarjeta Arduino Mega 2560 inicializada
Sincronizacion exitosa
Servomotores Inicializados
Modulo de Reproduccion de Audio listo
Modulo Bluetooth listo
Modulo de Reconocimiento de Voz listo

Entrada de voz no reconocida
Entrada de voz no reconocida
Reconocido comando de voz: HOLA
Reconocido comando de voz: COMO ESTA
Reconocido comando de voz: COMO SE LLAMA
Reconocido comando de voz: COMO SE SIENTE
Reconocido comando de voz: UNIVERSIDAD
Reconocido comando de voz: HOLA
Reconocido comando de voz: COMO SE LLAMA
Reconocido comando de voz: UNIVERSIDAD
Reconocido comando de voz: COMO ESTA
Reconocido comando de voz: COMO SE SIENTE
Reconocido comando de voz: HOLA
Reconocido comando de voz: HOLA

 Desplazamiento automático

COM11
Enviar
Sincronizacion exitosa
Servomotores Inicializados
Modulo de Reproduccion de Audio listo
Modulo Bluetooth listo
Modulo de Reconocimiento de Voz listo

Entrada de voz no reconocida
Entrada de voz no reconocida

Reconocido boton: Motriz
Reconocido boton: Dormir
Reconocido boton: Normal
Reconocido boton: Despertar
Reconocido boton: Motriz
Reconocido boton: Cerrar Boca
Reconocido boton: Ojos Arriba
Reconocido boton: Ojos al Medio
Reconocido boton: Ojos Abajo
Reconocido boton: Ojos Derecha
Reconocido boton: Ojos Izquierda
Reconocido boton: Ojos Centro
Reconocido boton: Parpadear

 Desplazamiento automático
No hay fin de línea
9600 baud
```

Monitor Serial del IDE de Arduino.



Pruebas del Módulo de Reconocimiento de Voz - Arduino

Preguntas	Distancia de Acercamiento al Micrófono			
	0.05 metros	0.20 metros	0.65 metros	1 metro
Hola	90%	74%	34%	16%
¿Cómo está?	86%	68%	32%	12%
¿Cómo se llama?	88%	80%	24%	4%
¿Cómo se siente?	94%	74%	42%	10%
Universidad	96%	84%	46%	16%

Tabulación de Datos de Reconocimiento de Voz



CAPÍTULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS

El robot puesto en movimiento permite que el operario pueda ubicar cada uno de sus ocho posiciones a su gusto, obteniendo los siguientes gestos faciales y corporales.



Imágenes de Diferentes Gestos del Robot K-Lu-K.



Validación de la hipótesis

El diseño y construcción de un rostro robótico permite ejecutar gestos y emociones aparentes a las de un ser humano.

La hipótesis ha sido validada en base a las siguientes razones:

- ✓ El conjunto de movimientos que puede realizar el rostro robótico, por medio del control bajo la aplicación para un sistema Android; Dota al rostro robótico de una serie de gestos faciales y gestos corporales, compuestos por posiciones diferentes de hasta ocho grados de libertad en la geometría final del sistema.
- ✓ El robot K-Lu-K puede simular la ejecución de emociones al responder a las preguntas: ¿Hola?, ¿Cómo está?, ¿Cómo se llama? y ¿Cómo se siente?, proponiendo un aparente estado de ánimo al responder cada una de las preguntas.



Validación de la hipótesis

- ✓ Bajo la selección del botón “Autismo”, el robot desarrolla una breve terapia dirigida a tratar el síndrome del espectro autista, desarrollando así una solución mecatrónica a este problema social.
- ✓ Por otro lado, al reconocer el comando de voz “Universidad”, el robot responde con una reseña histórica y comercial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, extensión Latacunga, demostrando otra aplicación del rostro robótico, en este caso enfocado al área de márketing y publicidad.
- ✓ Todas estas características, además de la apariencia externa que engloba entre otras cosas el modelo y el acabado facial y corporal, el cabello, cejas y bigote natural, la ropa, la voz humana y todos los detalles minuciosos; representan claramente la estética real de un ser humano adulto de sexo masculino.



Conclusiones

- ✓ Se diseñó y se construyó un rostro robótico que posee apariencia humana, y ejecuta gestos y emociones controladas de manera inalámbrica.
- ✓ El diseño asistido por computador, permitió delinear cada componente del rostro robótico; precisando la construcción de elementos mecánicamente ideales, para la solución de los sistemas estáticos y dinámicos del robot.
- ✓ Se implementó componentes electrónicos de acuerdo a parámetros de diseño, técnicamente fundamentado y conservando el aspecto externo; que brindan al robot diferentes capacidades propias de una persona.
- ✓ El control del conjunto de movimientos provistos, frente a la sincronía de reproducción de audio, destaca la versatilidad que posee el robot; precisando respuestas bajo un criterio emocional, y diversos gestos faciales y corporales.



Conclusiones

- ✓ En torno a funcionalidades del proyecto, el robot conduce a soluciones mecatrónicas ante problemáticas sociales como el autismo, y propone además un nuevo concepto para difusión de publicidad y márketing.
- ✓ La aplicación para dispositivos móviles, desarrollada específicamente para el robot K-Lu-K, posee una interfaz atractiva, bajo un entono fácil de manipular para cualquier usuario.
- ✓ La apariencia física que presenta el robot, es similar a la de un ser humano.
- ✓ En relación al costo del robot, el prototipo inicial que representa el proyecto constituye sumamente bajo, si se compara ante robots incluso de menores prestaciones.



Recomendaciones.

- ✓ Al momento de movilizar el rostro robótico se debe desacoplar la cabeza del torso, y de ser posible la estructura mecánica descrita como soporte inferior y el cuello, para evitar el daño, desconexión o ruptura de los componentes.
- ✓ Existen 10 comandos de voz no utilizados en el módulo de reconocimiento, que ampliarían las funcionalidades del robot, e incluso fueran más, si el reconocimiento de voz se establecería desde el dispositivo móvil, ya que actualmente existe esta prestación desde el App Inventor, donde se desarrolló la aplicación.
- ✓ El robot como sistema se compone de elementos flexibles, es posible programar muchas más ejecuciones así como terapias inclusivas ante trastornos del espectro autista como: el autismo, el asperger, y otros trastornos generalizados.



Recomendaciones.

- ✓ Se sugiere utilizar una batería para que el robot no dependa de un interruptor cercano, de manera que sea un elemento móvil y funcione independientemente del lugar.
- ✓ Se puede repotenciar el robot usando la misma tarjeta de control, por medio de la inclusión de sensores, cámaras y Flexinol, que es un actuador-alambre que cumplen las funciones de un músculo.
- ✓ El rostro robótico puede formar parte de un robot androide e incluir un algoritmo de control robusto en función de las prestaciones que requiera.

Video del Despiece



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Video Demostrativo



Terapia - Autismo



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Video Demostrativo



Reconocimiento de Voz



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Video Demostrativo



Movimientos – Emociones - Gestos



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA