

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica

Área Académica de Mecatrónica



Diseño de una cara emocional para un robot humanoide

Laboratorio de Robots Autónomos y Sistemas Cognitivos

ARCOS-LAB

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

Jose Carlos Herrera Espinoza

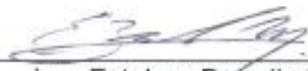
201037751

Cartago, Junio de 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
AREA ACADEMICA DE MECATRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

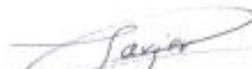
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Esteban Baradin Méndez

Profesor lector



Ing. Javier Pérez Rodríguez

Profesor lector



Ing. Juan Chávez Noguera

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 16 de Junio de 2016

Declaratoria de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 16 de Junio de 2016



José Carlos Herrera Espinoza

Céd: 1-1505-0536

Resumen

El presente documento describe el proceso de diseño para la cara emocional de un robot humanoide en el Laboratorio de Robots Autónomos y Sistemas Cognitivos (ARCOSLAB) de la Universidad de Costa Rica. Este proyecto surge como una oportunidad para mejorar la apariencia del robot que se está construyendo en el laboratorio y que además éste sea capaz de interactuar de forma autónoma con personas.

El proyecto se dividió en dos grandes áreas el estudio y selección de las emociones que el robot va a realizar y el diseño eléctrico y mecánico de la cara. Durante la primera etapa se estudiaron y seleccionaron las emociones que el robot va a realizar con base en los escenarios donde éste va a ser usado.

En la segunda etapa se realizó el diseño mecánico de la cara, así como el diseño eléctrico y control para realizar los movimientos de los actuadores presentes, finalmente se construyó un prototipo del robot para analizar fortalezas y debilidades del diseño.

Palabras clave: robot, humanoide, emociones, actuadores, prototipo.

Abstract

The following document describes the design process for an emotional face for a humanoid robot in the Autonomous Robots and Cognitive Systems (ARCOSLAB) from the University of Costa Rica. This project comes up as an opportunity to upgrade the robot appearance, and to allow the robot to interact with people.

The project was divided in two main areas the study and selection of the suitable emotions for the robot and the mechanical and electrical design of the face. During the first stage emotions were studied and selected based in the scenarios where the robot will be used.

In the second stage the mechanical design was made, as well as the electrical and control design to perform the movement of the actuators. Finally, a prototype was built to analyze strengths and weaknesses in the design and make some test with different people.

Key words: robot, humanoid, emotions, actuators, prototype.

Dedicatoria

Para Vianey y Erasmo mis papás los cuales son mi modelo a seguir, ustedes siempre confiaron en mi durante todos mis años de estudio y me ayudaron a llegar hasta el final.

Para Javier que pueda cumplir todos los sueños que tenga.

Agradecimiento

Agradezco a mi familia por todo el apoyo brindado durante este trabajo.

A mis amigos que conocí durante mi etapa en el TEC, gracias a todos por su apoyo siempre me motivaron a seguir adelante.

A todos los integrantes del ARCOSLAB que ayudaron a realizar este proyecto. Félix, Greivin en especial a ustedes dos por sus consejos y ayuda.

A Alejandra Quirós y Federico Ruiz por todo el apoyo y ayuda que me dieron durante el proyecto, siempre anuentes a responder mis consultas.

¡Muchas gracias!

Índice General

Capítulo 1 Introducción	1
Justificación	3
Definición del problema	3
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	4
Metodología.....	5
Capítulo 2 Marco Teórico	7
Emociones.....	7
Relación Emociones y Colores.....	12
Competencias emocionales.....	15
Efecto del Valle Inquietante (Uncanny Valley).....	16
Robots humanoides.....	17
Impresión 3D	20
Capítulo 3 Selección de emociones	21
Competencias emocionales.....	21
Mesero.....	21
Ensamblador	22
Asistente de cocina.....	22
Capítulo 4 Requerimientos para la cara del robot	24
Requerimientos generales.....	25
Requerimientos de visión	25
Requerimientos dimensionales.....	26
Requerimiento del valle inquietante.....	27

Capítulo 5 Desarrollo Solución Mecánica.....	28
Marco Estructural.....	28
Diseño partes móviles	33
Orejas.....	34
Cejas	36
Mandíbula.....	40
Ojos	42
Dificultades en el diseño.....	44
Capítulo 6 Desarrollo Solución Eléctrica	45
Selección del controlador	45
Alimentación del sistema	47
Control Servomotores.....	51
Control matriz de leds RGB.....	52
Operación de actuadores	54
Comunicación con el sistema principal.....	55
Programación del controlador.....	56
Capítulo 7 Costos del proyecto	57
Capítulo 8 Resultados	59
Estructura mecánica	59
Dimensiones para el sistema de visión.....	65
Ensamble Prototipo 3D.....	66
Representación de emociones	68
Resultados Sondeo	71
Capítulo 9 Recomendaciones	76
Capítulo 10 Conclusiones	77
Capítulo 11 Bibliografía.....	78
Capítulo 12 Apéndice.....	83

Resultados Sondeo	83
Pregunta 1, 2, 3.....	83
Enunciados 1, 2, 3, 4, 5	84
Pregunta Abierta 1	85
Pregunta Abierta 2	86
Pregunta Abierta 3	87
Pregunta Abierta 4	88
Planos Mecánicos.....	89
Planos Eléctricos	101
Manual de funcionamiento.....	103
Ensamble de la estructura mecánica	103
Programación de los actuadores.....	106
Capítulo 13 Anexos	107
Cotizaciones	107
Hoja de datos Convertidor DC/DC.....	109

Índice de figuras

Figura 1-1. Robot Mertz (Robots, 2011)	1
Figura 1-2. Descripción metodología	6
Figura 2-1. Cono de emociones R. Plutchik (Rodriguez, 2012)	11
Figura 2-2. Sistema del color de Munsell (Munsell – Hue, Chroma & Value, 2013)	13
Figura 2-3. Grafica del valle inquietante (Burleigh & Schoenherr, 2015)	16
Figura 2-4. Robot toro (TORO - the Amazing Humanoid Robot, 2013)	17
Figura 2-5. Care-O-bot 3 (Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation, n.d.)	18
Figura 2-6. Robot TUM-Rosie (Technische Universitat Munchen, 2013)	19
Figura 2-7. Robot iCub (iCub, 2004)	19
Figura 2-8. Modelado por deposición fundida (3D Printing from scratch, n.d.)	20
Figura 4-1. Modelo del robot humanoide (Chaves, 2015)	24
Figura 4-2. Prototipo acople para cuello del robot (Arauz, 2015)	25
Figura 4-3. Distribución posición de cámara en la cabeza (Oviedo, 2015)	26
Figura 4-4. Dimensiones para distribución de cámaras (Oviedo, 2015)	27
Figura 5-1. Plano 2D perfil angular $A=0.5^{\circ}$ $e=3/32^{\circ}$ (Tallers GGB, 2013)	29
Figura 5-2. Marco principal cabeza del robot	29
Figura 5-3. Base plana sistema de visión	30
Figura 5-4. Vista en sección del ensamblaje	30
Figura 5-5. Sujeción principal base del marco	31
Figura 5-6. Unión soporte superior del marco	31
Figura 5-7. Parte superior del marco con soportes	32
Figura 5-8. Partes de un servomotor DC (Reed, n.d.)	33
Figura 5-9. Oreja derecha	34
Figura 5-10. Ángulo para ayuda visual de la oreja (ítem 12)	34
Figura 5-11. Brazo del servomotor	35
Figura 5-12. Movimientos y ejes de la ceja	36

Figura 5-13. Montaje de servomotores y el ítem 8 en el ítem 6	36
Figura 5-14. Vista isométrica y lateral del ítem 8	37
Figura 5-15. Vista isométrica ítem 9 y 10	38
Figura 5-16. Montaje de la ceja con ítems 9 y 10	38
Figura 5-17. Tipos de bielas	39
Figura 5-18. Vista frontal mandíbula	40
Figura 5-19. Partes mandíbula inferior y superior	40
Figura 5-20. Unión para las partes de la mandíbula inferior	41
Figura 5-21. Vista en explosión de la mandíbula inferior	41
Figura 5-22. Item 6 con los soportes para matriz de leds	42
Figura 5-23. Montaje de la placa de leds en el ítem 6	42
Figura 5-24. Vista frontal matriz de led y cejas	43
Figura 5-25. Ejemplos de formas y colores que pueden tomar los ojos del robot	43
Figura 5-26. Primer prototipo de la cara	44
Figura 6-1. Hardware Raspberry Pi (Dennis, 2013)	45
Figura 6-2. Raspberry Pi 2 (Adafruit, n.d.)	46
Figura 6-3. Batería de ciclo profundo Eveready (Gómez, 2015)	47
Figura 6-4. Imagen convertidor DC/DC (Digie-Key, n.d.)	50
Figura 6-5. Driver para el control de los servomotores (Adafruit, 2015)	51
Figura 6-6. Pines de entrada y salida para matriz de leds	52
Figura 6-7. Conexión de matriz de neopixels a Raspberry Pi	53
Figura 6-8. Diagrama de conexión controlador y actuadores	54
Figura 6-9. Movimiento secuencial actuadores	55
Figura 6-10. Diagrama de flujo del funcionamiento de la cara	56
Figura 8-1. Configuración de los tornillos para la base inferior	59
Figura 8-2. Fuerza distribuida en la base de la estructura principal	60
Figura 8-3. Falla por cortante en el tornillo (Budynas & Nisbett, 2008)	61
Figura 8-4. Estructura para realizar las simulaciones	62
Figura 8-5. Distribución de fuerzas en la simulación	63
Figura 8-6. Esfuerzos de von Mises en la estructura.	63
Figura 8-7. Deflexión en la estructura principal	64

Figura 8-8. Factor de seguridad para el marco principal	64
Figura 8-9. Dimensiones (mm) estructura de la cabeza	65
Figura 8-10. Prototipo de la cara ensamblado	66
Figura 8-11. Partes móviles de la ceja	67
Figura 8-12. Renderizado robot humanoide	67
Figura 8-13. Representación felicidad	68
Figura 8-14. Representación tristeza	68
Figura 8-15. Representación sorpresa	69
Figura 8-16. Representación enérgico	69
Figura 8-17. Representación calma	70
Figura 8-18. Representación comfortable	70
Figura 8-19. Resultados primera parte del sondeo	71
Figura 8-20. Imágenes utilizadas en el sondeo en línea	72
Figura 8-21. Resultados segunda parte del sondeo	73
Figura 12-1. Marco ensamblado correctamente con tornillos	103
Figura 12-2. Antena derecha	104
Figura 12-3. Montaje ceja y matriz de leds	104
Figura 12-4. Mandíbula móvil del robot	105
Figura 12-5. Cara robótica ensamblada correctamente	105

Índice de tablas

Tabla 2-1. Emociones Basicas (Izard, Libero, Putman, & Haynes, 1993)	10
Tabla 2-2. Emociones básicas opuestas	11
Tabla 2-3. Distribución de colores Claudia Cortes (Nijdam, 2005)	12
Tabla 2-4. Resumen investigación Naz Kaya (Nijdam, 2005)	14
Tabla 3-1. Resumen emociones y escenarios	23
Tabla 3-2. Asociación de emociones y colores con el modelo de Munsell	23
Tabla 5-1. Propiedades mecánicas del aluminio (Aluminum 6061, 2012)	28
Tabla 5-2. Principales características PLA (Smith, 2005)	35
Tabla 6-1. Consumo de intensidad de los actuadores	50
Tabla 6-2. Características principales del convertidor DC/DC (Delta Electronics, Inc.)	51
Tabla 7-1. Costos de los materiales del proyecto comprados en la web	57
Tabla 7-2. Lista de componentes comprados en Costa Rica	58

Capítulo 1 Introducción

Una tendencia mundial importante en automatización y robótica es acercarse cada vez más a las personas, alrededor del mundo se han desarrollado laboratorios que trabajan para acercar a las personas y los robots. Por ejemplo en un ambiente laboral donde que ambos pueden interactuar de manera segura.

Algunos ejemplos de robot humanoides que se han realizado anteriormente son el robot MERTZ, realizado en el Laboratorio de Inteligencia Artificial y Ciencias Computacionales del MIT (Aryananda, n.d.). Este fue diseñado como una cabeza semejante a un humano que tiene incorporado un sistema de visión y sirve para explorar el aprendizaje social a través de contacto con humanos en diferentes situaciones.

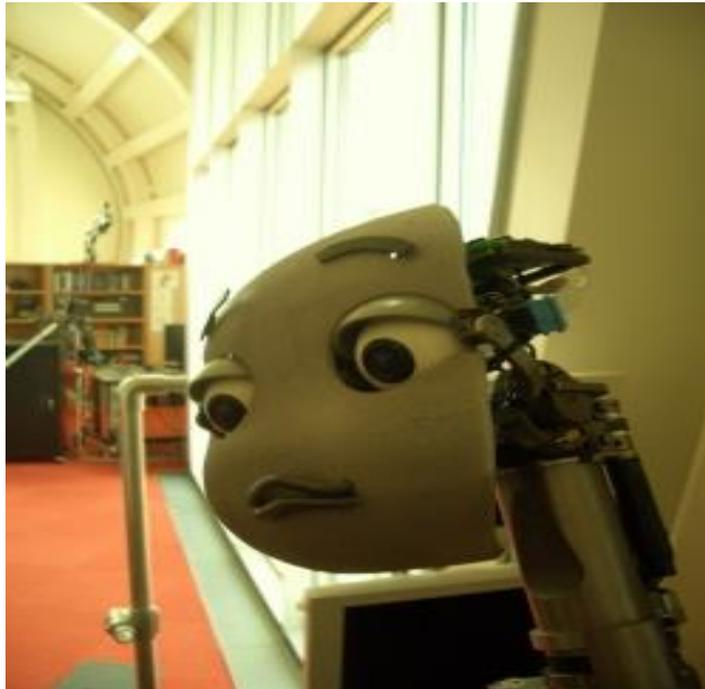


Figura 1-1. Robot Mertz (Robots, 2011)

Otro prototipo es el ROMAN (Robot-Human Interaction Machine) desarrollado en la universidad Técnica de Kaiserslautern (Saleh, n.d.), el cual posee una cara muy parecida a la de una persona, esto para que las personas se comuniquen con el robot de forma natural, también existe el robot KISMET, desarrollado por el MIT en el

Laboratorio de Inteligencia Artificial (Breazeal, n.d.), el cual fue creado uniendo diferentes teorías y puntos de vista de distintas áreas (sociología, psicología, ingeniería) todo esto para que el robot sea capaz de comunicarse con las personas de manera más natural y fluida. Esto es posible debido a que el robot percibe señales sociales de la persona con la que está interactuando y con a base a esas señales transmite una respuesta.

El presente trabajo forma parte de las investigaciones que se realizan en el ARCOS-LAB (Autonomus Robots and Coginitive Systems Laboratory), este laboratorio forma parte de la Escuela de Ingeniería Eléctrica en la UCR, donde además de robots autónomos también se trabaja con cuadracópteros y posibles aplicaciones de los mismos. Actualmente en el laboratorio se está desarrollando la construcción de un robot humanoide de servicio el cual sería capaz de realizar tareas como asistente de chef, de manufactura e interactuar con personas, el robot ya cuenta con la base móvil para desplazarse, la construcción del torso está en proceso, la cabeza y la cara están en proceso de diseño.

Justificación

La importancia de la cara radica en que el robot humanoide que se está desarrollando sirve para realizar tareas de mesero, asistente de cocina o manufactura. Por lo que es importante que este puede expresar de alguna manera el trabajo que realiza, por el ejemplo para ser mesero se tienen que seguir algunas reglas de etiqueta ya sea mostrarse amigable y sonriente para que el cliente quede satisfecho, esta regla podría también aplicarse al robot para que la gente se siente a gusto con el servicio, lo mismo aplica para ser asistente de cocina o manufactura; se tiene que mostrar cierto perfil de comportamiento esta es la razón por la que la cara es importante para el diseño final del robot humanoide.

Como se mencionó anteriormente dentro de las características de los robots humanoides están que asimilen el cuerpo y movimientos de los humanos, por lo que la cara es una parte esencial para lograr esa similitud con las personas. Debido a que las emociones van ligadas a los movimientos que realizamos con nuestro cuerpo sobre todo con la cara. Además, como el robot estará en constante interacción con las personas es importante que el mismo genere empatía y no sea rechazado.

Definición del problema

El proyecto de diseñar la cara que transmita emociones en el robot humanoide se está realizando con base en ciertas variables previamente definidas. Entre las están que sea desarmable (por lo que contara con puntos de fijación no permanentes a la estructura de la cabeza del robot), que cuente con espacios para colocar los sensores de visión y que estos funcionen de manera correcta (que no existan problemas de visibilidad cuando se instale los actuadores de la cara), utilizar materiales de bajo costo. También es necesario realizar un diseño compacto que no abarque mucho espacio en la cabeza además de tomar en cuenta la posición de los actuadores que controlan los movimientos de la cara. Otra variable destacable es la hipótesis del valle inquietante (uncanny valley) donde se dice que si el robot se mueve o se parece demasiado a los humanos provoca repulsión (Pollick), porque la cara a diseñar tiene que tener aspecto humano pero sin entrar en el efecto mencionado anteriormente.

Objetivo general

- Diseñar una cara emocional para un robot humanoide

Objetivos específicos

- Investigar acerca de las emociones en humanos más importantes y cuales han sido utilizadas en robots para los escenarios de trabajo del robot (mesero, asistente de cocina, ensamblador).
- Investigar cuales son emociones más comunes para los escenarios donde se va a utilizar el robot (mesero, asistente de cocina, ensamblador).
- Elaborar concepto artístico de la cara
- Desarrollar diseño mecánico de la cara para el prototipo funcional.

Metodología

En el desarrollo de este proyecto se inició con una investigación acerca de las partes que ya se encuentran construidas del robot y su diseño, así como de las piezas que se están diseñando en el laboratorio con el fin de comprender en que etapa se encuentra el robot, y las funciones que se pretenden realizar con el mismo.

También se investigó los diferentes tipos de robots humanoides que existen actualmente, se estudió acerca de las caras desarrolladas para estos robots y como logran transmitir las emociones. Además, se investigó acerca de las emociones (positivas y negativas) más comunes en las personas y que partes de la cara usan para expresarlas.

Se trabajó en conjunto con el equipo encargado de construir el resto de la estructura superior del robot (torso, cuello, visión del robot) para decidir cuales sensores de visión son necesarios, el peso máximo de la cabeza y el espacio que se puede utilizar para la misma de manera que no afecte el funcionamiento general.

Con los requerimientos establecidos para la cara, se realizó el diseño básico de la estructura para colocar los sensores de visión del robot (cámaras), ya que estos importantes para el correcto funcionamiento del mismo y las partes móviles de la cara no deben de interferir en el campo de visión de la cabeza.

Con el estudio de las emociones, se determinó cuáles de estas son necesarias para los escenarios donde el robot se va a desempeñar, una vez seleccionadas las emociones se procedió con el diseño de las partes para mostrar las emociones, ya que algunas serán móviles y otras visuales.

Con el diseño de las partes de la cara hecho se realizó una retroalimentación con el equipo encargado de la construcción del robot para verificar que los movimientos y partes no afecten las funcionalidades del mismo.

Por último, se realizaron los planos de todas las piezas que se utilizarán en la cabeza para que la construcción del robot puede llevarse a cabo. Además, se creó un manual de usuario con el funcionamiento de las partes de la cara para que las personas

encargada de ensamblar y programar la cabeza, no tengan ningún tipo de inconvenientes cuando la cara entre en funcionamiento.

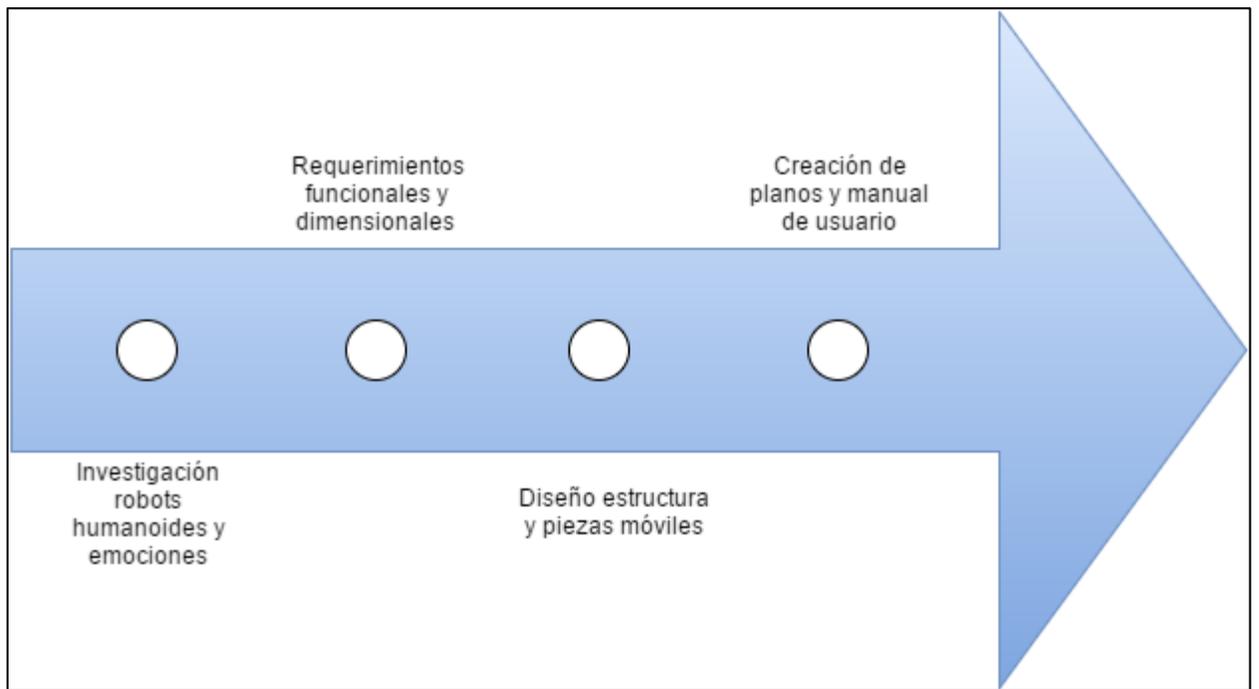


Figura 1-2. Descripción metodología

Capítulo 2 Marco Teórico

Emociones

Las expresiones faciales son acciones propias de los seres humanos y están relacionadas con las emociones, expresiones y emociones son conceptos relacionados.

Choliz & Tejero (1994) con base en Darwin, exponen tres principios fundamentales acerca del concepto de emociones a la vez relacionados con el principio de selección natural (características se mantienen y se heredan son las que han demostrado su adaptación al medio y valor para la supervivencia) son los siguientes:

- Hábitos útiles asociados: Se producen gestos y movimientos en situaciones en las que no son necesariamente requeridos, pero han sido de utilidad anteriormente en otros contextos.
- Antítesis: Cuando el hábito está consolidado y se produce un estado de ánimo contrario al que produce ese patrón, se reproduce la respuesta motora contraria.
- Acción directa del sistema nervioso: las fuerzas nerviosas en situaciones de gran excitación pueden crear movimientos expresivos, y estos se canalizan por los cauces fisiológicos más preparados por los hábitos.

Para la expresión de emociones lo más importante son “los reflejos y los instintos que son innatos y se heredan, esto muestra una continuidad filogenética en la expresión de emociones” (Choliz & Tejero, 1994). Esto relaciona el concepto de emociones con las expresiones ya que como mencionó anteriormente, los gestos se vuelven habituales dependiendo de la situación y estos gestos o movimientos expresan las emociones.

Para (Eckman, 1992), el concepto de emoción es “sin entrar en detalles en lo que ocurre en el sistema nervioso, se puede decir que hay una emoción presente cuando; los cambios en el sistema de respuesta que es muy complejo; presenta no solo una respuesta facial, vocal o autónoma sino la combinación de estas”. Los cambios están organizados pues se encuentran relacionados y ocurren muy rápido, y además son comunes para las personas. En este punto es más fácil para el observador reconocer la emoción, pero no es el único momento en el que estas ocurren.

Las emociones son muy variadas, se pueden reconocer las emociones básicas o generales (Eckman, 1992), que son las expresiones que tienen una base biológica, son fáciles de encontrar en culturas humanas y en otras especies. Existen expresiones y emociones varían de cultura a cultura, pero los investigadores que han estudiado las emociones en las culturas occidentales en años anteriores, han obtenido evidencia de seis emociones básicas:

- Alegría
- Sorpresa
- Miedo
- Tristeza
- Ira
- Disgusto

Según (Ekman, 1999) hay tres significados del término “básico” (emociones) el primero consiste en separar las emociones usando como característica que difieran mucho entre ellas, un ejemplo sería emociones negativas (miedo, enojo disgusto) y positivas (diversión, satisfacción).

El segundo significado se refiere a las emociones como evolucionaron por su valor adaptativo para tratar con las tareas fundamentales en la vida diaria (frustraciones, pérdidas, logros). Durante la historia las emociones siempre han estado presentes adaptándose a las situaciones (escapar de depredadores, peleas, etc.) por eso se dice que la apreciación que se tenga de un evento está influenciada por nuestro pasado, este concepto es parecido al que expone Darwin cuando dice que las emociones están relacionadas con la genética (Choliz & Tejero, 1994).

El tercer significado de “básico”, se refiere a elementos que combinados forman emociones más complejas, de todos los términos este es el menos utilizado.

Todas estas ideas apuntan a que las emociones están diseñadas para tratar encuentros con otros organismos (persona-persona o persona-animal). Aunque hay que

destacar que las emociones también ocurren sin la presencia de otros organismos, ya que las emociones sirven para que “los organismos puedan tratar con rapidez los encuentros interpersonales así como actividades en general” (Ekman, 1999).

En el marco de la teoría de las diferentes emociones (DET, por sus siglas en inglés) Izard citado por (Izard, Libero, Putman, & Haynes, 1993), establece 5 premisas para entender la relación entre emoción y personalidad.

- “Cada emoción básica tiene propiedades motivacionales únicas”
- “Las experiencias y expresiones de las emociones muestran estabilidad y continuidad”
- “Las emociones tienen un límite de activación y cada individuo tiene un límite de activación para cada emoción”
- “Cada emoción tiende a formar vínculos estables con algunas otras emociones”
- “Cada emoción tiende a tener vínculos con ciertos pensamientos o memorias para formar estructuras afectivo-cognitivas”

El estudio de Izard, Libero, Putman, & Haynes (1993) establece la importancia de la DET, y usa un modelo base de emociones para realizar pruebas. Estas se realizaron en 88 mujeres luego de dar a luz, fueron citadas en diferentes fechas durante los 5 años siguientes. La mayoría de las mujeres realizó estudios universitarios y la pareja tiene empleo.

El modelo base de emociones está conformado por:

Tabla 2-1. Emociones Basicas (Izard, Libero, Putman, & Haynes, 1993)

Emociones	
Interés	Desprecio
Alegría	Miedo
Sorpresa	Culpa
Tristeza	Vergüenza
Enojo	Timidez
Disgusto	Auto-Hostilidad

En la clasificación de emociones de (Plutchik, 2001) existen 8 emociones básicas las cuales son:

- Alegría
- Tristeza
- Confianza
- Disgusto(rechazo)
- Miedo
- Enojo
- Sorpresa
- Anticipación

En este modelo las emociones secundarias son combinaciones de las 8 principales. Para entender mejor este concepto, se desarrolló un modelo del circunplejo de emociones en la cual cada emoción tiene su opuesta (Plutchik, 2001), también las emociones que son parecidas se encuentra cerca dentro del circulo principal.

Tabla 2-2. Emociones básicas opuestas

Emoción básica	Emoción básica opuesta
Alegría	Tristeza
Confianza	Disgusto(rechazo)
Miedo	Enojo
Sorpresa	Anticipación

Por lo tanto, es imposible sentir emociones opuestas al mismo tiempo. Además las emociones varían según el grado de intensidad, representadas en la Figura 2-1 por la dimensión vertical del cono (Plutchik, 2001). También esto se observa en la rueda donde los colores van de más suaves en la parte externa del circunplejo a más intensos en la parte interna.

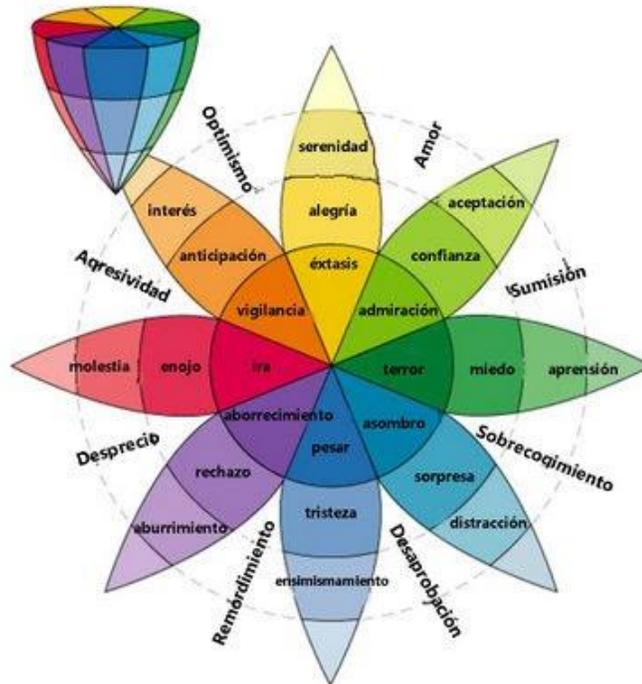


Figura 2-1. Cono de emociones R. Plutchik (Rodríguez, 2012)

Relación Emociones y Colores

El uso de colores para representar emociones se ha estudiado a través de la historia, uno de los primeros estudios fue realizado por Johan Wolfgang von Goethe, en su trabajo “Teoría del Color”, este clasifica los colores en negativos (azul, azul-rojo y rojo-azul) relacionados con emociones como anhelo e inquieto y los colores positivos (amarillo, rojo-amarillo, amarillo-rojo) con felicidad y alegría (Nijdam, 2005).

Claudia Cortes también realiza un estudio donde no solo asocia emociones con colores sino también con acciones o cosas de la vida cotidiana (Nijdam, 2005). Este estudio muestra características positivas y negativas relacionadas con cada color (Cortes, n.d.), en la Tabla 2-3 se muestra algunos rasgos usados por Cortes para cada color y la relación con las emociones.

Tabla 2-3. Distribución de colores Claudia Cortes (Nijdam, 2005)

Color	Rasgo Positivo	Rasgo Negativo	Emoción
Rojo	Activo, emocional	Ofensivo, avergonzado	Enojo, amor
Naranja	Ambición	Agotado	Alegría, determinación
Amarillo	Animado, energético	Cauteloso	Miedo, felicidad
Verde	Calmado, neutral	Avaricia, enfermo	Fe, Codicia
Azul	Fiel, tradicional	Depresión	Confianza, triste
Morado	Liderazgo, pasivo	Arrogante, pena	Introspectivo, melancólico

La investigación realizada por Naz Kaya se basa en el Sistema del Color de Munsell, el estudio se realizó con 98 estudiantes de universidad indicando su respuesta emotiva a los colores que le presentaron. Para esto se usaron 5 matices principales y otros intermedios (Kaya, 2004). El sistema de Munsell clasifica los colores usando tres parámetros diferentes matiz o tono (hue), croma o saturación (chroma) y valor (value).

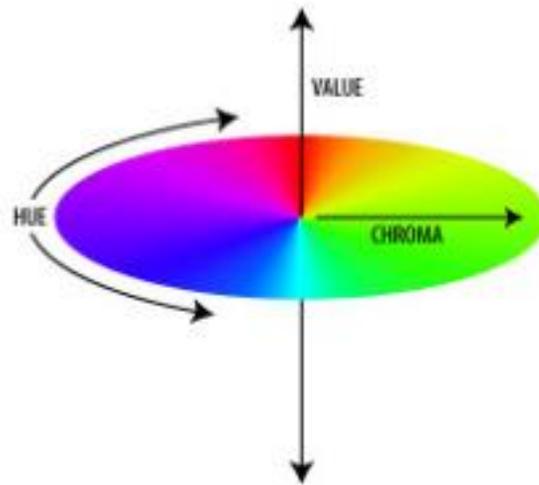


Figura 2-2. Sistema del color de Munsell (Munsell – Hue, Chroma & Value, 2013)

Durante el estudio se obtuvo que los colores de matices principales fueron los que presentaron más respuestas de emociones positivas. Sin embargo, siempre existe simbolismo en la asociación de colores y emociones, por ejemplo, el color amarillo fue relacionado con el color de los buses escolares. Lo que provocó recuerdos felices de la niñez, así como influye la cultura de la cual proviene cada persona (Kaya, 2004).

En la Tabla 2-4 se detalla los principales resultados de la relación entre los colores y las emociones obtenidos por Naz Kaya.

Tabla 2-4. Resumen investigación Naz Kaya (Nijdam, 2005)

Color (escala Munsell)	Emoción	Color (escala Munsell)	Emoción
Rojo (5R 5/14)	Enojo, amor	Amarillo-Rojo (5YR 7/12)	Enérgico, emocionado
Amarillo (7.5Y 9/10)	Feliz	Verde-Amarillo (2.5GY 8/10)	Disgusto, irritado
Verde (2.5G 5/10)	Confortable, esperanza	Azul-Verde (5BG 7/8)	Irritado, confuso, enfermo
Azul (10B 6/10)	Calma	Morado-Azul (7.5PB 5/12)	Calma, poderoso
Morado (5P 5/10)	Cansancio	Rojo-Morado (10RP 4/12)	Amor, no-emoción
Blanco (n/9)	Vacío, inocencia, soledad	Gris (n/5)	Aburrido, confuso, depresión
Negro (n/1)	Depresión, miedo		

Competencias emocionales

Las competencias emocionales son “la capacidad de movilizar adecuadamente el conjunto de conocimientos, capacidades, habilidades y actitudes necesarias para realizar actividades diversas con un cierto nivel de calidad y eficiencia” (Bisquerra & Pérez, 2007).

Según (Alles, 2005) los comportamientos muestran ejemplos de conductas que se pueden relacionar con las competencias, que a su vez se puede vincular con la capacidad de realizar cierto trabajo.

Para Spencer y Spencer citados por (Alles, 2005) la competencia es “una característica subyacente en un individuo que está casualmente relacionada a un estándar de efectividad y/o a una performance superior en un trabajo o situación”, y dividen las competencias en 5 categorías:

- Motivacionales
- Características
- Concepto propio
- Habilidad
- Conocimiento

Este concepto y las categorías se utilizan para analizar a las personas cuando se seleccionan para diferentes puestos. Normalmente las empresas establezcan perfiles a la hora de contratar personal, dentro de ese perfil se incluyen las competencias que debería tener el empleado para el puesto que se está contratando. Por lo que estas sirven como guía para determinar si la persona que aplica al puesto presenta los comportamientos asociados a la competencia.

Efecto del Valle Inquietante (Uncanny Valley)

Según (Pollick), basado en el Dr. Masahiro Mori profesor de ingeniería en el Instituto Tecnológico de Tokyo, el término valle inquietante proviene del japonés “bukimi no tami”, donde “tami” se traduce literalmente valle , pero la palabra “bukimi” tiene diferentes traducciones incluyendo extraño e inquietante.

Esta hipótesis para (Burleigh & Schoenherr, 2015) describe la relación entre la respuesta afectiva y la percepción de semejanza a los seres humanos de los robots. Por lo que la respuesta puede ser negativa o positiva dependiendo del grado de semejanza (comportamiento y apariencia) que tenga el robot. Esta relación descrita es no lineal por lo que llega cierto punto donde el parecido es tan grande con las personas que genera rechazo.

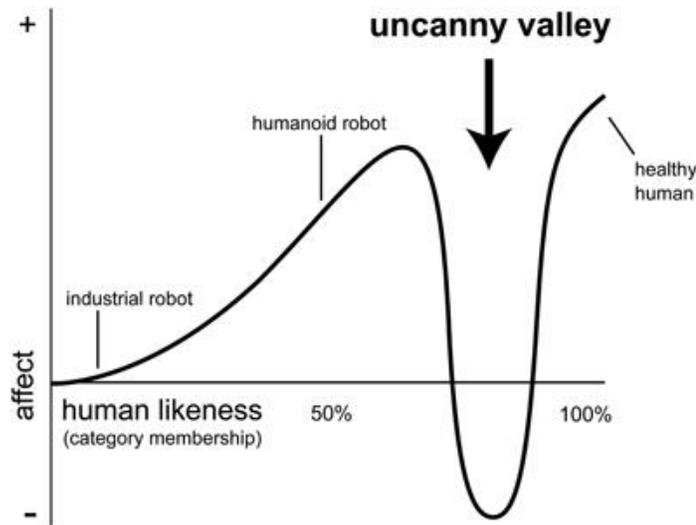


Figura 2-3. Grafica del valle inquietante (Burleigh & Schoenherr, 2015)

Para (Seyama & Nagayasa, 2014) “el grado de realismo afecta el nivel de aceptación de las caras humanas sobre todo las características visuales anormales, causan el efecto del valle inquietante”. Por lo tanto, si se aumenta el grado de realismo pero sin corregir las características anormales el efecto del valle inquietante aumenta.

Robots humanoides

Los robots humanoides se han desarrollado durante las últimas décadas, aunque el término robot fue utilizado por primera vez en 1921, en la obra teatral RUR (Rossum's Universal Robots), en cuyo idioma la palabra "robota" significa fuerza del trabajo o servidumbre (Barturone, 2001). La palabra humanoide según la Real Academia Española se refiere a que tiene forma o características del ser humano (RAE, 2016). Por lo que el robot humanoide tiene la forma del cuerpo semejante a la de los seres humanos, además de que está diseñado para que interactúe con personas o en ambientes donde normalmente lo haría una persona.



Figura 2-4. Robot toro (TORO - the Amazing Humanoid Robot, 2013)

Dentro de los robots humanoides destaca la categoría de robots de servicio, los cuales son "asistentes" para las personas ya que pueden realizar trabajos que resultan cansados, peligrosos o repetitivos. El concepto de robot asistente es que actúe como "compañero en la vida diaria para que brinde apoyo mental, físico y comunicativo a los humanos, por ejemplo ya se han usado exitosamente robots mascotas para terapias con ancianos" (Kanda, Ishiguro, Imai, & Ono, 2004)

Otra definición de robot asistente o de servicio según (IFR, n.d.), el robot de servicio el cual realiza trabajos útiles excluyendo las aplicaciones industriales automatizadas. También la clasificación de un robot depende de la aplicación para la cual quiere utilizar; por el ejemplo el robot de servicio para uso personal y el robot de servicio para uso profesional.

Un ejemplo robot de servicio es el Care-O-bot, este robot está diseñado para ayudar a las personas en ambientes domésticos, además de que sirve para entretenimiento y comunicación.



Figura 2-5. Care-O-bot 3 (Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation, n.d.)

Los robots humanoides pueden desarrollar múltiples funciones en distintos ambientes, por ejemplo misiones espaciales, mantenimiento de plantas industriales, trabajo cooperativo con humanos, etc. Sin embargo los robots que pueden realizar tareas sin supervisión humana son todavía pocos debido a que para el diseñador es imposible tomar en cuenta todos los problemas que pueda presentar el robot. También depende del ambiente donde el robot se desenvuelva, si es escenario conocido puede desempeñarse con éxito. Si por el contrario el ambiente donde se sitúa el robot es desconocido, el mismo tendrá que “aprender” todo a su alrededor para llevar a cabo las tareas (Sian, Sakaguchi, Yokoi, Kawai, & Maruyama).

Por eso es que actualmente se desarrollan proyectos con robots humanoides que tengan un alto nivel de “conocimiento” como el TUM-Rosie. El cual es utilizado como asistente de cocina pero posee un sistema para percibir inteligentemente el entorno e interactuar con el mismo, esto se refiere a tomar las mejores decisiones autónomamente y ejecutarlas (Technische Universität München, 2013).

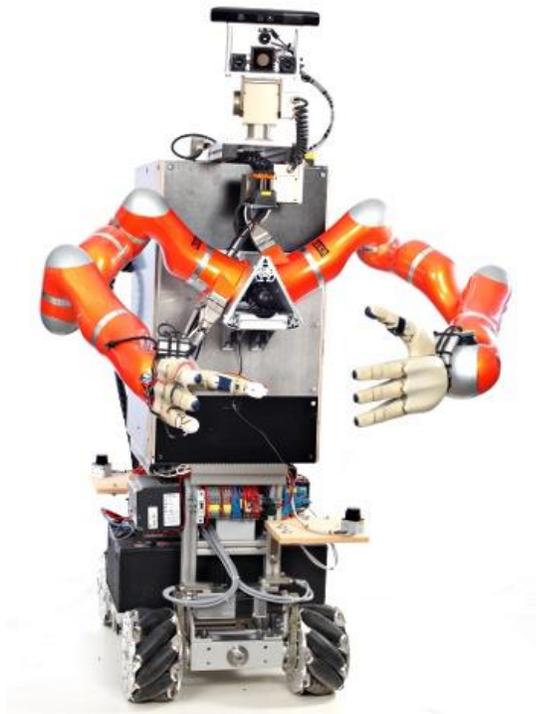


Figura 2-6. Robot TUM-Rosie (Technische Universitat Munchen, 2013)

También el iCub (iCub, 2004), es un robot humanoide usado para investigaciones en inteligencia artificial, cuenta con cabeza, brazos, muñecas, manos y piernas. Además, cuenta con expresiones faciales (leds, movimientos de ojos y parpados) por lo que puede expresar emociones.



Figura 2-7. Robot iCub (iCub, 2004)

Impresión 3D

La impresión 3D es un tipo de manufactura aditiva donde se construyen objetos de series de capas impresas una sobre otra hasta formar la figura previamente diseñada (3D Printing, 2016). Este modelo de impresión es usado para crear prototipos funcionales y realizar pruebas funcionales sin la necesidad de gastar material (metales, plásticos) de alto costo más el proceso de manufactura que conlleva la pieza, el cual podría ser torno, fresa o CNC las cuales implican un gasto de dinero mayor (Roebuck, 2012).

Existen diversos tipos de impresiones 3D, uno de los más utilizados es el modelado por deposición fundida esta impresión suaviza el material para producir capas y dar forma al modelo. Esta tecnología permite imprimir en varios colores dependiendo del filamento que se use en la impresión (Roebuck, 2012). Con esta impresión el material de aporte se puede remover fácilmente, además aunque el acabado final de las piezas no es tan detallado al usar un termoplástico el prototipo posee propiedades mecánicas y térmicas muy buenas (3D Printing from scratch, n.d.).

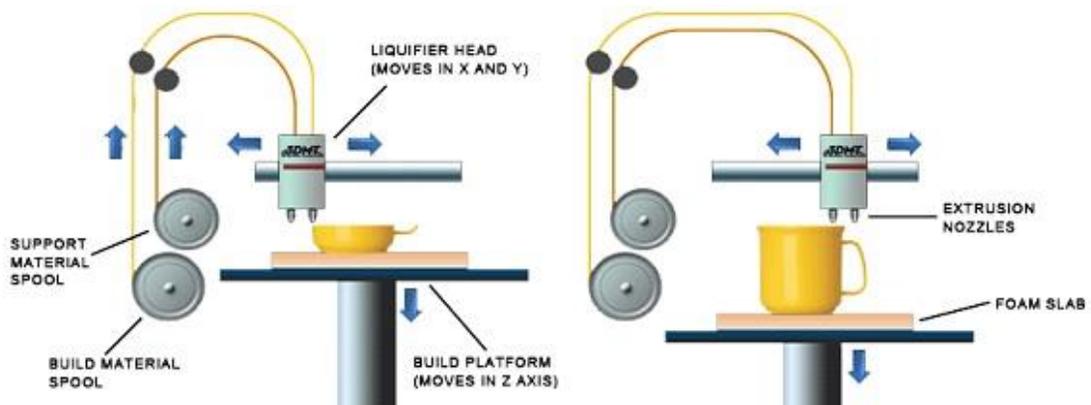


Figura 2-8. Modelado por deposición fundida (3D Printing from scratch, n.d.)

Capítulo 3 Selección de emociones

Competencias emocionales

La selección de emociones que el robot expresará se relaciona con los escenarios que se definieron anteriormente los cuales son:

- Asistente de cocina
- Mesero
- Ensamblador

Al investigar sobre las emociones para estos escenarios, se encontró que existen investigaciones con robots que expresan emociones a nivel general y para el estudio de la interacción entre humanos y robots (iCub, 2004), (Song & Kwon, 2007), (Saleh, n.d.), (Aryananda, n.d.). Por lo que para escoger las emociones que el robot expresara en cada escenario se utilizó el concepto de competencias profesionales (Bisquerra & Pérez, 2007) y (Alles, 2005). Para utilizar este concepto se buscó diferentes perfiles usados por los departamentos de Recursos Humanos, para identificar cuales competencias son necesarias para el puesto y así relacionar las emociones con los escenarios donde el robot va a interactuar con personas. También se hará uso de los resultados que resume (Nijdam, 2005) para asociar los colores con las emociones y así lograr una mejor representación de las emociones.

Mesero

El perfil de mesero seleccionado (Asociacion Hoteles Riviera Maya, 2014), incluye diversas competencias, no obstante se da énfasis a la de “Orientación al Cliente”, que en este caso funciona mejor para mapearla en el robot, Esta se puede observar en comportamientos como “Tratar al cliente y equipo de trabajo con cortesía y respeto”. Al seleccionar sólo una competencia no conlleva mapear sólo una emoción, sino que hay varias emociones relacionadas con esa competencia. En este escenario con base en “Orientación al Cliente”, las emociones escogidas son: feliz, confortable y calmado. Estas

concuerdan con lo que indica la competencia y mapeándolas se puede lograr tratar al equipo y cliente con cortesía, que es el comportamiento idóneo.

Ensamblador

El perfil del ensamblador pertenece al operario de línea para la producción de garrafas (Comision Sistema Nacional de Certificacion de Competencias Laborales). El robot no va a ser usado precisamente en esa operación, pero para establecer un lineamiento general para este escenario se puede usar este perfil.

La competencia que más se adapta es “Atención al detalle”, la cual es visible en comportamientos como “Orientación al autocuidado y orden” y “Cumplir normas de seguridad según los procedimientos de la empresa”. Las emociones que se pueden usar para los comportamientos de este escenario son: calma, feliz, energético. Estos se seleccionaron porque representan que el robot estará atento y tranquilo en sus tareas de ensamblaje. Es posible que también interactúe con personas por lo que se incluye la emoción de felicidad para no generar rechazo.

Asistente de cocina

El perfil para el ayudante de cocina (MediRest, 2007), será usado para los lineamientos dentro del escenario, pero es posible que el robot actúe como chef y no solo como ayudante. Por lo que se tiene que tomar en consideración cuando se seleccionen las emociones. La competencia seleccionada es “Adaptabilidad”, la cual se puede contemplar en comportamientos como: “Adaptación a las políticas institucionales y disciplina” y “Adaptabilidad, flexibilidad y sentido de urgencia”. En este escenario las emociones seleccionadas son calma, felicidad, energético.

El resumen de las emociones seleccionadas con los escenarios se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3-1. Resumen emociones y escenarios

Escenarios	Emociones
Mesero	Feliz, confortable, calmado, sorpresa.
Ensamblador	Feliz, enérgico, calma.
Asistente de cocina	Calma, emocionado, feliz.

Hay elementos repetidos en la Tabla 3-1, por lo que la lista final de emociones estaría conformada por: felicidad, confortable, calmado, sorpresa, enérgico, tranquilidad, emocionado. Las investigaciones presentadas en (Nijdam, 2005) establecen la relación de las emociones con los colores, por lo que en la Tabla 3-2 se asocia las emociones escogidas con los colores utilizando como referencia el modelo de (Kaya, 2004).

Tabla 3-2. Asociación de emociones y colores con el modelo de Munsell

Emoción	Color
Feliz	Amarillo (7.5Y 9/10)
Confortable	Verde (2.5G 5/10)
Calmado	Azul (10B 6/10)
Enérgico/Emocionado	Amarillo-Rojo (5YR 7/12)
Sorpresa/Tristeza*	

Las emociones sorpresa y tristeza no están incluidas dentro de las seleccionadas con las competencias, pero se toman en cuenta debido a que son útiles para interactuar con las personas. Las emociones conocidas como básicas opuestas (Plutchik, 2001) no se consideran dentro de los diferentes escenarios, debido a que emociones como disgusto y enojo no son funcionales para realizar de manera idónea las labores de cada perfil. Solo la emoción de tristeza se seleccionó debido a que el resto de emociones son positivas y para lograr una mejor interacción con las personas es necesario contar con alguna emoción negativa.

Capítulo 4 Requerimientos para la cara del robot

El robot humanoide del laboratorio cuenta con diferentes partes algunas están en fase de construcción y otras en fase de diseño. Las partes más avanzadas en cuanto a construcción son la base omnidireccional que funciona con cuatro ruedas tipo Mecanum, el torso que se compone de un tornillo sinfín y los brazos robóticos marca KUKA, además de la mano robótica la cual va a estar conectada a uno de los brazos.

Algunas de las características del robot son:

- Un peso aproximado del robot es de 300 kg.
- Totalmente autónomo por lo que se usan 4 baterías de ciclo profundo para automóvil marca Eveready de 12 V, 600 A, 160 min (Gómez, 2015).
- La mayoría del robot está construido con piezas hechas de aluminio.



Figura 4-1. Modelo del robot humanoide (Chaves, 2015)

Requerimientos generales

Como parte fundamental para la implementación de la cara, se necesita tomar en cuenta las especificaciones de movimiento y peso para el cuello del robot.

Este se va a encargar de mover la cabeza en 2 grados de libertad, por lo que el soporte superior del cuello tiene que unirse con la base de la cabeza sin que interfiera con los movimientos.

También es importante que el diseño general de la cabeza coincida con el resto de partes del robot, así el mismo tiene una apariencia agradable para las personas.

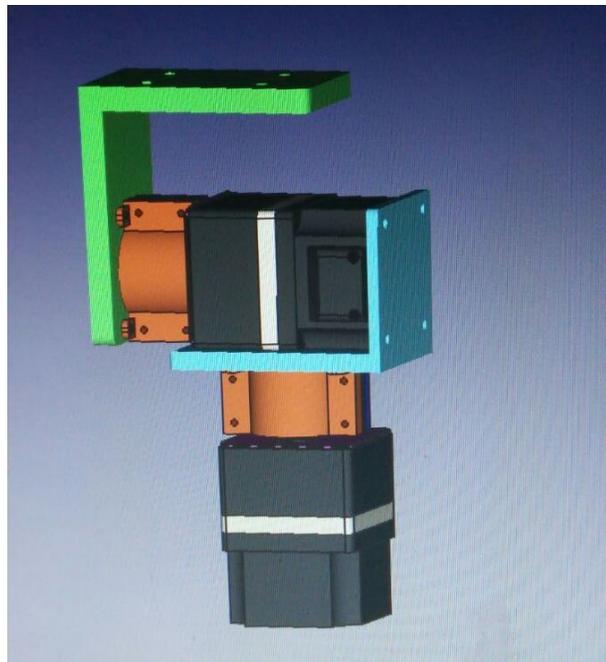


Figura 4-2. Prototipo acople para cuello del robot (Arauz, 2015)

Requerimientos de visión

La cabeza del robot además de aportar las emociones al robot, tiene la función de soportar las cámaras seleccionadas para el robot. Entre las que se encuentran un Kinect One el cual se encargará de realizar el mapeo 3D del entorno y el reconocimiento de movimiento, dos cámaras HD para la visión estereoscópica y una cámara térmica. Estos dispositivos contarán con un abanico de enfriamiento además del que viene incluido en el Kinect.



Figura 4-3. Distribución posición de cámara en la cabeza (Oviedo, 2015)

Requerimientos dimensionales

La distribución de las cámaras se muestra en la Figura 4-3. Es importante que el diseño de las partes que poseen movimientos, no interfieran con el campo de visión cámaras, ni que tengan contacto físico con las mismas. Debido a que cualquier desplazamiento puede afectar el mapeo 3D y la calibración.

Como consecuencia del espacio reducido que se tiene dentro de la cabeza es necesario usar actuadores pequeños que se puedan acoplar fácilmente a la cabeza, que además no obstaculicen el mantenimiento de los dispositivos electrónicos. También el controlador elegido debe tener dimensiones adecuadas para que no afecte la ubicación del resto de elementos.

Otro requerimiento dimensional para el diseño de la cara y el marco de la cabeza es que no ambos sobrepasen los 5 kg (50N). Debido a los motores GFH2G50 utilizados para dar el movimiento al cuello (Figura 4-2), solo pueden desplazar la carga mencionada anteriormente.

En la siguiente imagen (Figura 4-4) se muestran las dimensiones mínimas necesarias para las cámaras dentro de la cabeza, el diseño de las partes móviles de la cara tiene realizarse de acuerdo a estas dimensiones, para que no afecten el sistema de visión del robot.

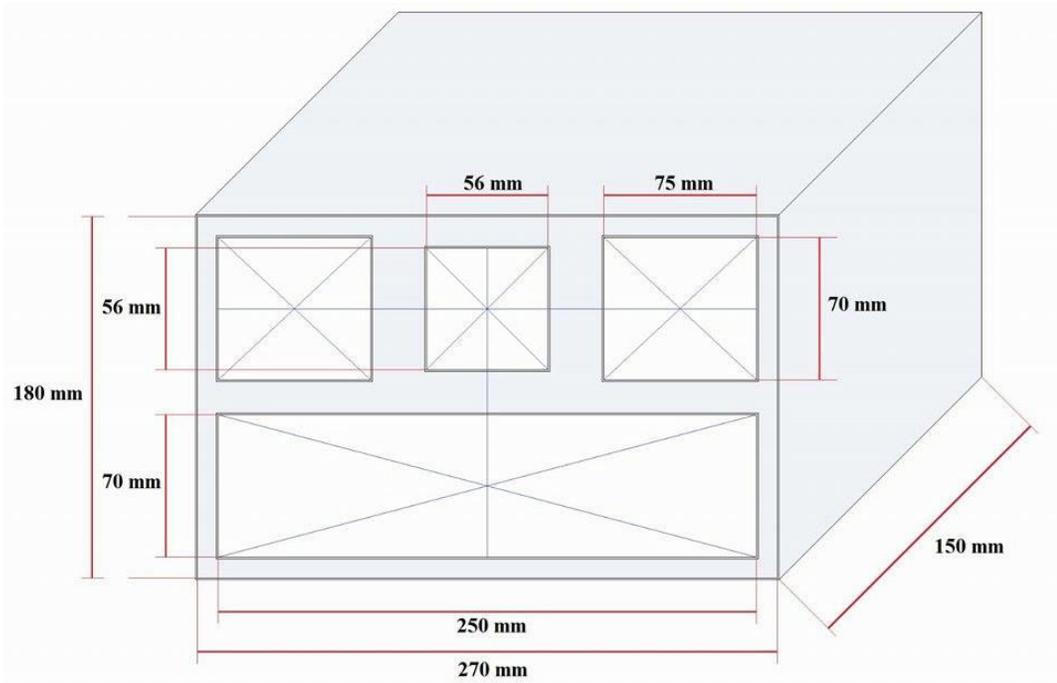


Figura 4-4. Dimensiones para distribución de cámaras (Oviedo, 2015)

Requerimiento del valle inquietante

El robot no debe generar ningún temor en las personas. Para esto las piezas móviles y la estructura tiene que coincidir con las demás partes del robot, pero sin que la forma de las mismas o el ensamble completo de la cabeza genere rechazo.

Capítulo 5 Desarrollo Solución Mecánica

El desarrollo de la solución se llevó a cabo en 3 etapas. Primeramente se realizó el marco estructural principal que sirve de soporte para las cámaras. Luego con base en el diseño mecánico y la investigación de las emociones, se decidió cuales emociones van a ser mapeadas al robot y los componentes de la cara emocional (partes móviles). Por último, se seleccionó el controlador que mejor se adaptó a las especificaciones mecánicas del diseño y a los requerimientos generales del robot.

En este capítulo se dará una descripción detallada de la solución mecánica del proyecto, especificando los tipos de materiales y actuadores usados.

Marco Estructural

El diseño del soporte principal de la estructura se hizo para que cumpliera con los requisitos del sistema de visión, donde los equipos tienen que quedar bien sujetos a la estructura para evitar problemas con la calibración de los mismos. Además, se trató que el diseño coincidiera con las demás partes ya fabricadas para el robot, donde predominan las formas cuadradas.

Para realizar este marco se escogió un perfil de aluminio, esto debido que es un material fácil de adquirir y las propiedades mecánicas que posee, entre las que se encuentra la resistencia a la fluencia 276 MPa. La cual para la carga máxima requerida que tiene que soportar el marco funciona perfectamente.

Tabla 5-1. Propiedades mecánicas del aluminio (Aluminum 6061, 2012)

Aluminio	
Densidad	2.7 g/cm ³
Resistencia ultima a la tensión	310 MPa
Resistencia a la fluencia	276 MPa
Resistencia a la fatiga	96.5 MPa

La figura que se usó es un perfil angular de 0.5x0.5 pulgadas con un grosor de 3/32". Luego de escoger el perfil se probaron diferentes tipos de montajes para lograr la sujeción sencilla entre los perfiles y los elementos que componen la cara (sistema de visión y partes móviles).

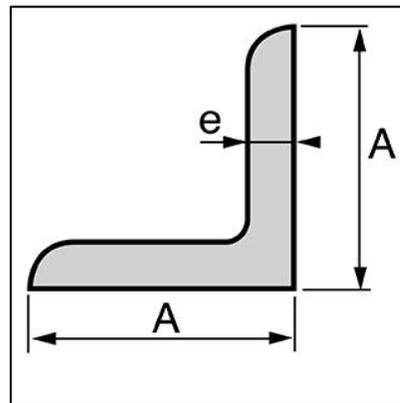


Figura 5-1. Plano 2D perfil angular A=0.5" e=3/32" (Tallers GGB, 2013)

El diseño seleccionado para el marco se muestra en la Figura 5-2, este montaje se seleccionó debido a la facilidad para sujetar nuevas piezas al marco. Además, como la base es plana totalmente es sencillo hacer adaptaciones para el sistema de visión (Figura 5-3).

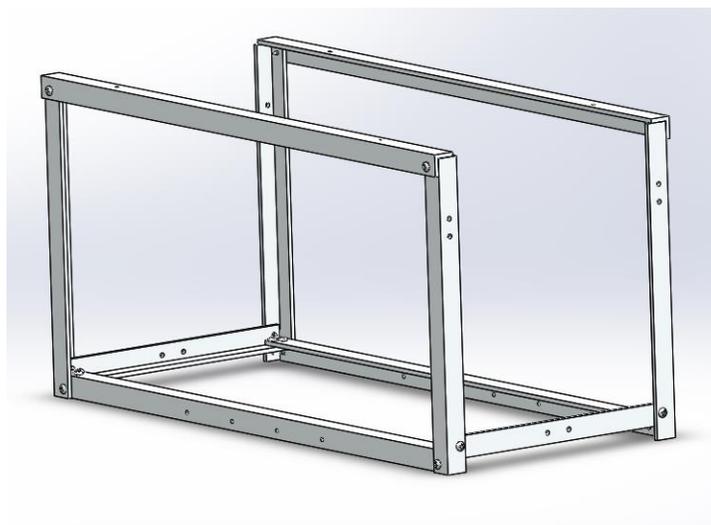


Figura 5-2. Marco principal cabeza del robot

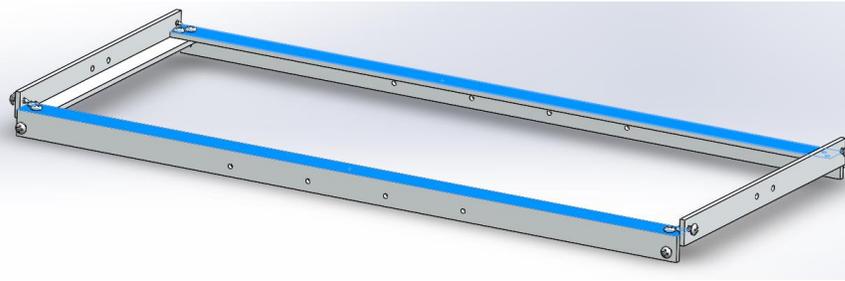


Figura 5-3. Base plana sistema de visión

La sujeción de los perfiles de los perfiles se realizó por medio de tornillos #4-40 para láminas metálicas. Estos poseen cabeza Phillips por lo que son fáciles de montar usando un taladro y broca. Se utilizaron tornillos de 5/16" y 1/2", estas dimensiones fueron escogidas para que no sobresalgan del perfil y las puntas de los mismos no causen accidentes. A cada perfil se le hicieron diferentes agujeros que dependen de los componentes que se le vayan a agregar. La unión principal de los perfiles se realiza en la base del marco, estas uniones son esenciales para garantizar la solidez y equilibrio del marco (Figura 5-4 y Figura 5-5).

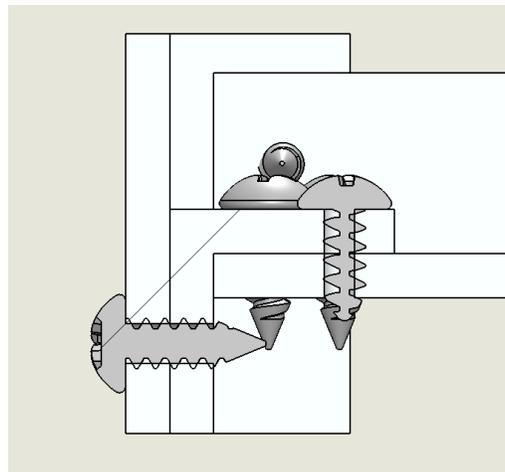


Figura 5-4. Vista en sección del ensamblaje

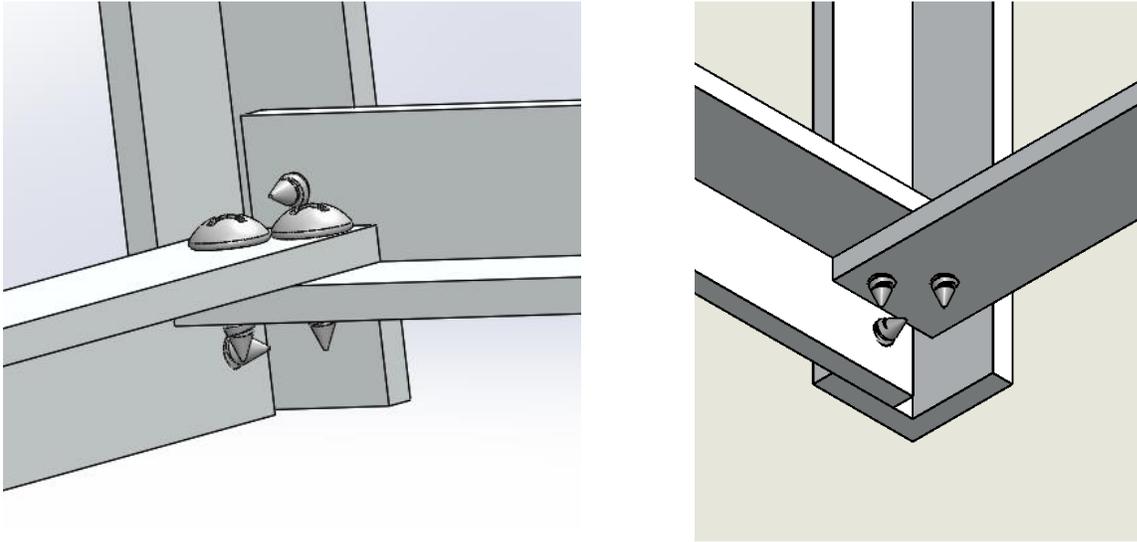


Figura 5-5. Sujeción principal base del marco

Como se observa en la Figura 5-5 para realizar la unión se usaron 4 tornillos de 5/16" posicionados como se observa en la figura, esta configuración se usa en cada esquina de la base inferior. En la parte superior del marco se unieron los perfiles de manera horizontal, debido a que los soportes para los servomotores de las partes móviles de la cabeza generan solidez a la parte superior del marco. Estos soportes también son atornillados a la estructura.

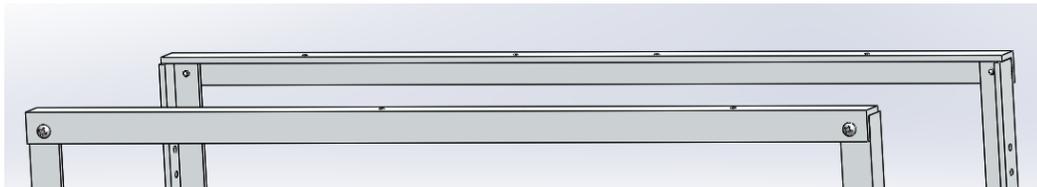


Figura 5-6. Unión soporte superior del marco

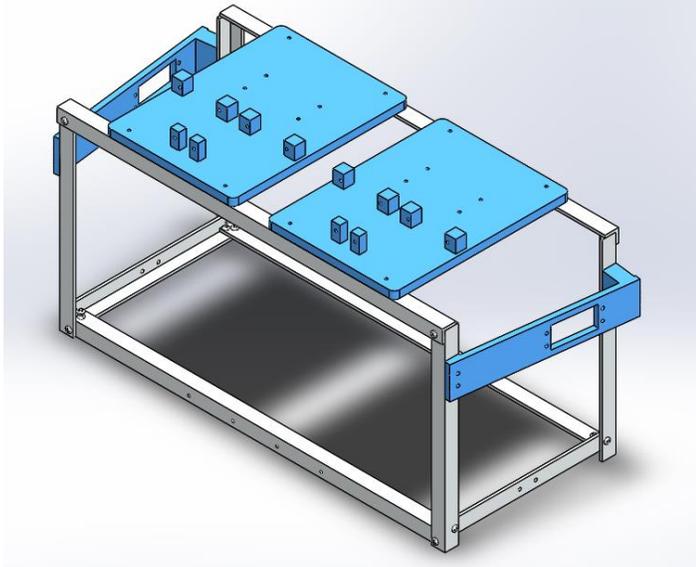


Figura 5-7. Parte superior del marco con soportes

Diseño partes móviles

Para los actuadores de las partes móviles se seleccionaron servomotores, estos son un sistema que utiliza un control de lazo cerrado. Normalmente estos actuadores están compuestos por un motor AC o DC dependiendo de la aplicación, una transmisión de engranajes y el circuito de control incluyendo el sensor para controlar la posición o la variable a utilizar.

Las razones principales por las que se utilizó este tipo actuador son:

- El robot está diseñado para ser totalmente inalámbrico (dentro de su misma estructura cuenta con la alimentación necesaria para operar). Por lo que uso de actuadores neumáticos se descarta debido a que el robot no posee un sistema de aire comprimido. Pero como se menciona anteriormente se cuenta con un sistema de alimentación eléctrica (cuatro baterías DC) para los sistemas principales del robot, con este se puede alimentar los servomotores y el controlador para estos. Además de que los servomotores se consumen con cinco voltios por lo que no requiere el uso de componentes adicionales como relés.
- El tamaño de los servomotores, estos no necesitan más de 8 cm² de espacio y los aditamentos disponibles para este tipo de actuadores (brazos, engranes, acoples, etc.) hacen que sean fáciles de acoplar a las partes del robot.
- El control de los servos solo se necesita una señal de PWM, esto simplifica la programación del sistema.

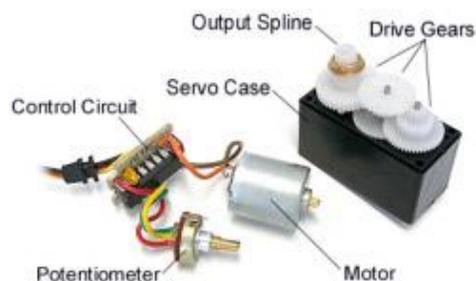


Figura 5-8. Partes de un servomotor DC (Reed, n.d.)

Orejas

En el diseño de las orejas se utilizó un servomotor HITEC-HS 311 para cada una y un brazo metálico (Figura 5-11) con agujeros roscados para realizar la unión con el servomotor y la pieza. La forma de la oreja se inspiró en el robot principal de la película Chappie.

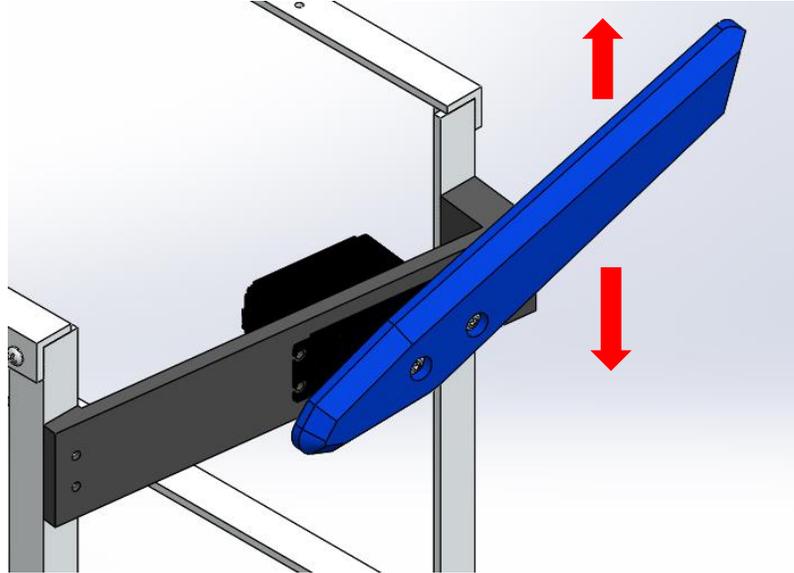


Figura 5-9. Oreja derecha

El movimiento rotatorio de la oreja, permite que esta se mueva hacia arriba y hacia abajo. Además, el soporte que se diseñó (ítem 12) tiene una inclinación para que cuando el robot sea observado frontalmente, el movimiento de las orejas de apreciar fácilmente. El ítem posee además cuatro agujeros para fijar el servomotor, y 2 agujeros más a cada lado para sujetarlo a los perfiles de aluminio.

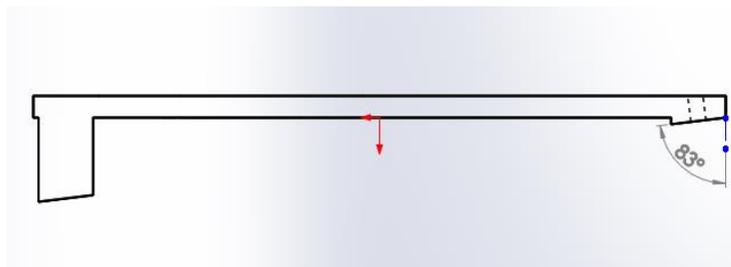


Figura 5-10. Ángulo para ayuda visual de la oreja (ítem 12)

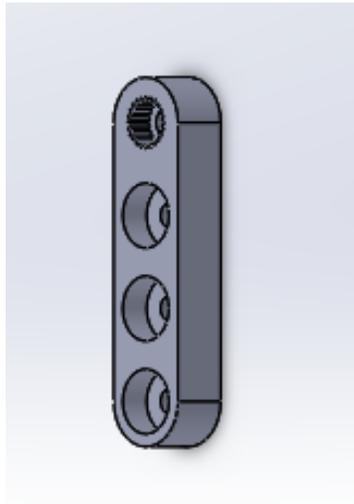


Figura 5-11. Brazo del servomotor

La oreja y el ítem 12 serán construidos en una impresora 3D con el método de deposición fundida. El material a utilizar es PLA (ácido poliláctico), este es un poliéster biodegradable (Smith, 2005), altamente usado con impresoras 3D.

Tabla 5-2. Principales características PLA (Smith, 2005)

PLA	
Esfuerzo de tensión	59.5 MPa
Punto de fusión	444.4 K
Densidad	1.117 g/cm ³

Cejas

El diseño de las cejas fue realizado para que posea dos movimientos, uno vertical y otro rotacional. Este último movimiento se puede realizar sobre cualquiera de los ejes que tiene la ceja. Con estos desplazamientos la ceja puede moverse de una manera más natural y se asemeja a la de una persona.

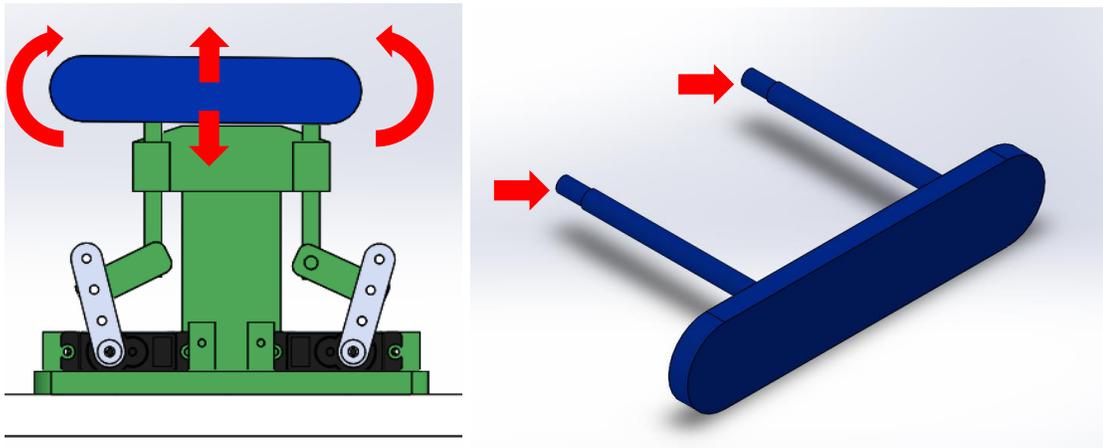


Figura 5-12. Movimientos y ejes de la ceja

Estos movimientos se lograron mediante la implementación de dos servomotores HITEC 81S y 2 bielas en cada ceja. Al usar bielas hay que diseñar el soporte (ítem 8) para lograr transmitir el movimiento y el soporte para sujetar los servomotores (ítem 6). Este también sirve de soporte para el ítem 8 como se muestra en la Figura 5-13.

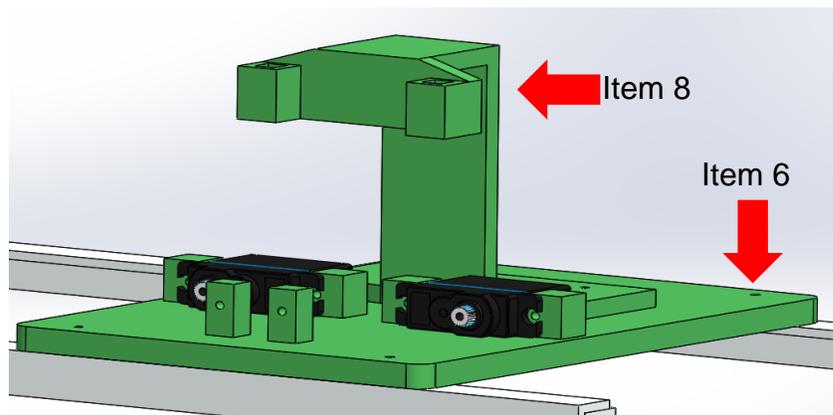


Figura 5-13. Montaje de servomotores y el ítem 8 en el ítem 6

El ítem 8 tiene una forma parecida a la de una “S”, con este soporte se transmite el movimiento a las cejas y se impide que se salgan de su zona de acción. Este tiene cuatro agujeros de 2.26 mm para realizar la sujeción al ítem 6.

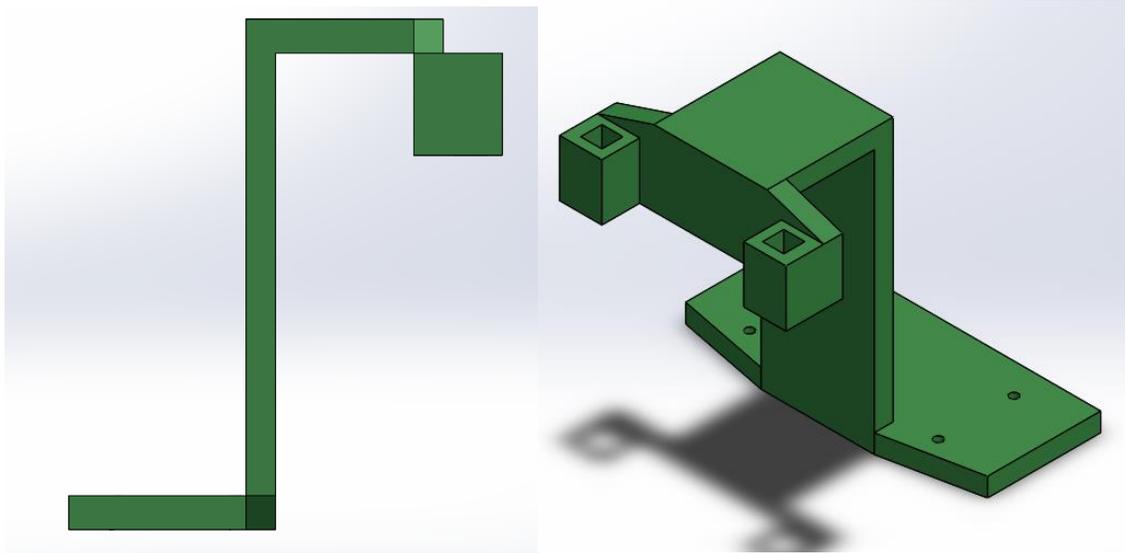


Figura 5-14. Vista isométrica y lateral del ítem 8

Las piezas encargadas de transmitir el movimiento a las cejas son los ítems 9 y 10 estos son prismas cuadrangulares de 60 mm de altura. Estos tienen una unión (agujero o pasador) para acoplarse a la biela por unos de los extremos y por el otro a la ceja. El ítem 9 además posee un ojo chino para realizar el movimiento independiente de cada eje de la ceja con el servomotor (Figura 5-16).

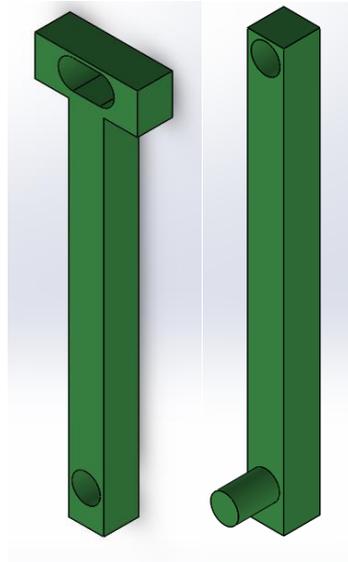


Figura 5-15. Vista isométrica ítem 9 y 10

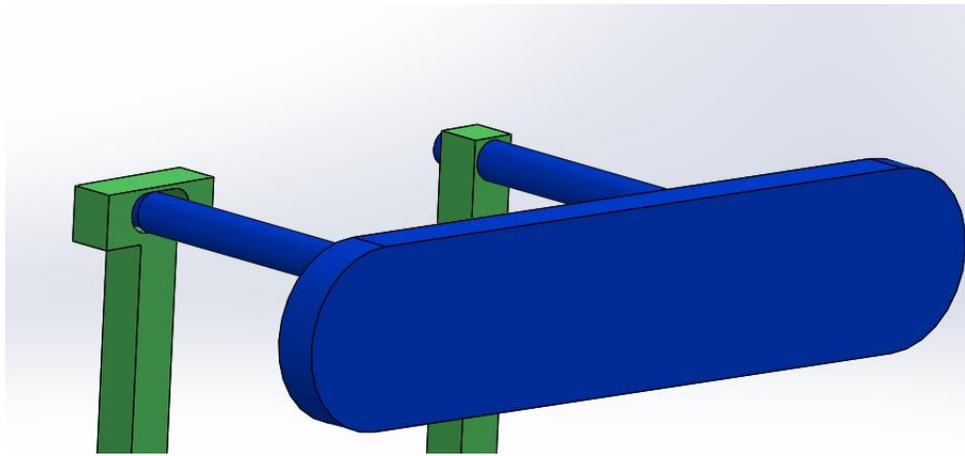


Figura 5-16. Montaje de la ceja con ítems 9 y 10

La biela es la pieza principal para desarrollar los movimientos de la ceja, esta va unida al brazo del servo motor con un tornillo #6-32 y a los prismas rectangulares con un pasador. Se diseñaron dos tipos de bielas una para ensamblar con ítem 9 y otra para el ítem 10. El brazo del servomotor posee varios agujeros roscados para tornillos #6-32 y el acople para unirlo al servomotor (Figura 5-11).

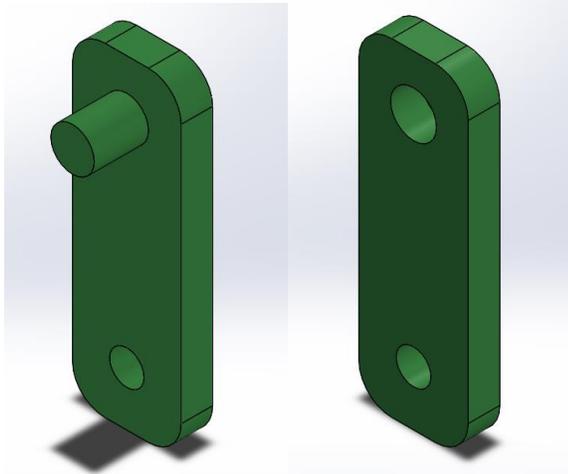


Figura 5-17. Tipos de bielas

Las piezas diseñadas tienen formas complejas para manufacturarse con CNC o fresadoras, por lo que van a ser manufacturadas usando una impresora 3D con el método de deposición fundida, el material para la construcción es PLA.

Mandíbula

La mandíbula del robot es importante para simular el movimiento de la boca. Al diseñarla se tomó en consideración las dimensiones del robot, para que la boca vaya de acuerdo a al tamaño de la cabeza.

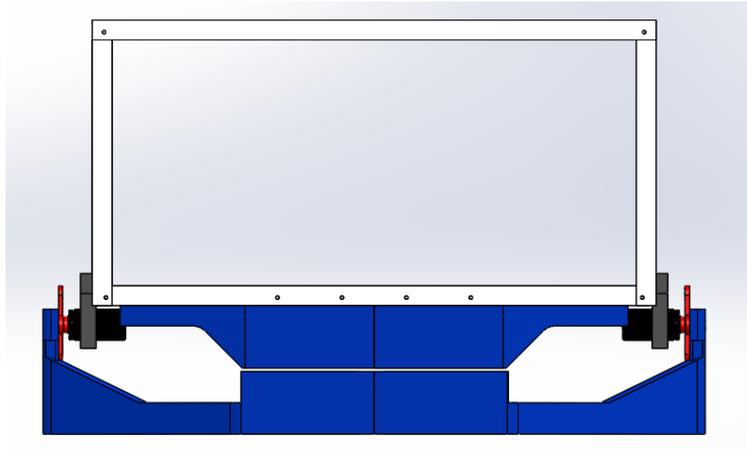


Figura 5-18. Vista frontal mandíbula

La mandíbula se divide en 2 partes, una fija que se sujeta la estructura principal y otra móvil que va unida a 2 servomotores HITEC HS-311. Como el largo de la cabeza de es 360 mm aproximadamente, y las dimensiones máximas de la impresora 3D para manufacturar son 210x210x205 mm (Ultimaker, n.d.). Por tanto con el fin de facilitar la construcción de las piezas, estas se dividen en dos partes.

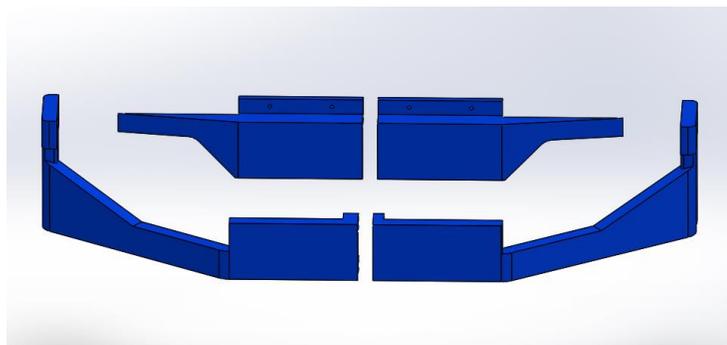


Figura 5-19. Partes mandíbula inferior y superior

Para el ensamble de las piezas de la mandíbula inferior se diseñó junta la parte posterior de las piezas, con el propósito de que se muevan al mismo tiempo. Esta junta se une por medio de dos tornillos #4.

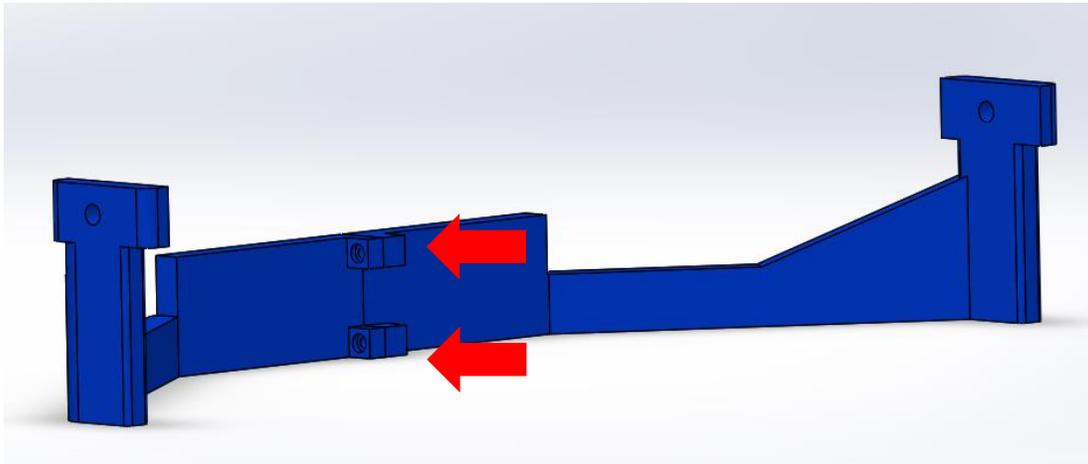


Figura 5-20. Unión para las partes de la mandíbula inferior

Las partes de la mandíbula inferior estarán unidas a los servomotores mediante unos de los acoples que viene incluido con el servomotor (Figura 5-21). El soporte que une el con estructura principal es construido con la impresora 3D y el material a usar es PLA, al igual que para el resto de partes de la mandíbula.

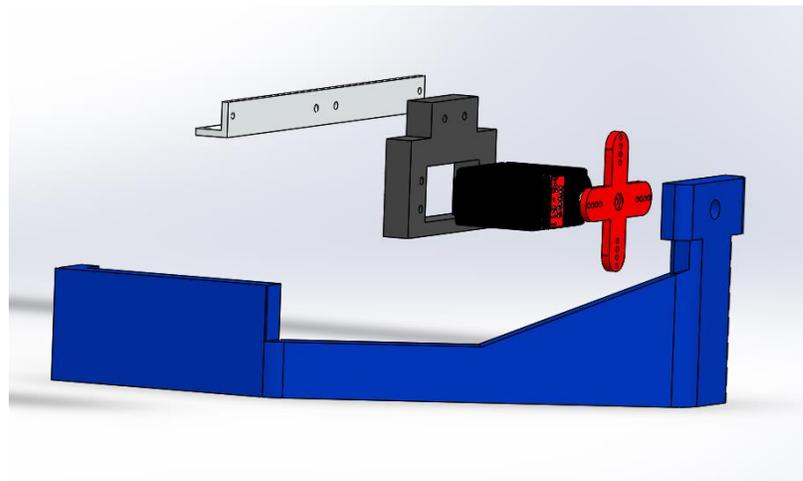


Figura 5-21. Vista en explosión de la mandíbula inferior

Ojos

Para simular los ojos se seleccionaron dos matrices de neopixels RGB de 8x8., estas placas solo incluyen los agujeros para montarlas en alguna estructura. Debido a esto en el ítem 6 se incluyeron 2 los soportes para montar la placa con los leds (Figura 5-22). Estos soportes usados son prismas rectangulares con un agujero en la cara frontal para insertar los tornillos que sujetan la placa al ítem.

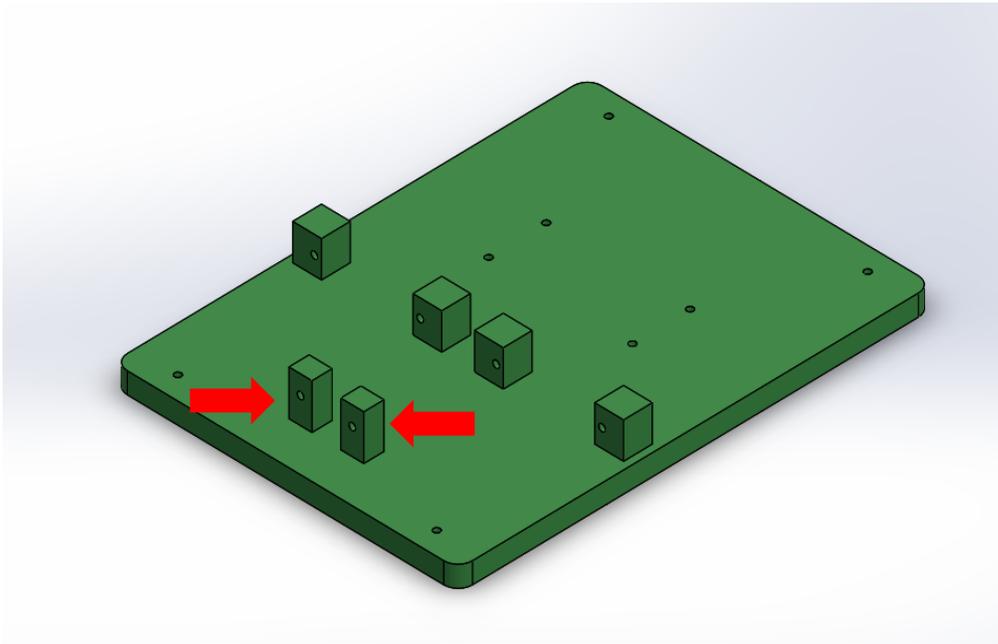


Figura 5-22. Item 6 con los soportes para matriz de leds

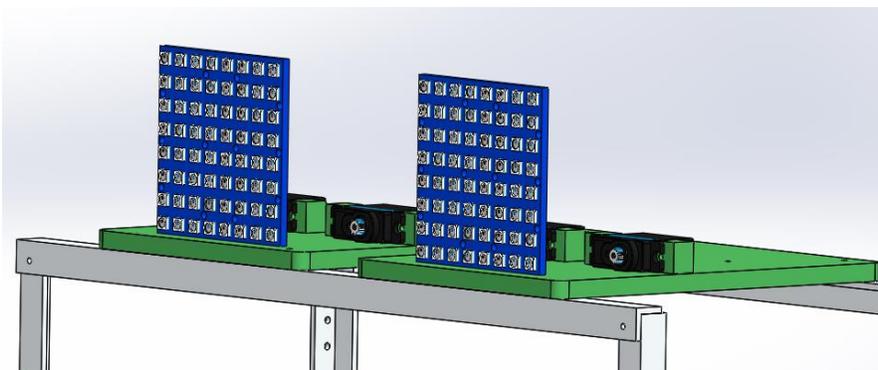


Figura 5-23. Montaje de la placa de leds en el ítem 6

La ubicación de la matriz de leds también es útil para ocultar los servomotores y bielas que mueven las cejas. Con el fin que cuando el robot interactúe con personas, no existan distracciones en la cara (Figura 5-24).

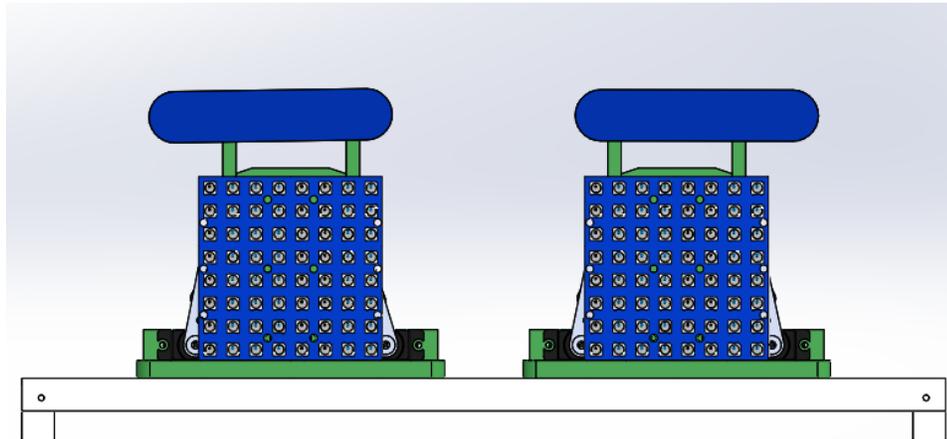


Figura 5-24. Vista frontal matriz de led y cejas

La forma de simular los ojos es utilizar una submatriz de 4x4 leds, con la intención de que estos neopixels formen el ojo. De esta manera el “ojo” puede moverse en la matriz y además formar diferentes figuras, para que la expresión de emociones sea fácil de reconocer para las personas, un ejemplo de esto se muestra en la Figura 5-25.

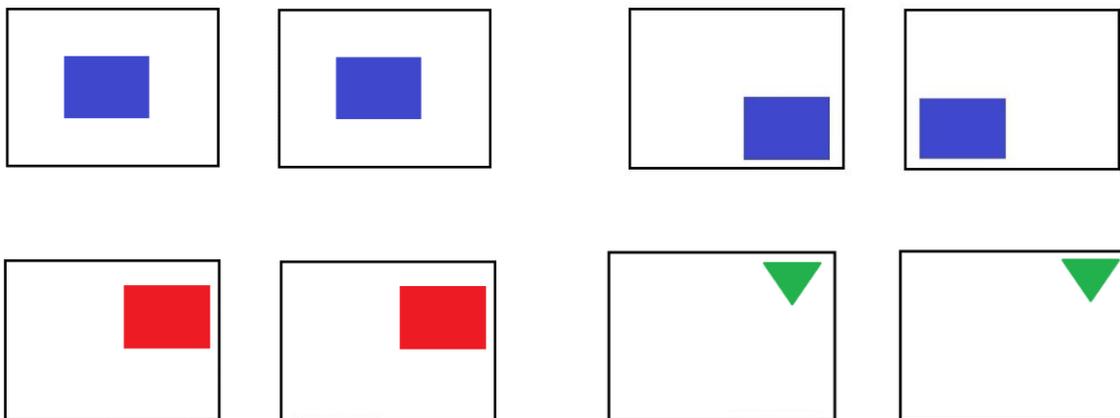


Figura 5-25. Ejemplos de formas y colores que pueden tomar los ojos del robot

Dificultades en el diseño

Durante la etapa de diseño se inició con un prototipo que se enfocaba en la colocación y funcionalidad de las partes móviles, pero que dejaba en segundo plano con el sistema de visión. Este diseño cumplía con los requerimientos dimensionales, pero la construcción de las piezas era compleja inclusive usando una impresora 3D. Además los soportes principales de la estructura era de PLA, por lo que la resistencia del mismo no es tal alta como la del marco de aluminio. Este prototipo no obtuvo la aprobación del equipo de trabajo, sobre todo por no priorizar el sistema de visión y la fragilidad del marco principal.

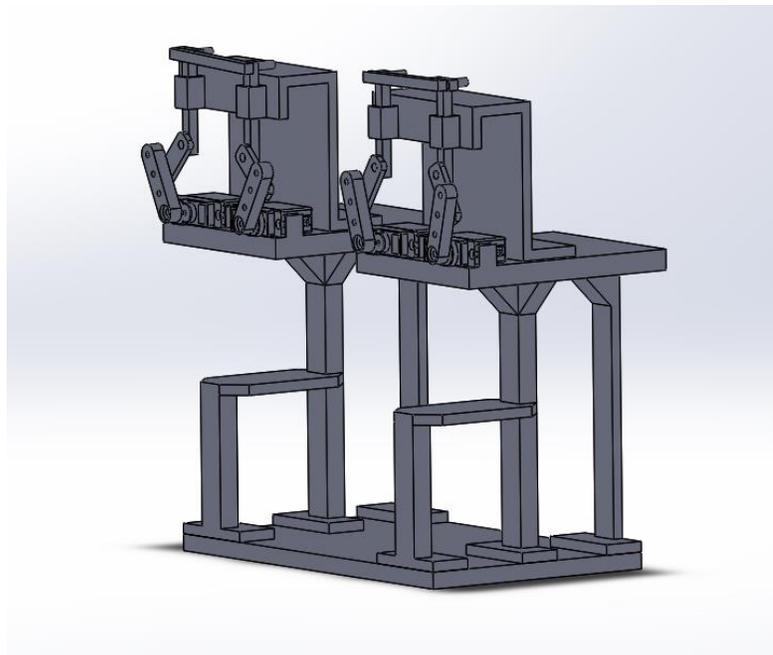


Figura 5-26. Primer prototipo de la cara

La capacidad volumétrica de la impresora 3D Ultimaker, también fue un factor que dificultó el diseño. Debido a que todas las piezas que ajustarse a las dimensiones máximas, como se realizó con la mandíbula inferior que se dividió en 2 partes, para que se ajustara a los límites permitidos por la impresora.

Capítulo 6 Desarrollo Solución Eléctrica

La solución eléctrica planteada para dirigir los movimientos de la cara es utilizar un controlador principal que se encargue de comunicarse con el resto del robot. Así como de controlar los servomotores de la cabeza y las matrices de leds para los ojos.

Selección del controlador

Primeramente, se seleccionó el controlador en este caso es una Raspberry Pi 1 específicamente el modelo B, este dispositivo más que un controlador es una computadora de bajo posee diversos componentes con los que puede cumplir una gran cantidad de funciones.

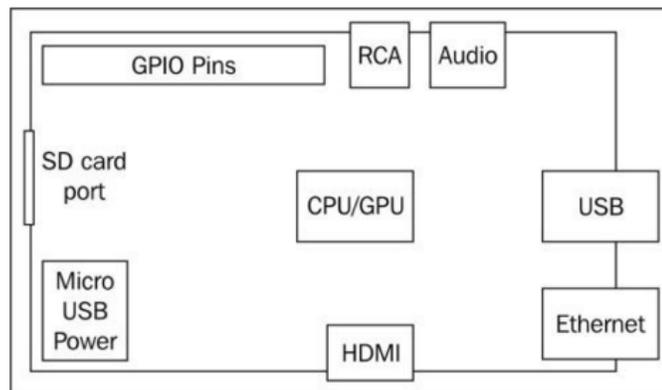


Figura 6-1. Hardware Raspberry Pi (Dennis, 2013)

Algunas de las razones para seleccionar este dispositivo es que en el laboratorio (ARCOSLAB), se utiliza software libre para la mayoría de las aplicaciones. Como el Raspberry utiliza una distribución de Linux, se adapta a los requerimientos internos solicitados en el laboratorio. Aunque este controlador va a estar subutilizado considerando la capacidad que posee la Raspberry Pi. Debido a que controlar 8 servomotores y las matrices de leds es poco gasto de memoria y demás, se pueden agregar más componentes (sensores y actuadores), además de otras funciones para la

cara. Por ejemplo, una cámara independiente del sistema de visión para estudiar la reacción de las personas cuando interactúan con el robot.

Además, al ser un sistema aparte del controlador principal del robot, cualquier desperfecto no compromete el control de las partes de la cara. Al utilizar la cara como un sistema independiente, esta por si sola se puede usar para realizar investigaciones relacionadas con la interacción de personas con el robot, sin tener que utilizar o mover por completo el robot.

La única limitación de la Raspberry Pi en relación con el proyecto es que no posee un control de tiempo real sobre los pines de entrada y salida, la solución a este inconveniente se mostrará en este capítulo.

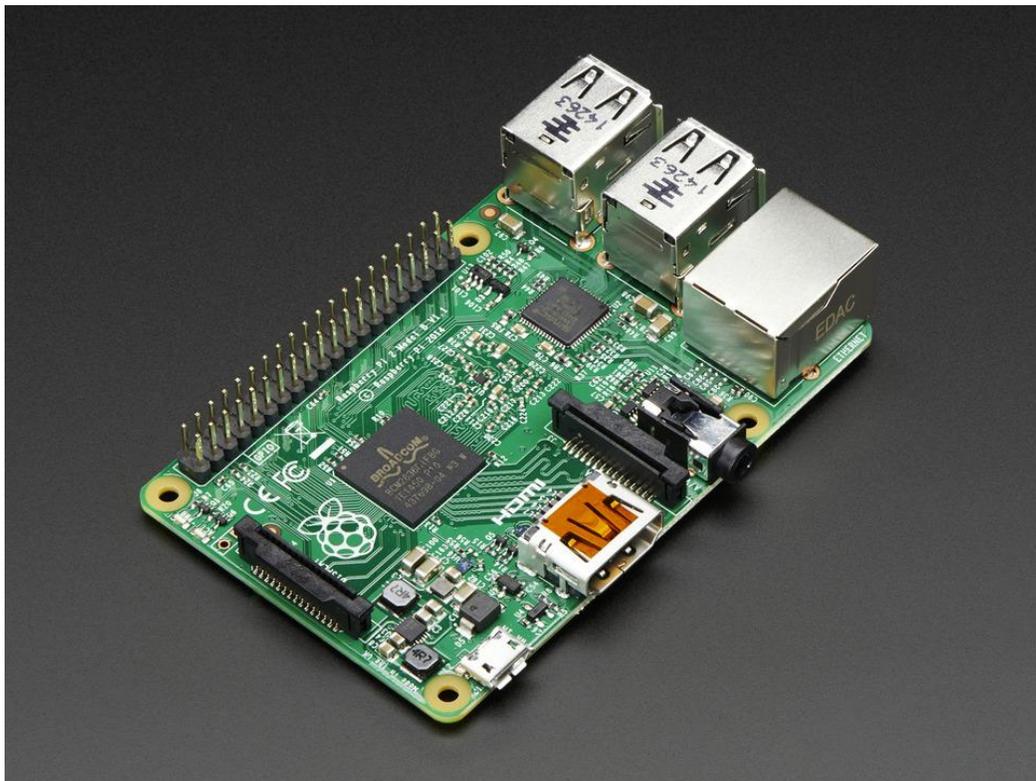


Figura 6-2. Raspberry Pi 2 (Adafruit, n.d.)

Alimentación del sistema

El sistema de alimentación principal del robot son 4 baterías de 12 V, 600 amperios, 160 min (Gómez, 2015). Aunque la potencia del sistema es alta hay que definir los requerimientos de consumo para los actuadores (servomotores y matriz de leds) y el controlador, esto es importante para determinar la forma de accionar los servomotores ya sea uno por uno (en serie) o todos al mismo tiempo (en paralelo).



Figura 6-3. Batería de ciclo profundo Eveready (Gómez, 2015)

La razón para variar el uso de los actuadores, es consumir la menor potencia posible. Debido a que cada motor de la base omnidireccional necesita 15 A para actuar (Gómez, 2015), por lo que se intenta reducir la demanda de potencia requerida por la cara. De esta manera el robot puede funcionar por más tiempo sin la necesidad de recargar las baterías.

Primeramente, se realizó un cálculo del consumo de potencia para cada actuador con el de analizar el método más conveniente para ponerlos en funcionamiento.

En el caso de los servomotores la intensidad máxima consumida se puede obtener con las siguientes fórmulas (Wildi, 2007):

$$P_{mecanica} = Torque * \omega(\text{velocidad angular}) \quad (W) \quad (8.1)$$

$$P_{electrica} = \frac{P_{mecanica}}{\text{eficiencia motor}} \quad (W) \quad (8.2)$$

Según la hoja de datos para los servomotores HITEC HS-311, estos tienen un torque de 3.0 kgf·cm y una velocidad máxima de 0.19 s/60° cuando se operan con 4.8V (HS-311 Standard, 2013). Generalmente los servomotores están diseñados para la eficiencia ronde el 85% (Mazurkiewicz, 2007), para este caso el cálculo de la intensidad se hizo con una eficiencia del 80%. Este dato es usado para el cálculo de la potencia de cualquier servomotor mencionado en el presente proyecto.

$$Torque = 3(kgf * cm) * 10 \left(\frac{N}{kgf} \right) * \frac{1}{100} \left(\frac{m}{cm} \right) = 0.3 N * m \quad (8.3)$$

$$60^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} = 1.047 rad \quad (8.4)$$

$$\omega = \frac{1.047}{0.19} = 5.51 \frac{rad}{s} \quad (8.5)$$

$$P_{mecanica} = 0.3 * 5.51 = 1.653 W \quad (8.4)$$

$$P_{electrica} = \frac{1.653}{0.8} = 2.07 W \quad (8.6)$$

Para los servomotores HITEC HS-81 estos tienen un torque 2.6 kgf·cm y una velocidad máxima de 0.11 s/60° cuando se operan con 4.8V (HS-81 Micro, 2013).

$$Torque = 2.6(kgf * cm) * 10 \left(\frac{N}{kgf} \right) * \frac{1}{100} \left(\frac{m}{cm} \right) = 0.26 N * m \quad (8.7)$$

$$60^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} = 1.047 rad \quad (8.8)$$

$$\omega = \frac{1.047}{0.11} = 9.52 \frac{rad}{s} \quad (8.9)$$

$$P_{mecanica} = 0.26 * 9.52 = 2.48 W \quad (8.10)$$

$$P_{electrica} = \frac{2.48}{0.8} = 3.1 W \quad (8.11)$$

Por lo tanto, en las ecuaciones 8.6 y 8.11 se detallan la potencia máxima que podría consumir cada servomotor. La tensión a utilizar es de 5 V, por lo que la intensidad que consume cada servo es de:

$$\text{Servo HS-311} \quad I = \frac{P}{V} = \frac{2.07}{5} = 0.414 \text{ A} \quad (8.12)$$

$$\text{Servo HS-81} \quad I = \frac{P}{V} = \frac{3.1}{5} = 0.62 \text{ A} \quad (8.13)$$

Como se propone el uso de cuatro servomotores de cada tipo, el sistema de alimentación para los servomotores tiene que ser de 4,1 A aproximadamente.

$$0.414 * 4 = 1.656 \text{ A} \quad (8.14)$$

$$0.62 * 4 = 2.48 \text{ A} \quad (8.15)$$

Las matrices de leds a utilizar consumen en promedio 60 mA a 5 V por led cuando este se enciende con luz blanca al 100% de (Adafruit, 2015). Si se utilizan dos matrices de 64 leds cada una, la demanda de intensidad sería aproximadamente de 7.68 A.

Como se mencionó anteriormente en el diseño propuesto cada matriz enciende como máximo 16. Por lo que la alimentación para la matriz de leds sería de:

$$60 \text{ mA} * 16 * 2 = 1.92 \sim 2 \text{ A} \quad (8.16)$$

Tabla 6-1. Consumo de intensidad de los actuadores

Actuadores	Consumo (A)
Servomotores	4
Leds	2
Total	6

En la Tabla 6-1 se muestra el consumo total de todos los actuadores, por lo que el sistema de alimentación tiene que ser capaz de suministrar 6 A.

La Raspberry Pi será usada únicamente para control, según la recomendación del fabricante se necesita una fuente de 1 A con 5 V para que la misma realice todas sus funciones (Raspberry Pi Foundation, 2015). En resumen, se requiere que la potencia del sistema sea de 5V con 35W, para los actuadores y el controlador.

Como se mencionó anteriormente el sistema de alimentación del robot tiene 4 baterías de 12 V, 600 A. Las mismas están conectadas en serie con salidas de 24 V y 48 V.

Por lo tanto, se propone el uso de un convertidor DC/DC para la alimentación de los actuadores y para el controlador, el convertidor seleccionado es marca Delta Electronics serie S48SP.



Figura 6-4. Imagen convertidor DC/DC (Digie-Key, n.d.)

Tabla 6-2. Características principales del convertidor DC/DC (Delta Electronics, Inc.)

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Típico	Valor Máximo	Unidades
Tensión de entrada	36	-	75	Vdc
Temperatura de Operación	-40		85	°C
Tensión de salida	4.925	5	5.075	Vdc
Intensidad de operación	0	-	7	A

Como se observa en la tabla anterior, las características más importantes son que la tensión de entrada puede variar de 36 V a 75 V y la salida de tensión es de 5V con 7 A como límite máximo. Con este dispositivo se asegura que el sistema de alimentación para la cara emocional cumpla con los requisitos de potencia calculados anteriormente.

Control Servomotores

El control de los servos se realiza por medio de una señal PWM, esta proviene del controlador. En este caso como se explicó anteriormente el mismo no tiene un control de tiempo real sobre los pines de entrada y salida. Por lo que para el correcto funcionamiento de los servos se necesita un control muy preciso del tiempo debido a que el ancho del pulso del PWM controla la posición exacta del servo. En consecuencia, se utiliza un drive especial para Raspberry Pi con la capacidad para controlar 16 servomotores (Adafruit, 2015).

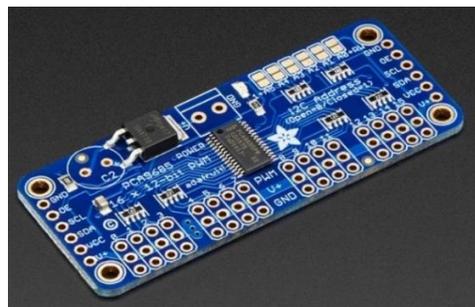


Figura 6-5. Driver para el control de los servomotores (Adafruit, 2015)

Control matriz de leds RGB

La selección de estas matrices de leds RGB para representar los ojos se debe a que cuando se eligieron las emociones, a estas se les asignó un color específico. Por lo que es necesario utilizar un dispositivo capaz de cambiar de color y representar diferentes figuras para simular los ojos del robot (Figura 5-25).

El control de los leds también requiere una sincronización muy precisa, por lo que con la limitante del controlador se usará una biblioteca disponible para Raspberry Pi, con la cual se pueden encender correctamente los leds (DiCola, 2015).

La matriz de leds tiene la capacidad de conectarse en serie con más dispositivos, por lo que cuenta con 3 pines de salida y 3 de entrada. Uno de los pines es para el control y los otros dos para la alimentación. Con esta conexión en serie se facilita la programación y el cableado.

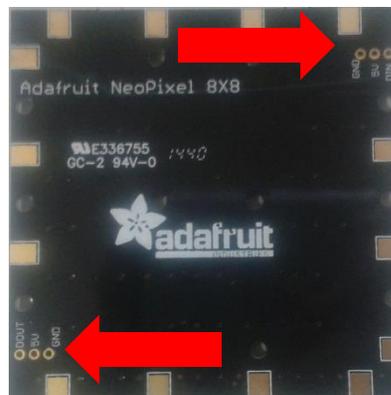


Figura 6-6. Pines de entrada y salida para matriz de leds

Para las conexiones eléctricas es necesario tomar en cuenta que los pines del controlador funcionan a 3.3 V por lo que es necesario el uso de un buffer para que los leds funcionen a máxima intensidad, en la Figura 6-7 se muestra un diagrama de la conexión requerida utilizando el buffer.

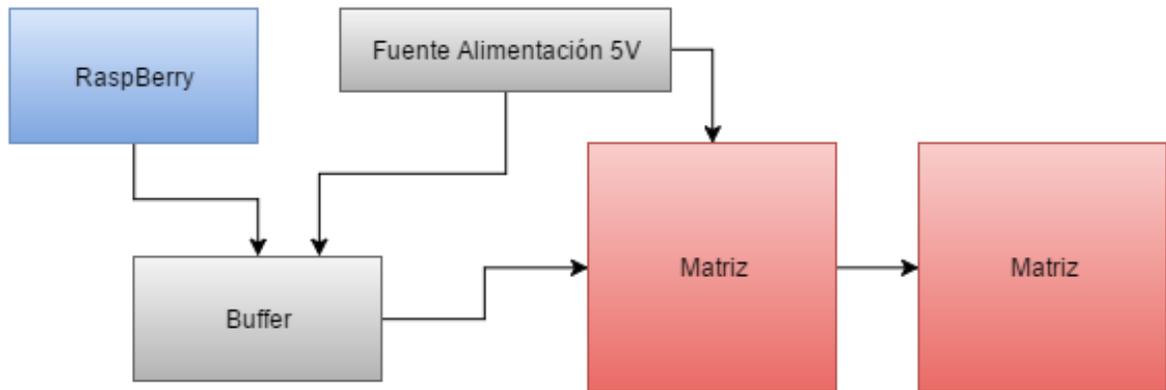


Figura 6-7. Conexión de matriz de neopixels a Raspberry Pi

Como se mencionó anteriormente la matriz seleccionada utiliza leds RGB, por esta razón en el control de los mismos, se tiene que incluir la selección del color. Este se representa por medio de una tripleta (R,G,B), en la librería que se instala en el controlador. En esta cada valor puede variar de 0 a 255, como los colores seleccionados para cada emoción son presentados en la escala de Munsell es necesario realizar la conversión a RGB, para lo cual se usara la tabla presentada en (Centore, 2013), este algoritmo debe ser incluido dentro de la programación del controlador.

Después de mostrar el control de cada uno de los actuadores que forman parte de la cara, se realizó un diagrama general resumiendo las conexiones entre el controlador y los actuadores.

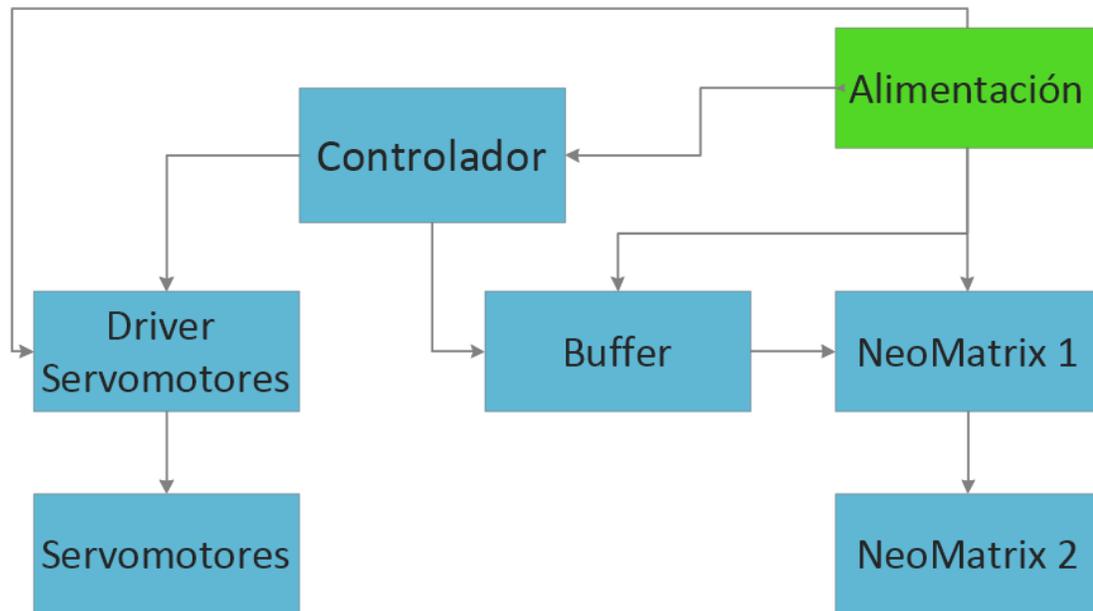


Figura 6-8. Diagrama de conexión controlador y actuadores

Operación de actuadores

Según los cálculos realizados el consumo de todos los actuadores funcionando al mismo tiempo no es muy alto comparado con otras partes del robot, pero para demanda de consumo en la cara el movimiento de las partes se realiza secuencialmente.

En la Figura 6-9 se muestra la secuencia para el movimiento de las partes, aunque los desplazamientos son cortos y rápidos, al distribuirlos de esta forma el sistema de alimentación no tiene que suministrar la potencia máxima cada vez que la cara cambia de emoción. El consumo de corriente es el mismo porque los actuadores no reducen su consumo por moverlos en serie, pero las baterías van a tener una demanda menor de potencia esto aumenta la duración de las baterías.

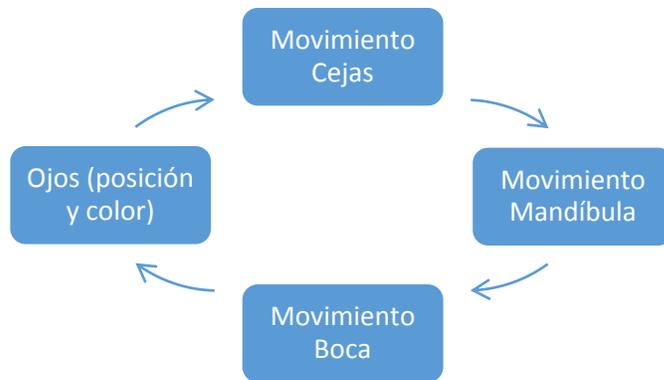


Figura 6-9. Movimiento secuencial actuadores

Los actuadores que más potencia demandan son las matrices de leds, debido a que el robot cuando está realizando alguna tarea debe de mantener encendidos los leds. Mientras que los servomotores cuando se mantienen en la misma posición consumen 7.4. mA para el HS-311 (HS-311 Standard, 2013) y 8.8 mA para el HS-81 (HS-81 Micro, 2013), si ese compara esta intensidad con la de operación es mucho menor (ecuación 8.12 y 8.13), lo cual también genera un ahorro pequeño de energía.

Comunicación con el sistema principal

El sistema principal del robot, es el encargado de transmitir y recibir datos de todos los sistemas periféricos (base móvil, sistema de visión, cara emocional, cuello, etc). Este sistema también se encarga de transmitir a la cara cual es la emoción que debe expresar, para llevar a cabo esta transmisión de datos, se estableció el uso un protocolo de comunicación por medio del puerto ethernet de la Raspberry Pi.

Para esta transmisión de datos al controlador, este internamente tendrá previamente asociados diferentes comandos para los actuadores dependiendo de los datos transmitidos por el sistema, de esta manera cada dato o palabra enviada representa la emoción que se mapeará a la cara emocional.

Otra razón para utilizar el puerto ethernet es que el robot además tendrá instalado un switch para transmitir datos no solo a la cara emocional sino al resto de componentes, de esta manera se estandariza y facilita la comunicación entre todas las partes del robot.

Programación del controlador

Al estar definidos todos los componentes mecánicos y eléctricos que integran la cara emocional, así como la forma de operación y comunicación con el sistema principal, se realizó un diagrama de flujo (Figura 6-10) donde se indica el funcionamiento del algoritmo para la cara emocional.

Este algoritmo explica que inicialmente configura el puerto ethernet para que pueda recibir datos, también configura los actuadores de manera que estos estén la posición definida como neutra. Después el controlador está listo para recibir los datos que se envíen desde el sistema principal, estos datos se corroboran para evitar el que robot muestre una emoción incorrecta. Una vez corroborados los datos se inicia la secuencia de movimientos para los actuadores, cuando los actuadores están en posición correcta, el sistema está listo para recibir una nueva instrucción e iniciar e ciclo de nuevo.

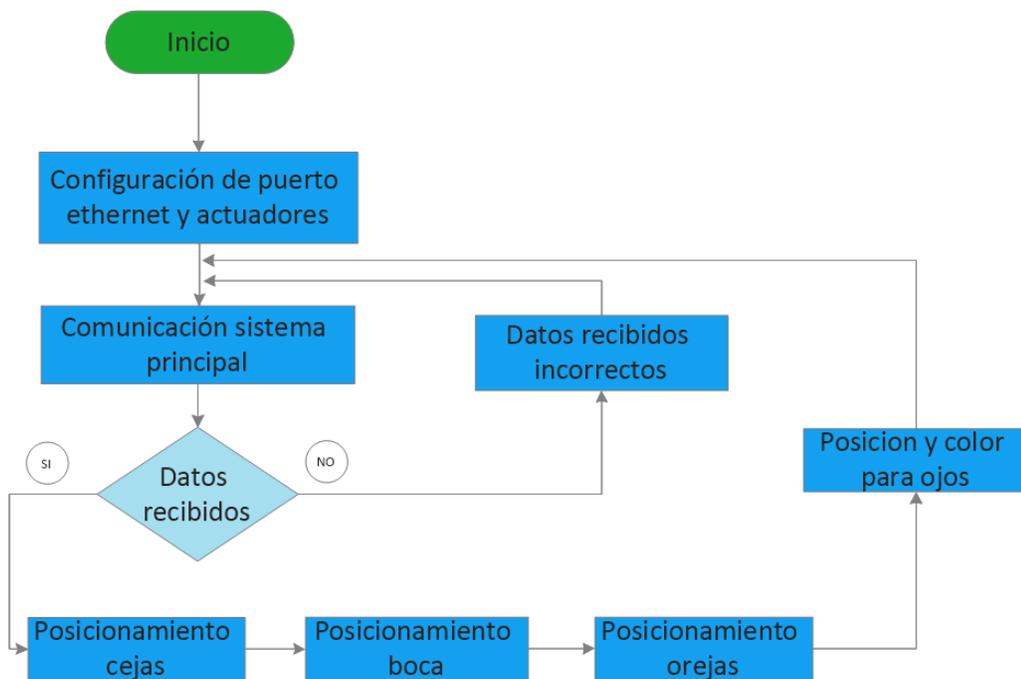


Figura 6-10. Diagrama de flujo del funcionamiento de la cara

Capítulo 7 Costos del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto se seleccionaron los materiales más económicos, pero cumplan con todos los requerimientos definidos en el proyecto. La selección de componentes económicos se debe a que el laboratorio cuenta con un presupuesto reducido.

En este caso los actuadores fueron las piezas más caras por la cantidad de servos que se necesitan, los mismos se compraron en internet y enviadas a Costa Rica. Sin embargo, estos no fueron los únicos componentes que se compraron en internet también están los tornillos, los brazos para los servos, las matrices de leds, el driver para servomotor, y el convertidor DC/DC.

Tabla 7-1. Costos de los materiales del proyecto comprados en la web

Componente	Distribuidor	Cnt	P/Unt (\$)	Precio (\$)
Servo HS-311	Amazon	4	11	44
Servo HS-81	Amazon	4	24	96
Matriz de LEDs RGB 8x8	Amazon	2	40	80
Brazo Servo Aluminio	ServoCity	6	4.99	29.94
Raspberry Pi Modelo B	Amazon	1	32	32
Servo Driver	CRCibernetica	1	24	24
Convertidor DC/DC 5 V/35 W	Mouser	1	31.41	31.41
Tornillo #4 para lámina 1/2"	McMaster-Carr	100	-	5.05
Tornillo #4 para lámina 5/16"	McMaster-Carr	100	-	4.67
Tornillo Allen #6-32 1/2"	McMaster-Carr	100	-	3.77
Tornillo Phillips #6-32 1/2"	McMaster-Carr	100	-	5.14
Total	-	-	-	354.13

El costo total de los materiales, sumando impuestos y envíos a Costa Rica suman 200000 colones aproximadamente. Cabe destacar que no todos los componentes electrónicos han sido comprados, primero se trajeron los que se necesitan para armar el prototipo de la cara emocional, los demás solo fueron cotizados. A la cantidad mencionada anteriormente hay que agregar los materiales que se compraron en el país por ejemplo el perfil de aluminio y la manufactura de las piezas realizadas en 3D

Los perfiles fueron comprados en D'Metal, empresa localizada en Guadalupe. La manufactura de los ítems se realizó en la impresora 3D del laboratorio modelo Ultimaker, además el laboratorio cuenta con el material (PLA) para fabricar las piezas.

Tabla 7-2. Lista de componentes comprados en Costa Rica

Componente	Distribuidor	Cantidad	Precio (₡)
Perfil angular aluminio 1" x 1"	D'Metal	15 mts	20000
Filamento PLA azul 1.75mm	CRCibernetica	1 kg	26764
Total	-	-	46764

En total los materiales comprados suman 246764 colones, esta cantidad es pequeña considerando que los materiales utilizados son novedosos y de gran calidad. Para la compra de los materiales se contó con el aporte de varios investigadores del laboratorio los cuales colaboraron con fondos para la compra de los componentes.

Capítulo 8 Resultados

Este capítulo repasa el desarrollo de las diferentes pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento de la cabeza.

Estructura mecánica

La primera verificación corresponde a la estructura de la cabeza, que se comprobó un peso máximo propuesto de 5 kg, para esto se realizaron pruebas en computadora para determinar la deflexión máxima de la estructura y el factor de seguridad.

Se verificó que los tornillos utilizados para la sujeción de los perfiles de aluminio, en la estructura principal, resisten el peso de la estructura. Estos son de diámetro #4-40 con longitudes de 1/2" y 5/16". La medida nominal del tornillo es de 0.112 pulgadas (Budynas & Nisbett, 2008), convertida a milímetros es de aproximadamente 2.4884 mm.

En la Figura 8-1 se aprecia la forma que están sujetos los tornillos, dos están posicionados de forma horizontal y 2 de forma vertical.

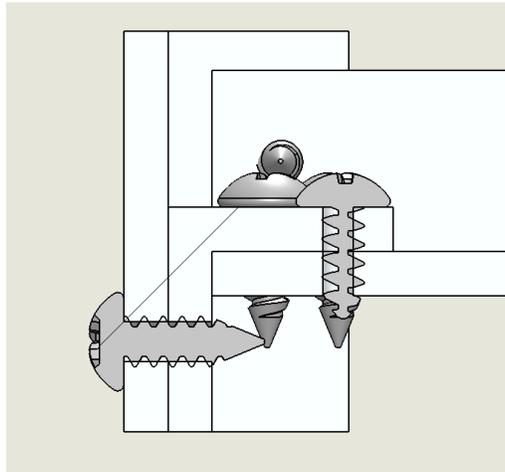


Figura 8-1. Configuración de los tornillos para la base inferior

Según el diagrama de fuerzas ilustrado en la Figura 8-2, los tornillos en posición horizontal están sometidos a un esfuerzo cortante. Estos esfuerzos en los tornillos se

repiten en las 4 esquinas inferiores del diseño, por lo que existen 8 pernos sometidos a cortante por una carga distribuida de 50 N.

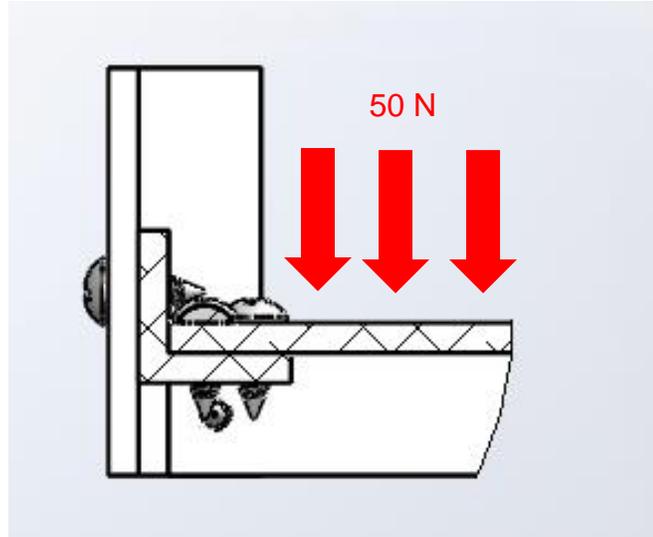


Figura 8-2. Fuerza distribuida en la base de la estructura principal

Dado que los tornillos más esforzados están sometidos a un esfuerzo cortante, la fórmula a utilizar para encontrar cortante máximo según (Budynas & Nisbett, 2008) es

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (8.1)$$

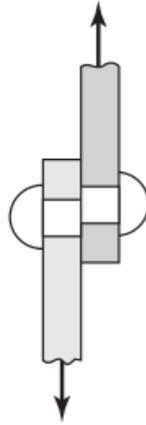


Figura 8-3. Falla por cortante en el tornillo (Budynas & Nisbett, 2008)

En la Figura 8-3, se aprecia el efecto de la falla por cortante en un tornillo, como se mencionó anteriormente el diámetro nominal del mismo es de 2.4884 mm por lo que el esfuerzo por tornillo sería de 1,285 MPa.

$$\tau = \frac{50}{\frac{\pi}{4} \cdot 2.4884^2 \cdot 8} = 1.285 \text{ MPa} \quad (8.2)$$

El material de los tornillos según el fabricante es acero inoxidable 18-8 (McMaster-Carr, 2016), este material es un tipo de acero austenítico que posee 18% de cromo y 8% níquel, dentro de esta clasificación existen diferentes grados algunos de ellos son el 302, 303, 304, etc. (Fastenal Industrial and Construction Supplies, 2005).

Para este caso se utilizó como referencia los esfuerzos máximos de fluencia y resistencia última del acero inoxidable 303, 241 MPa y 601 MPa respectivamente. La ecuación del factor de seguridad para esfuerzos sometidos a cortante puro (Budynas & Nisbett, 2008) es:

$$n = 0.577 \cdot \frac{\sigma_{fluencia}}{\tau_{max}} \quad (8.3)$$

Usando la ecuación 8.3 y los datos mencionados anteriormente (esfuerzo de fluencia y cortante máximo), el factor de seguridad para los tornillos es:

$$n = 0.577 \cdot \frac{241}{1.285} = 108.21 \quad (8.4)$$

Como se aprecia en la ecuación 8.4 el factor de seguridad obtenido es muy alto, lo cual indica que los tornillos no van a fallar con una carga de 50 N, inclusive se podría unas una carga 10 veces mayor.

Una vez demostrado que los tornillos resisten la carga máxima definida, se realizó una simulación para demostrar la resistencia de la estructura de perfiles. El material usado en las simulaciones es aluminio 6061.

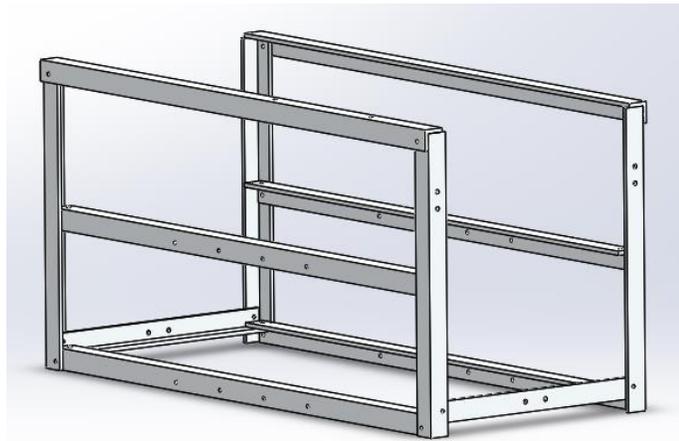


Figura 8-4. Estructura para realizar las simulaciones

En la Figura 8-4, se agregaron dos perfiles para representar la posición donde se encuentran las cámaras, de esta manera se logra una simulación más exacta y se distribuyen las cargas de manera más precisa. En la Figura 8-5 se muestran esta distribución, donde las flechas moradas indican la posición de las cargas y las flechas verdes indican los puntos de fijación para la estructura.

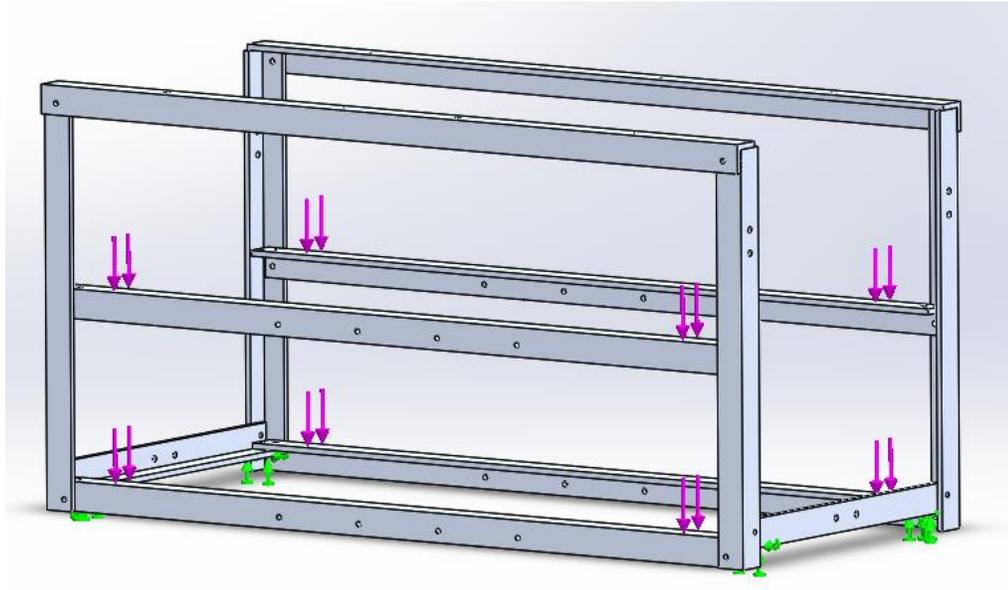


Figura 8-5. Distribución de fuerzas en la simulación

Las simulaciones realizadas fueron para visualizar los esfuerzos de Von Mises, la deflexión y el factor de seguridad de la estructura.

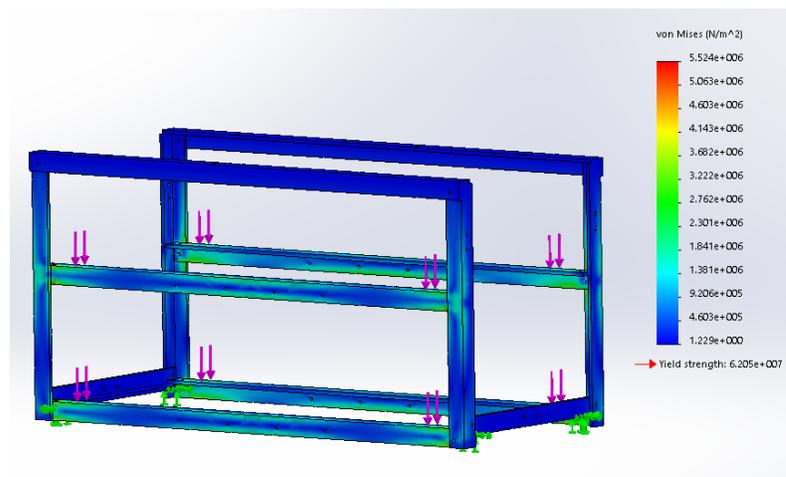


Figura 8-6. Esfuerzos de von Mises en la estructura.

Los esfuerzos en la estructura se muestran en la Figura 8-6, en la cual se puede apreciar que los perfiles más esforzados son los que soportan las cámaras. Los mismos

tienen un valor cercano a 3.22 MPa que en relación con el esfuerzo de fluencia (276 MPa) es mucho menor.

En la Figura 8-7 se presenta la deflexión máxima de los perfiles, este valor máximo es de 0.06250 mm, en la misma figura también se presenta como se vería la deflexión aumentada 654 veces.

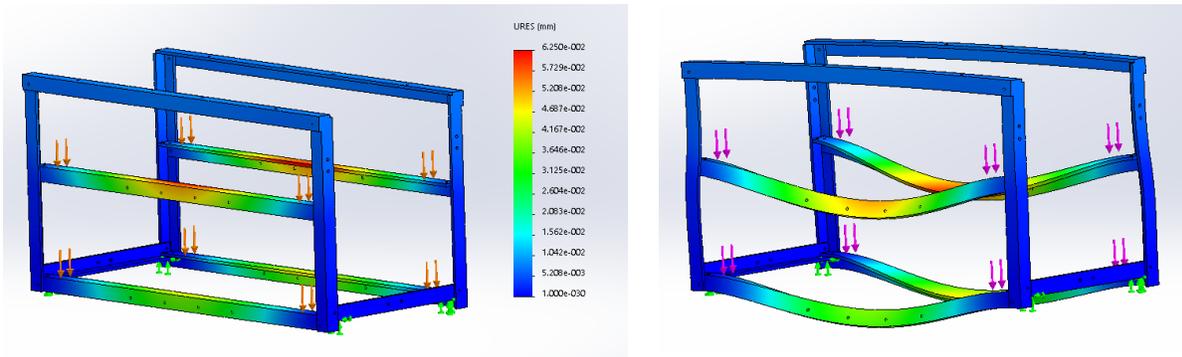


Figura 8-7. Deflexión en la estructura principal

Por último, se determinó el mínimo factor de seguridad para el marco por medio de una simulación, este valor es de del mismo por medio de una simulación. El valor obtenido es de 11 (Figura 8-8), lo que indica que el marco resiste la carga máxima seleccionada.

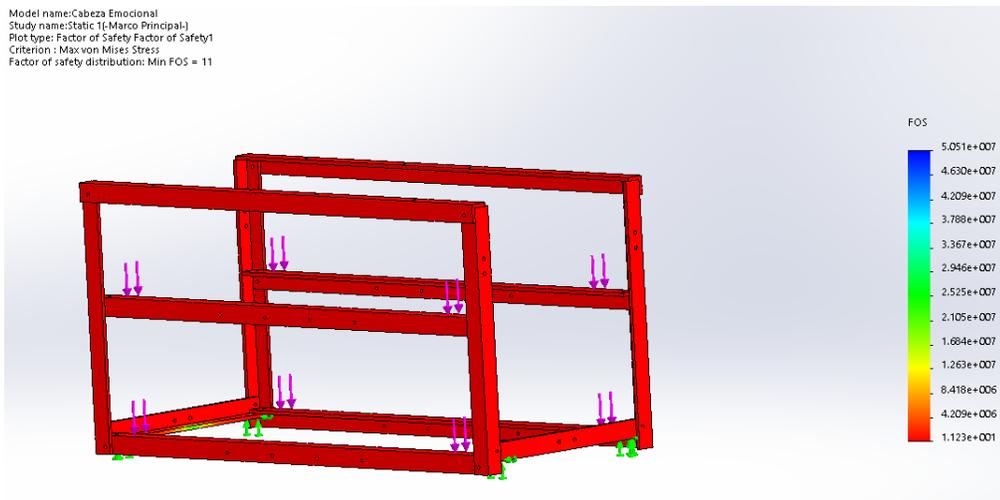


Figura 8-8. Factor de seguridad para el marco principal

Dimensiones para el sistema de visión

La función principal de la cabeza es mapear el ambiente donde se desenvuelve el robot para que este pueda realizar sus funciones. Por lo que en el marco de la cara se debe considerar el espacio para situar las cámaras, como se definió en el capítulo de requerimientos (Figura 4-4). En la Figura 8-9 se muestra que las dimensiones para el sistema de visión, también se aprecia que ninguno de los actuadores afecta el campo visual para las cámaras.

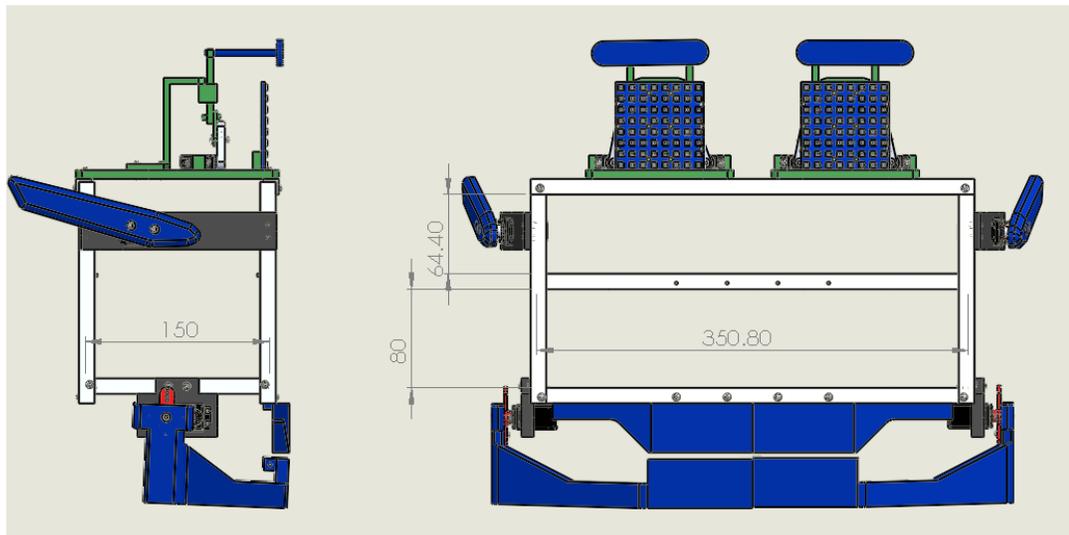


Figura 8-9. Dimensiones (mm) estructura de la cabeza

Ensamble Prototipo 3D

Como parte de la solución se ensambló un prototipo de la cara utilizando piezas impresas en 3D y las partes compradas. Una vez ensamblado el prototipo se analizaron puntos de mejora en el diseño, así mismo se comprobó la rigidez de la estructura la cual asegura que los componentes no se muevan.



Figura 8-10. Prototipo de la cara ensamblado

El componente analizado que puede presentar más problemas es la ceja debido a que tiene varias partes móviles esto hace que existan puntos de fricción que afecten el movimiento de la pieza. Esto quiere decir que la pieza se mueve como se especifica en el diseño, pero hay posibilidades de que el movimiento se vea impedido.



Figura 8-11. Partes móviles de la ceja

También se realizó un renderizado del robot, con todas las partes que fueron diseñadas previamente (Figura 8-12). Con el renderizado del robot se comprobó que las dimensiones de la cabeza, coinciden con el resto del diseño. Esto significa que la cabeza tiene un tamaño proporcional al resto de cuerpo del robot.



Figura 8-12. Renderizado robot humanoide

Representación de emociones

En esta sección se presenta las emociones que se seleccionaron para el robot y como son mapeadas a la cara.

Según lo analizado en la Tabla 3-2, las emociones seleccionadas son sorpresa, tristeza, feliz, energético, calma, confortable. Estas serán simuladas en el robot y se presentan a continuación. El mapeo de las simulaciones se llevó a cabo por medio de la simulación con el prototipo, además se dibujó la forma y el color que tendrán los ojos. Estas se verán de la Figura 8-13 hasta la Figura 8-18.

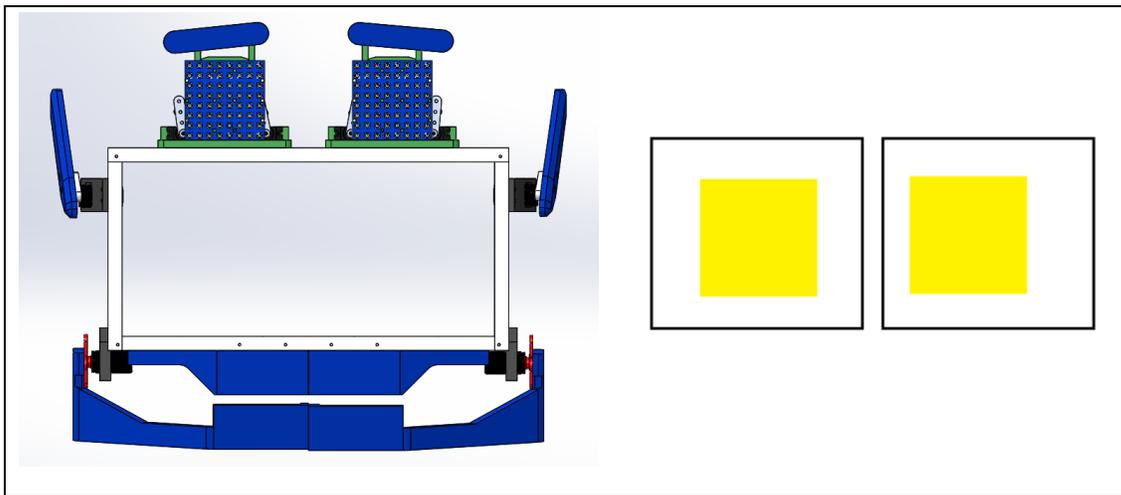


Figura 8-13. Representación felicidad

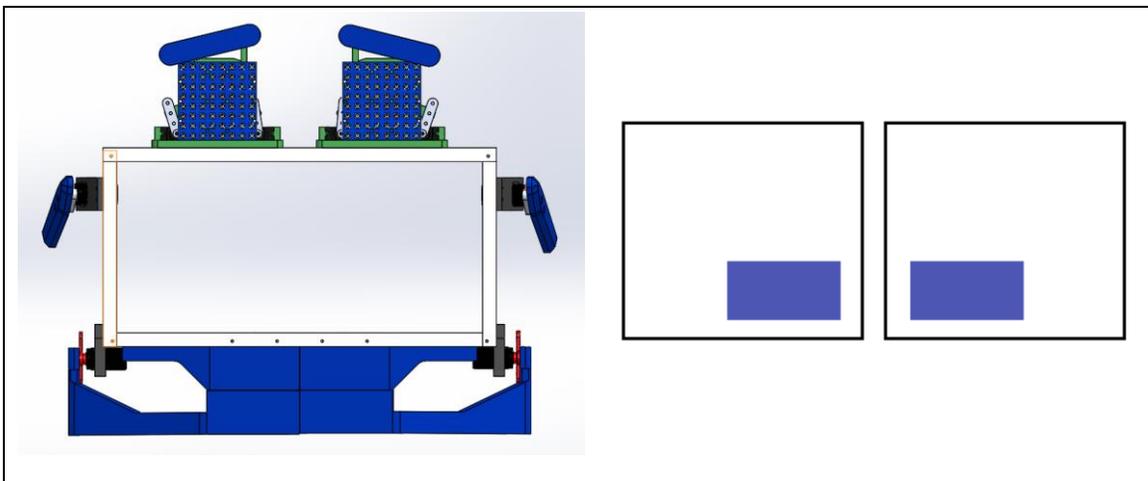


Figura 8-14. Representación tristeza

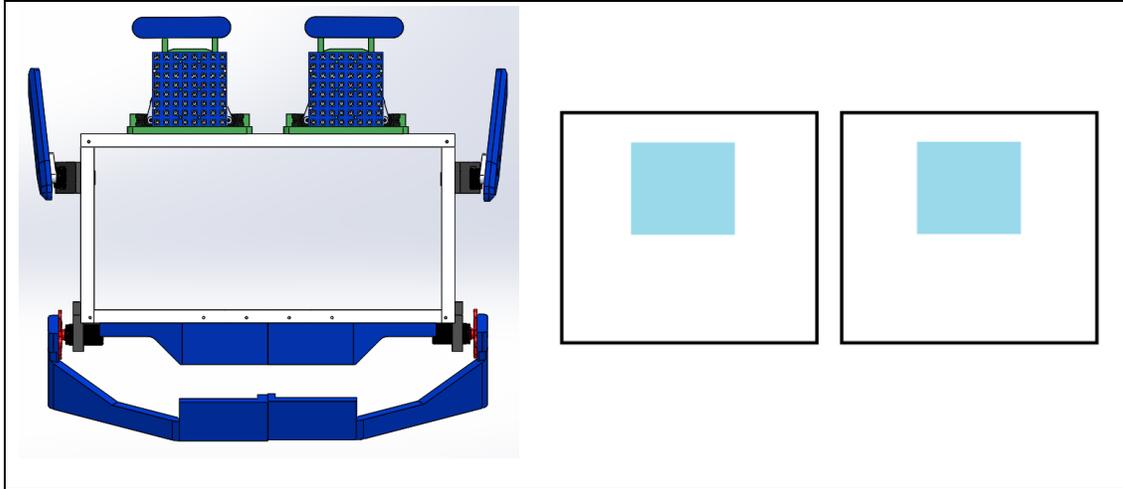


Figura 8-15. Representación sorpresa

Las emociones presentadas hasta ahora tienen movimientos significativos de las partes, además de variar el color, forma y posición de los ojos. Las siguientes emociones a mapear se basan principalmente en la relación con los colores mencionada anteriormente. Estas son representadas de la Figura 8-16 a la Figura 8-18.

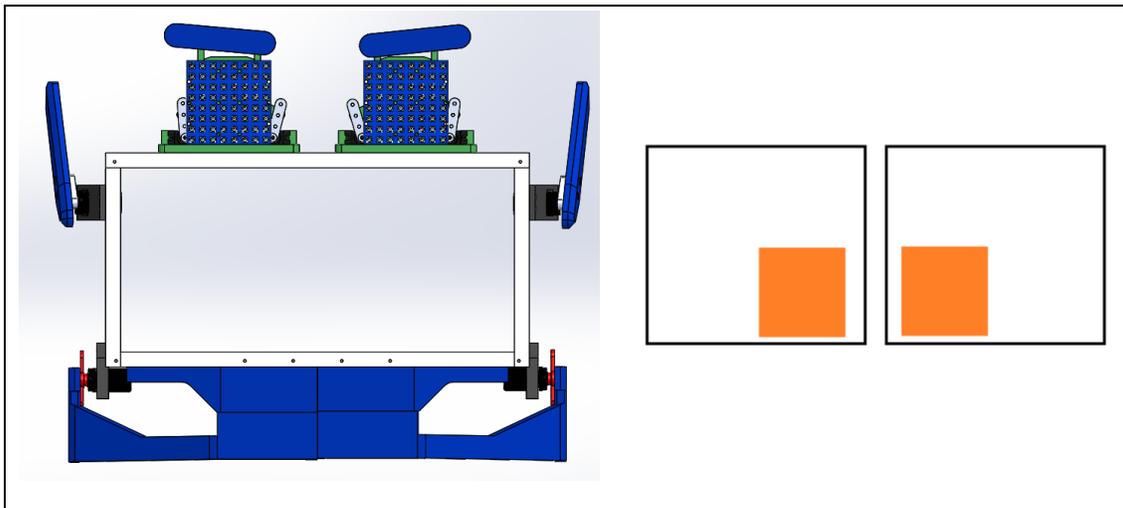


Figura 8-16. Representación energético

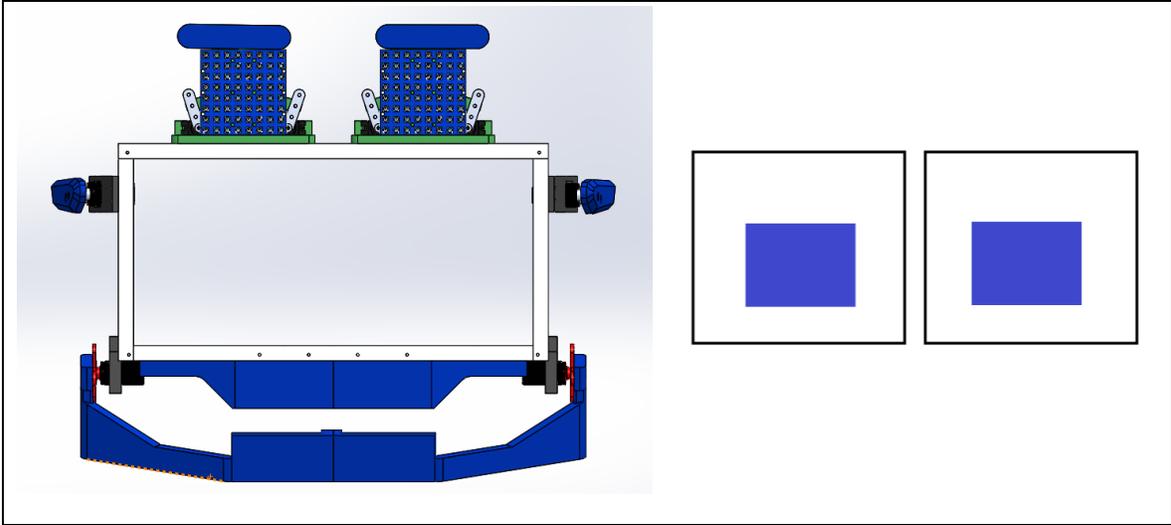


Figura 8-17. Representación calma

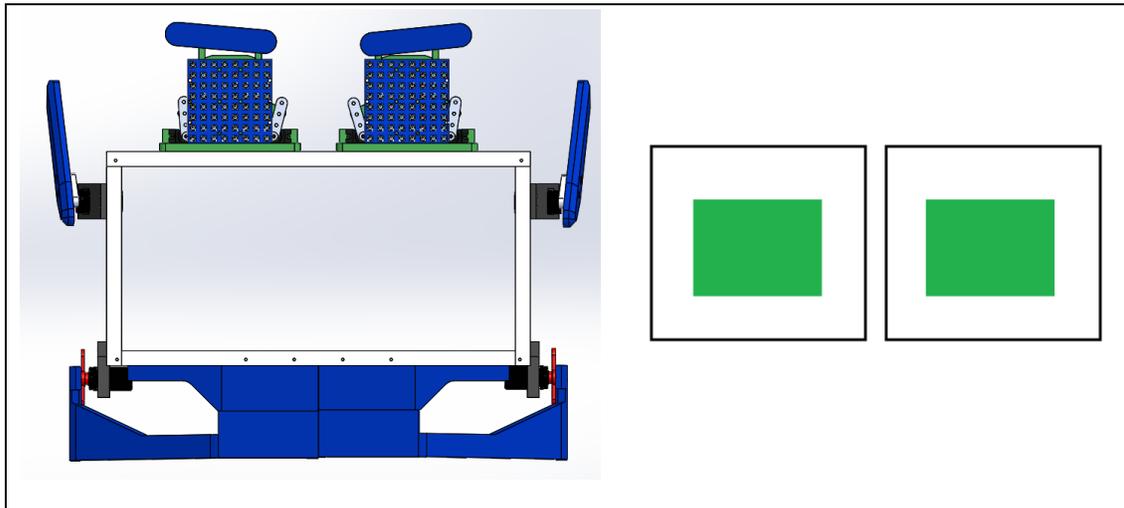


Figura 8-18. Representación confortable

Resultados Sondeo

Como parte de la investigación en el diseño de la cara, se realizó un sondeo para determinar el grado de aceptación de la cara del robot entre las personas. Se realizaron una serie de preguntas en un sondeo en línea, las cuales fueron contestadas por personas ajena al laboratorio y sin conocimiento del proyecto del ARCOS-LAB. En total fueron entrevistadas 38 personas.

Al principio del sondeo se escribió una introducción acerca del robot y el uso que se le pretende dar. Esto con el objetivo de que las personas entiendan el trasfondo de la investigación. Las preguntas se dividieron 3 partes, la primera parte son preguntas concisas acerca de la interacción con robots en general. La segunda parte son enunciados en los cuales se presenta una afirmación, por lo que la persona decide si está de acuerdo o no con el mismo, examinando las imágenes que se le presentan. La tercera parte son preguntas abiertas acerca del diseño del robot y la opinión de cada uno acerca de uso de robots para tareas relacionadas con personas.

Las preguntas realizadas en la primera parte del sondeo fueron las siguientes:

1. ¿Alguna vez ha interactuado con un robot?
2. ¿Alguna vez ha visto en persona a un robot humanoide?
3. ¿Le interesaría interactuar con un robot en el laboratorio?

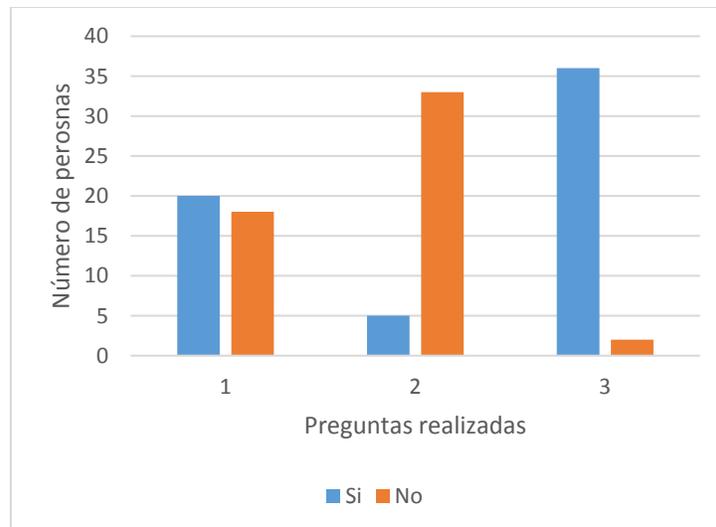


Figura 8-19. Resultados primera parte del sondeo

Como se muestra en la Figura 8-19, el 50% de las personas han interactuado con alguna clase de robot, pero solamente el 13% ha tenido contacto con robots humanoides específicamente. El resultado más significativo es el que muestra que más del 90% de las personas están interesadas en interactuar con un robot. Este resultado indica que existe receptividad por parte del público para experimentar con el robot.

En la segunda parte del sondeo se presentaron ciertos enunciados. Las respuestas a los mismos, fueron hechas con base en las imágenes presentadas en la Figura 8-20 y siguiendo la escala que se muestra a continuación:

1. Totalmente en desacuerdo con el enunciado
2. Un poco en desacuerdo con el enunciado
3. No está ni de acuerdo ni en desacuerdo con el enunciado
4. Un poco de acuerdo con el enunciado
5. Totalmente de acuerdo con el enunciado



Figura 8-20. Imágenes utilizadas en el sondeo en línea

Los enunciados a contestar fueron los siguientes:

1. Este robot me parece agradable
2. Este robot me produce miedo
3. Me sentiría cómodo siendo asistido(a) por este robot en el trabajo
4. Me sentiría cómodo siendo asistido(a) por este robot en labores cotidianas
5. El robot genera en mí un sentimiento positivo.

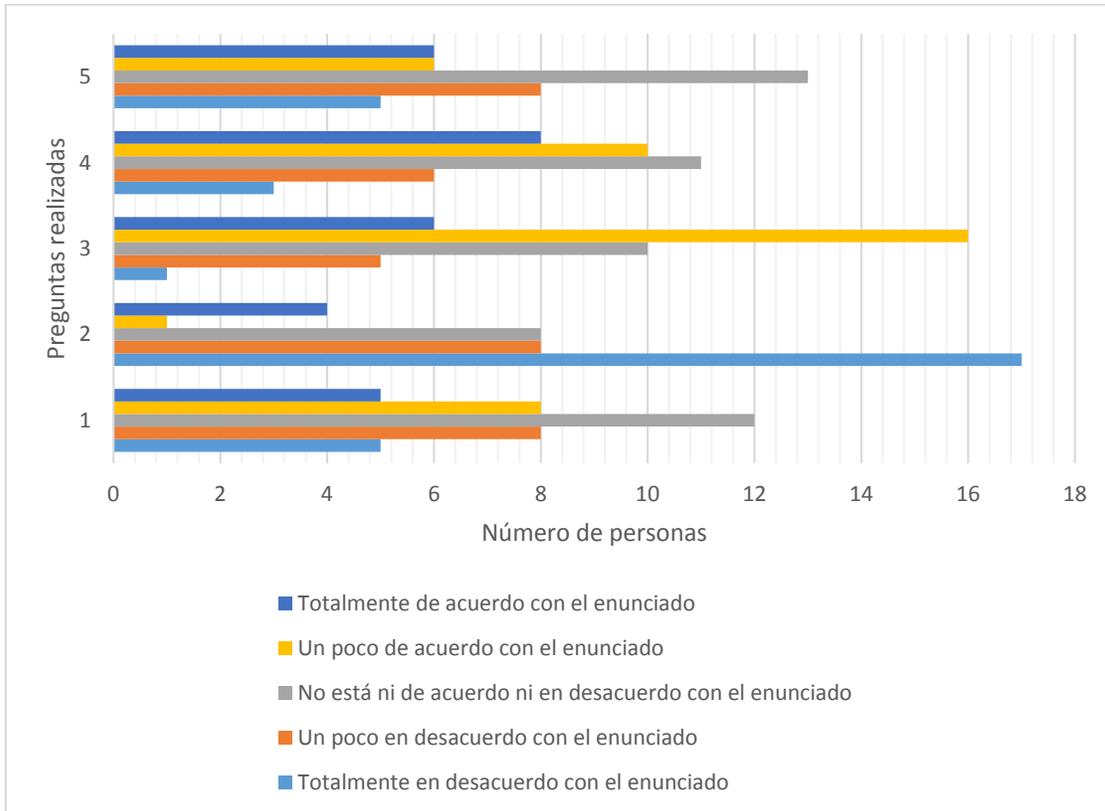


Figura 8-21. Resultados segunda parte del sondeo

La Figura 8-21 muestra los resultados de la segunda parte del sondeo, en la cual se hicieron enunciados respecto al robot humanoide construido en el laboratorio.

El primer enunciado muestra que la mayoría de las personas (32%) tiene una opinión neutral acerca de si el robot es agradable. El resto de encuestados tiene una opinión dividida en partes iguales acerca de si el robot es agradable o no.

El segundo enunciado es utilizado para evaluar si la apariencia del robot causa miedo a quienes lo observan. En este caso el 65% de las personas reporta no tener

sentimientos de miedo causados por el robot. Cabe resaltar que el 13% de los encuestados reporta sentir miedo por causa del robot, mientras que un 21.1% de los encuestados mantiene una opinión neutral.

El quinto enunciado investiga si el robot genera un sentimiento positivo en las personas, con respecto a esto existe una variedad de opiniones. El 34% mantiene una posición neutral, pero también existe un 34% de las personas que tiene una opinión contraria al enunciado. El resto de las personas coincide con lo que se menciona en el enunciado (32%).

Los datos obtenidos de los enunciados mencionados anteriormente (1, 2, 5) ayudan a demostrar que si bien el robot no causa agrado a todas las personas encuestadas, los resultados sugieren que nuestro robot no provoca un fuerte efecto del valle inquietante: lo cual es uno de los objetivos del diseño de la cara del robot

También es importante destacar que estamos conscientes de las variedades en el criterio individual de las personas, por lo que no siempre se puede lograr realizar un diseño que genere el 100% de respuestas positivas entre todos los encuestados, sin embargo se muestra que la mayoría de las personas si tiene una opinión positiva (65%), ya que los neutrales son el 21% y apenas el 13% si tiene miedo del robot. Los resultados son alentadores para mejorar el diseño y aumentar la cantidad de opiniones positivas entre las personas. Tomando en consideración todos los comentarios que dejaron las personas que respondieron el sondeo. Estos comentarios se muestran en página 83 (Apéndice).

Los enunciados 3 y 4 son acerca del uso del robot en tareas normalmente realizadas por personas. Para el enunciado 3 se describe el uso del robot en tareas normalmente realizadas por humanos. Primero abordamos el uso del robot en ambientes laborales. En este caso el 58% de los encuestados está a favor de utilizarlos en ambientes laborales, mientras que el 16% está en contra y un 26% tiene una posición neutral al respecto. Para el caso del enunciado 4 que es acerca de usar el robot en labores domésticas o cotidianas. El grado de aceptación de las personas para usar en el hogar es menor (47%), el porcentaje de personas en contra (29%) es mayor con respecto al enunciado 3 y el porcentaje de encuestados que mantiene una opinión

neutral es similar 29% al enunciado 3. Este cambio entre los 2 enunciados puede deberse a diferentes razones uno de las principales es las personas pueden sentirse intimadas o inseguras de tener un robot en casa realizando o ayudando en tareas domésticas o cotidiana, debido a que es un cambio grande en la rutina de cualquier hogar y las personas pueden temer un mal funcionamiento del robot.

La tercera parte de la encuesta consistió de preguntas con respuesta abierta sobre el diseño del robot y situaciones donde se podría utilizar el robot.

Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

1. ¿Tiene algún comentario o pregunta acerca del robot?
2. ¿Qué agregaría/modificaría para mejorar la apariencia del robot?
3. ¿En qué situaciones utilizaría usted un robot como este?
4. ¿Estaría en contra de utiliza robots en su vida laboral o cotidiana?

Las respuestas a estas preguntas se muestran en el apéndice, pero es necesario destacar que en la pregunta #4 donde el 100% de las personas encuestadas dijeron no estar en contra de utilizar los robots para tareas laborales o cotidianas. Esto muestra que actualmente las personas tienen disposición para realizar tareas en conjunto con robots, además la influencia de la tecnología en el mundo actual hace más fácil que las personas se muestren receptivas al uso de robots.

Por último se realizó un manual de ensamble y programación de actuadores, para que puedan ser utilizados por futuros investigadores. Este manual se muestra en el Capítulo 12.

Capítulo 9 Recomendaciones

Las recomendaciones para el diseño de la cara se presentan en este capítulo.

- Agregar otro grado de libertad a las antenas para que sea posible realizar más movimientos, con esto se puede lograr el mapeo de más emociones para el robot
- Agregar labios a la boca, con esto lo que se quiere es que la mandíbula no tenga el movimiento para abrir y cerrar la boca, sino que además simule todos los movimientos que se realizan con los labios.
- Manufacturar las piezas que se utilizan en la ceja en aluminio para facilitar los movimientos, debido a que las tolerancias van a disminuir y además se pueden utilizar algún tipo de lubricante. Además, las piezas van a tener una mayor resistencia al desgaste.
- Realizar algún proceso químico al PLA para mejorar el acabado de las piezas, sobre todo las piezas que entran en contacto con las personas o las que se observan con facilidad. Esto para mejorar la apariencia del robot.
- Construir algún tipo de carcasa para todo el cuerpo del robot incluyendo la cabeza, de manera que solo se puedan apreciar las partes necesarias del robot. Esto con el fin de que el robot tenga una apariencia más agradable para las personas.
- Validar más emociones mediante la interacción con personas, de esta manera se pueden obtener una retroalimentación de cómo mejorar las partes del robot y cuales emociones no se están siendo comprendidas por las personas.

Capítulo 10 Conclusiones

Se determinó las emociones principales en las personas según diferentes teorías existentes (Izard, Libero, Putman, & Haynes, 1993), (Plutchik, 2001), (Eckman, 1992), también se estableció la relación entre colores y estas emociones, la cual es sumamente útil para ayudar en la representación de emociones.

Se seleccionaron las 6 emociones que se mapearan en el robot (alegría, tristeza, sorpresa, confortable, enérgico, calma) en correspondencia con los escenarios (mesero, asistente de cocina, ensamblador) donde el robot va a interactuar con personas.

Se realizaron bocetos para cada una de las emociones del robot seleccionadas para el robot.

Se diseñó una estructura mecánica capaz de soportar la carga máxima de toda la cabeza (50 N) con un factor de seguridad de 11.

Se diseñó el sistema de alimentación y control para todos los actuadores y el controlador de la cara emocional.

Se construyó un prototipo de la cabeza robot para realizar pruebas de interacción con personas y con base en fotos tomadas al prototipo y fotos del renderizado del robot completo, se realizó un sondeo donde se generaron puntos de mejora para el diseño. Además, se determinó que el 65% de los encuestados no sienten miedo del robot y el 21% mantienen una postura neutral, con lo que se demuestra que el robot no se encuentra dentro del efecto del valle inquietante.

En conclusión, se logró el objetivo planteado de diseñar una cara emocional para el robot humanoide con todos los requerimientos planteados durante en el proyecto. Así mismo se realizó el manual de construcción y funcionamiento para el prototipo.

Capítulo 11 Bibliografía

- 3D Printing. (2016). *What is 3D printing*. Recuperado el 10 de Enero de 2016, de 3D Printing: <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
- 3D Printing from scratch. (s.f.). *Types of 3D Printers or 3D Printing Technologies Overview*. Recuperado el 15 de Enero de 2016, de 3D Printing from Scratch: <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/>
- Adafruit. (2015). *16-Channel Servo Driver*. Recuperado el 13 de Enero de 2016, de Adafruit: <https://www.adafruit.com/products/815>
- Adafruit. (2015). *NeoPixel NeoMatrix 8x8*. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de Adafruit: <https://www.adafruit.com/products/1487>
- Adafruit. (s.f.). *Raspberry Pi 2*. Recuperado el 14 de Enero de 2016, de Adafruit: <https://www.adafruit.com/products/2358>
- Alles, M. (2005). *Diccionario de Comportamientos. Gestion por Competencias: Como descubrir las competencias a travez de los comportamientos*. Buenos Aires: Granica.
- Aluminum 6061. (2012). Recuperado el 25 de Enero de 2016, de MatWeb Material Property Data: http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1b8c06d0ca7c456694c7777d9e10be5b
- Aryananda, L. (s.f.). Recuperado el 8 de Noviembre de 2015, de MERTZ: An active vision head robot for exploring social learning: <http://people.csail.mit.edu/lijin/mertz.html>
- Asociacion Hoteles Riviera Maya. (2014). Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <http://www.portaldeempleodelarivieramaya.org.mx/assets/files/Mesero%20170212.pdf>
- Barturone, A. (2001). *Robotica: Manipuladores y robots móviles*. Marcombo, S.A.
- Bisquerra, R., & Pérez, N. (2007). Las competencias emocionales. *Educación XXI*, 61-82.

- Breazeal, C. (s.f.). *Overview*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de Kismet:
<http://www.ai.mit.edu/projects/sociable/overview.html>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico DF: McGraw Hill.
- Burleigh, T. J., & Schoenherr, J. R. (2015). A reappraisal of the uncanny valley: categorical perception or frequency-based sensitization? *Frontiers in Psychology*.
- Centore, P. (2013). *Conversions Between the Munsell and sRGB Colour Systems*.
- Chaves, I. (2015). *Diseño del torno móvil para un robot humanoide*. Informe de proyecto de graduación, Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Choliz, M., & Tejero, P. (1994). Neodarwinismo y antidarwinismo en la expresión de las emociones en la psicología actual. *Revista de Historia de la Psicología*, 89-94.
- Comision Sistema Nacional de Certificacion de Competencias Laborales. (s.f.). Recuperado el 20 de Enero de 2016, de
<http://www.chilevalora.cl/buscador/index.php/PerfilCompetenciaPdf/crearPdf/idUcl/3444/idSector/14/idSubsector/41/idPerfil/1091>
- Cortes, C. (s.f.). Recuperado el 17 de Enero de 2016, de Color in Motion:
<http://www.mariaclaudiacortes.com/colores/Colors.html>
- Delta Electronics, Inc. (s.f.). *Datasheet DC/DC Power Module*. Obtenido de
http://www.mouser.com/ds/2/632/DS_S48SP05007_10252013-349697.pdf
- Dennis, A. K. (2013). *Raspberry Pi Home Automation with Arduino*. Packt Publishing.
- DiCola, T. (2015). *NeoPixels on Raspberry Pi*.
- Digie-Key. (s.f.). *Delta Electronics S48SP05007NRFB*. Obtenido de
<http://www.digiekey.com/product-detail/en/S48SP05007NRFB/941-1006-ND/2237347>
- Eckman, P. (1992). Are There Basic Emotions? *Psychological Review*, 550-553.
- Ekman, P. (1999). Basic Emotions. *Handbook of Cognition and Emotion*, 45-60.
- Fastenal Industrial and Construction Supplies. (2005). *Technical Reference Guide*.
- Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation. (s.f.). *Care-O-bot 3*. Recuperado el 8 de Noviembre de 2015, de <http://www.care-o-bot.de/en/care-o-bot-3.html>

- Gómez, F. (2015). *Diseño, construcción y puesta en marcha de una base omnidireccional para el laboratorio ARCOS-lab*. Proyecto de graduación de licenciatura, Universidad de Costa Rica.
- HS-311 Standard. (2013). Recuperado el 15 de Enero de 2016, de ServoCity: https://www.servocity.com/html/hs-311_standard.html#.VrIXy_krKM8
- HS-81 Micro. (2013). Recuperado el 14 de Enero de 2016, de ServoCity: https://www.servocity.com/html/hs-81_micro.html#.VrIXyvkrKM8
- iCub. (2004). Recuperado el 8 de Noviembre de 2015, de iCub.org: <http://www.icub.org/>
- IFR. (s.f.). *Service Robots*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, de Federacion Internacional de Robotica: <http://www.ifr.org/service-robots/>
- Izard, C. E., Libero, D. Z., Putman, P., & Haynes, O. M. (1993). Stability of Emotion Experiences and Their Relations to Traits of Personality. *Journal of Personality and Social Psychology*, 847-860.
- Kanda, T., Ishiguro, H., Imai, M., & Ono, T. (2004). Development and Evaluation of Interactive Humanoid Robots. *PROCEEDINGS OF THE IEEE*.
- Kaya, N. (2004). Relationship between color and emotion: A study of college students.
- Mazurkiewicz, J. (13 de Abril de 2007). *Make The Most Of Servo Motor Efficiency*. Recuperado el 20 de Enero de 2016, de Desig World: <http://www.designworldonline.com/make-the-most-of-servo-motor-efficiency/>
- McMaster-Carr. (12 de Enero de 2016). *Phillips Screws for Sheet Metal*. Obtenido de <http://www.mcmaster.com/#standard-pan-head-phillips-sheet-metal-screws/=11cvfr>
- MediRest. (2007). Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <http://www.intraneteurest.cl/HSE/ARCHIVOS/2%20Documentacion%20Corporativa/1.-%20Procedimientos%20Corporativos/1.07%20RRHH/4%20Recl.%20y%20Seleccion/Analisis%20de%20Carga/MEDIREST/Ayudante%20de%20Cocina.pdf>
- Munsell – Hue, Chroma & Value. (2013). Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <https://cmbrittany.wordpress.com/2013/02/26/munsell-hue-chroma-value/>
- Nijdam, N. A. (2005). Mapping emotion to color.
- Plutchik, R. (2001). The Nature of Emotions. *American Scientist*.

- Pollick, F. E. (s.f.). *In Search of the Uncanny Valley*.
- RAE. (2016). *Diccionario Lengua Española*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2015, de <http://dle.rae.es/?id=KneJh2T>
- Raspberry Pi Foundation. (2015). *Power Supply*. Recuperado el 10 de Enero de 2016, de Raspberry Pi:
<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/power/README.md>
- Reed, F. (s.f.). *How Servo Motors Work*. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de Jameco: <http://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>
- Robots*. (2011). Recuperado el 5 de Diciembre de 2015, de Robotics Today:
<http://www.roboticstoday.com/robots/mertz-description>
- Rodriguez, M. (2012). *La rueda de las emociones de R. Plutchik*. Recuperado el 10 de Enero de 2016, de <http://soberanamente.com/la-rueda-de-las-emociones-de-r-plutchik/>
- Roebuck, K. (2012). *3D Printing: High-Impact Emerging Technology- What You Need to Know: Definitions, Adoptions, Impact, Benefits, Maturity, Vendors*. Emereo Publishing.
- Saleh, S. (s.f.). *Roman: RObot-huMAN interaction machine*. Recuperado el 8 de Noviembre de 2015, de Robotics Research Lab: <http://agrosy.informatik.uni-kl.de/index.php?id=roman&L=1>
- Seyama, J., & Nagayasa, R. S. (2014). The Uncanny Valley: Effect of Realism on the Impression of Artificial Human Faces. *Presence*, 337-351.
- Sian, N., Sakaguchi, T., Yokoi, K., Kawai, Y., & Maruyama, K. (s.f.). Operating Humanoid Robots in Human Environments. Recuperado el 6 de Noviembre de 2015, de
http://projects.csail.mit.edu/manipulation/rss06/paper__operating_humanoid_robots_in_human_environments__ee_sian.pdf
- Smith, R. (2005). *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*. CRC Press LLC.

- Song, H., & Kwon, D.-S. (2007). Design of a Robot Head with Arm-type Antennae for Emotional Expression. *International Conference on Control, Automation and Systems*.
- Tallers GGB. (2013). *Perfiles Comerciales Acero Inoxidable*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2015, de <http://www.tallersggb.net/wp-content/uploads/2013/09/Croquis-perfil-angular.jpg>
- Technische Universitat Munchen. (2013). *TUM-Rosie*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2015, de <http://ias.cs.tum.edu/robots/tum-rosie>
- TORO - the Amazing Humanoid Robot*. (2013). Obtenido de Robots Insider: <http://robotsinsider.com/toro-the-amazing-humanoid-robot/>
- Ultimaker. (s.f.). *Ultimaker Original*. Recuperado el 15 de Enero de 2016, de <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-original#specifications>
- Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia*. México: Pearson Educación.

Capítulo 12 Apéndice

Resultados Sondeo

Pregunta 1, 2, 3

Timestamp	¿Alguna vez ha interactuado con un robot?	¿Alguna vez ha visto en persona a un robot humanoide?	¿Le interesaría interactuar con un robot en el laboratorio?
3/17/2016 10:39:28	Si	Si	Si
3/17/2016 12:52:50	Si	No	Si
3/17/2016 13:13:37	No	No	Si
3/17/2016 18:42:57	Si	No	Si
3/18/2016 9:01:17	Si	No	Si
3/18/2016 9:11:08	No	No	Si
3/18/2016 9:26:08	No	No	Si
3/18/2016 9:35:35	No	No	Si
3/18/2016 9:49:10	No	No	Si
3/18/2016 10:38:30	Si	No	Si
3/18/2016 13:49:38	No	No	Si
3/18/2016 14:10:51	Si	Si	Si
3/18/2016 18:18:41	Si	No	Si
3/18/2016 19:08:53	No	No	No
3/18/2016 19:10:15	Si	No	Si
3/18/2016 19:53:54	No	Si	Si
3/18/2016 19:54:30	Si	No	Si
3/18/2016 19:56:42	Si	No	Si
3/18/2016 19:58:18	No	No	Si
3/18/2016 19:58:19	No	No	Si
3/18/2016 20:10:43	Si	No	Si
3/18/2016 20:11:34	Si	Si	Si
3/18/2016 20:44:12	No	No	Si
3/18/2016 20:48:55	No	No	Si
3/18/2016 20:53:15	No	No	Si
3/18/2016 20:57:28	Si	No	Si
3/18/2016 21:05:41	No	No	Si
3/18/2016 21:06:19	Si	No	Si
3/18/2016 21:23:27	No	No	Si
3/18/2016 22:02:29	Si	No	Si
3/18/2016 22:11:11	No	No	Si
3/18/2016 22:29:03	No	No	Si
3/19/2016 7:19:52	No	No	No
3/20/2016 0:25:04	Si	No	Si
3/20/2016 1:25:05	Si	Si	Si
3/20/2016 6:04:09	Si	No	Si
3/20/2016 8:19:12	Si	No	Si
3/20/2016 17:34:59	Si	No	Si

Enunciados 1, 2, 3, 4, 5

Timestamp	Este robot me parece agradable	Este robot me produce miedo	Me sentiría cómodo siendo asistido(a) por este robot en el trabajo	Me sentiría cómodo siendo asistido(a) por este robot en las labores cotidianas	El robot genera en mí un sentimiento positivo
3/17/2016 10:39:28	4	2	4	2	2
3/17/2016 12:52:50	1	3	3	3	1
3/17/2016 13:13:37	3	2	3	4	3
3/17/2016 18:42:57	3	2	4	3	4
3/18/2016 9:01:17	4	2	4	5	3
3/18/2016 9:11:08	4	1	5	4	4
3/18/2016 9:26:08	4	1	4	4	4
3/18/2016 9:35:35	2	1	5	5	5
3/18/2016 9:49:10	5	1	5	5	5
3/18/2016 10:38:30	5	1	4	4	5
3/18/2016 13:49:38	1	5	2	2	2
3/18/2016 14:10:51	3	2	4	4	3
3/18/2016 18:18:41	3	1	3	3	3
3/18/2016 19:08:53	2	1	4	2	1
3/18/2016 19:10:15	1	1	2	3	2
3/18/2016 19:53:54	2	3	2	2	2
3/18/2016 19:54:30	4	5	2	2	1
3/18/2016 19:56:42	1	5	1	1	3
3/18/2016 19:58:18	1	1	3	1	1
3/18/2016 19:58:19	4	3	4	4	4
3/18/2016 20:10:43	3	1	3	3	3
3/18/2016 20:11:34	3	5	2	1	1
3/18/2016 20:44:12	2	3	3	3	3
3/18/2016 20:48:55	4	1	4	5	4
3/18/2016 20:53:15	5	3	5	5	5
3/18/2016 20:57:28	3	2	4	3	2
3/18/2016 21:05:41	2	4	3	3	2
3/18/2016 21:06:19	3	1	4	4	3
3/18/2016 21:23:27	5	1	4	5	5
3/18/2016 22:02:29	5	1	5	4	5
3/18/2016 22:11:11	3	1	4	4	4
3/18/2016 22:29:03	2	3	4	2	3
3/19/2016 7:19:52	4	2	4	5	3
3/20/2016 0:25:04	2	2	4	3	3
3/20/2016 1:25:05	2	1	5	5	3
3/20/2016 6:04:09	3	3	3	3	3
3/20/2016 8:19:12	3	1	3	3	2
3/20/2016 17:34:59	3	3	3	4	2

Pregunta Abierta 1

Timestamp	¿Tiene algún comentario o pregunta acerca del robot?
3/17/2016 10:39:28	Me parece que para que sea más amigable el cuerpo del robot debe ser un poco más estilizado, que se vea más humanoide. El hecho que sea muy cuadrado hace que no sea agradable en un ambiente doméstico
3/17/2016 12:52:50	
3/17/2016 13:13:37	
3/17/2016 18:42:57	
3/18/2016 9:01:17	Muy buen trabajo
3/18/2016 9:11:08	
3/18/2016 9:26:08	
3/18/2016 9:35:35	Espero que su uso sea a corto plazo
3/18/2016 9:49:10	Sería un gran avance su implementación en la industria
3/18/2016 10:38:30	Para que son las mangueras anaranjadas
3/18/2016 13:49:38	No se ve amigable
3/18/2016 14:10:51	
3/18/2016 18:18:41	Parece Robotina
3/18/2016 19:08:53	No entiendo muy bien el concepto de humanoide, mi primera impresión es que simplemente es una máquina con cierta asistencia en una labor, no le veo relación con un humano ni estética ni en alcances motrices
3/18/2016 19:10:15	
3/18/2016 19:53:54	Podría ser más humano
3/18/2016 19:54:30	
3/18/2016 19:56:42	Se vende muy frágil, podría tener problemas de seguridad
3/18/2016 19:58:18	El robot habla? Se debería de mejorar la apariencia física
3/18/2016 19:58:19	Tiene un aspecto poco estable, al menos en las fotos
3/18/2016 20:10:43	
3/18/2016 20:11:34	Que funciones puede ejercer ahora? O planean que ejerza
3/18/2016 20:44:12	
3/18/2016 20:48:55	No
3/18/2016 20:53:15	
3/18/2016 20:57:28	podría ser más atractivo a la vista
3/18/2016 21:05:41	Le agregaría algún tipo de carcasa para mejorar el aspecto
3/18/2016 21:06:19	No
3/18/2016 21:23:27	Emite algún sonido?
3/18/2016 22:02:29	
3/18/2016 22:11:11	
3/18/2016 22:29:03	
3/19/2016 7:19:52	
3/20/2016 0:25:04	Que hace
3/20/2016 1:25:05	¿El diseño tiene algo que ver con la funcionalidad del robot o solo se desea dar una apariencia humanoide?
3/20/2016 6:04:09	
3/20/2016 8:19:12	
3/20/2016 17:34:59	Se le podría dar un aspecto más agradable y compatible con la labor que se le podría dar

Pregunta Abierta 2

Timestamp	¿Qué agregaría/modificaría para mejorar la apariencia del robot?
3/17/2016 10:39:28	Las cabeza del robot me gusta, pero hace falta un poco más de estética al cuerpo del robot.
3/17/2016 12:52:50	Cubrir la estructura.
3/17/2016 13:13:37	
3/17/2016 18:42:57	
3/18/2016 9:01:17	Me gustaria que el cuerpo estuviera mas cubierto. Seria mas agradable
3/18/2016 9:11:08	Ocultaría las partes internas del cuerpo del robot y buscaría implementar geometrías más redondas en las esquinas.
3/18/2016 9:26:08	Le agregaría ojos y boca a la cara para que sea más amigable con el usuario.
3/18/2016 9:35:35	Mejoraría la parte estética
3/18/2016 9:49:10	Talvez un poco mas de color para hacerlo llamativo.
3/18/2016 10:38:30	Nada
3/18/2016 13:49:38	Que se vea menos industrial, mas amigable
3/18/2016 14:10:51	No me gustan las mangueras naranja
3/18/2016 18:18:41	Más rostro
3/18/2016 19:08:53	Mejoraría la estética para hacerlo más agradable y así que psicológicamente generar mayor aceptación por parte del usuario
3/18/2016 19:10:15	Hacer un diseño más ovalado
3/18/2016 19:53:54	
3/18/2016 19:54:30	
3/18/2016 19:56:42	Un tipo amadura
3/18/2016 19:58:18	Un chasis más cerrado y hacerlo más delgado para comodidad de manejo en espacios pequeños
3/18/2016 19:58:19	Añadir color (al cuerpo del robot)
3/18/2016 20:10:43	Colores, tamaño más compacto, mejorar el "rostro"
3/18/2016 20:11:34	Un chasis que cubra la circuitería interna
3/18/2016 20:44:12	Mejoraría la apariencia
3/18/2016 20:48:55	No modificaría nada
3/18/2016 20:53:15	
3/18/2016 20:57:28	que el "tronco" sea más cerrado y la cara más clara (ojos p.ej.)
3/18/2016 21:05:41	El diseño exterior,
3/18/2016 21:06:19	Que exteriormente no sea tan cuadrado, a la hora de diseñar el chasis
3/18/2016 21:23:27	Luces en los paneles
3/18/2016 22:02:29	
3/18/2016 22:11:11	
3/18/2016 22:29:03	El cuerpo es una caja, trataría de hacerlo más agradable a la vista.
3/19/2016 7:19:52	
3/20/2016 0:25:04	Tamaño y diseño
3/20/2016 1:25:05	Si lo que se desea es dar una apariencia humanoide agregaría la capacidad de emitir por ejemplo una sonrisa a través de una pantalla lo que provocaría que mas personas se sientan identificadas con el robot
3/20/2016 6:04:09	Un rostro, estilo Eve de Wall-e
3/20/2016 8:19:12	Modificaría apariencia para hacerlo mas humano.
3/20/2016 17:34:59	Disimular el tronco del mismo, algo no tan simétrico

Pregunta Abierta 3

Timestamp	¿En qué situaciones utilizaría usted un robot como este?
3/17/2016 10:39:28	Como un asistente para sujetar componentes en un taller por ejemplo, o en labores domésticas que no tenga un riesgo considerable.
3/17/2016 12:52:50	Ensamblé
3/17/2016 13:13:37	
3/17/2016 18:42:57	
3/18/2016 9:01:17	Para cargar objetos pesados o realizar labores repetitivas y aburridas
3/18/2016 9:11:08	Asistencia en trabajos manuales en manufactura.
3/18/2016 9:26:08	En labores de transporte o que se requieran habilidades manuales.
3/18/2016 9:35:35	
3/18/2016 9:49:10	Para cuestiones laborales, laborales y del día a día
3/18/2016 10:38:30	Ni idea
3/18/2016 13:49:38	Trabajos rutinarios, manejo de herramientas
3/18/2016 14:10:51	Prácticamente para cualquier cosa que esté en sus capacidades
3/18/2016 18:18:41	Labores mecánicas
3/18/2016 19:08:53	Para acelerar procesos de trabajo
3/18/2016 19:10:15	Tareas cotidianas o de trabajo pesado.
3/18/2016 19:53:54	Limpieza
3/18/2016 19:54:30	
3/18/2016 19:56:42	Depende de lo q pueda hacer, labores domésticas?
3/18/2016 19:58:18	Ensamblador industrial
3/18/2016 19:58:19	Labores domésticas
3/18/2016 20:10:43	Apoyo a adultos mayores, ayudante de trabajos caseros, manipular productos peligrosos, trabajo en atmósferas peligrosas
3/18/2016 20:11:34	Transporte de cargas livianas, transporte de materiales muy calientes o muy fríos, almacenamiento y reproducción de estándares para actividades repetitivas (que guíe paso a paso a una persona como hacer trabajos que le mismo robot no pueda hacer)
3/18/2016 20:44:12	Espantar a mi suegra
3/18/2016 20:48:55	Lo utilizaría como ayuda para persona con discapacidad o ciudadanos de oro que necesiten asistencia en sus diarias
3/18/2016 20:53:15	Trabajo
3/18/2016 20:57:28	labores domésticas
3/18/2016 21:05:41	Tareas de recolección, alcanzar cosas, guardar y decir recados, limpieza
3/18/2016 21:06:19	
3/18/2016 21:23:27	Para cualquier actividad laboral o doméstica
3/18/2016 22:02:29	
3/18/2016 22:11:11	
3/18/2016 22:29:03	En situaciones de trabajo, para labores cotidianas la forma del robot considero que no sería la mejor.
3/19/2016 7:19:52	
3/20/2016 0:25:04	Labores cotidianas
3/20/2016 1:25:05	un robot como ese no se que labores puede realizar, pero podría ser como dar la receta a pacientes de hospital, entre otras funciones que requieran interacción con humanos, ya que para algo se le da esa apariencia, si no no sería necesaria.
3/20/2016 6:04:09	
3/20/2016 8:19:12	Labores diarias en el hogar.
3/20/2016 17:34:59	Líneas de automatización, enseñanza

Pregunta Abierta 4

Timestamp	¿Estaría usted en contra de utilizar robots en su vida laboral o cotidiana?
3/17/2016 10:39:28	En lo absoluto.
3/17/2016 12:52:50	No
3/17/2016 13:13:37	no
3/17/2016 18:42:57	No
3/18/2016 9:01:17	No, ya son utilizados en muchas actividades.
3/18/2016 9:11:08	No
3/18/2016 9:26:08	No.
3/18/2016 9:35:35	No
3/18/2016 9:49:10	No.
3/18/2016 10:38:30	No
3/18/2016 13:49:38	No, me parece una buena herramienta
3/18/2016 14:10:51	No
3/18/2016 18:18:41	No estaría en contra
3/18/2016 19:08:53	No del todo, tendría que sustentarse muy bien la necesidad del mismo
3/18/2016 19:10:15	No
3/18/2016 19:53:54	No
3/18/2016 19:54:30	
3/18/2016 19:56:42	No, si no presentan riesgo de incendio pues quedaria solo en la casa recargandose
3/18/2016 19:58:18	No
3/18/2016 19:58:19	No
3/18/2016 20:10:43	No
3/18/2016 20:11:34	Para nada. Mas Bie me gustaría
3/18/2016 20:44:12	No
3/18/2016 20:48:55	No
3/18/2016 20:53:15	No
3/18/2016 20:57:28	sería muy diferente pero no estaría en desacuerdo
3/18/2016 21:05:41	Si los utilizaría
3/18/2016 21:06:19	No, este diseño está bien. Estaría en contra solo si fuera un humanoide que se vea idéntico a un humano (piel , pelo , etc). Creo que los robots deben verse como robots y no como humanos
3/18/2016 21:23:27	no
3/18/2016 22:02:29	No
3/18/2016 22:11:11	
3/18/2016 22:29:03	No.
3/19/2016 7:19:52	
3/20/2016 0:25:04	No
3/20/2016 1:25:05	Jamás, los robots llegan a simplificar la vida de los humanos
3/20/2016 6:04:09	No
3/20/2016 8:19:12	no
3/20/2016 17:34:59	no estoy en contra

Planos Mecánicos

#	PARTE	DESCRIPCION	CNT
1	Item 1	Perfil 35.08 cm	2
2	Item 2	Perfil 15 cm	2
3	Item 3	Perfil 18 cm	2
4	Item 4	Perfil 18 cm	2
5	Item 5	Perfil 36 cm	2
6	Item 6	Base Ojos-Cejas	2
7	Item 7	Biela	2
8	Item 9	Soporte Ceja Ranura	2
9	Item 10	Soporte Ceja Pivote	2
10	Item 8	Soporte Ceja	2
11	Item 11	Ceja	2
12	Item 12	Base Servo Antena	2
13	Item 13	Antena Derecha	1

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		TITLE: Ensamble	
DO NOT SCALE DRAWING		FINISH: As machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	DWG NO.	
DRAWN: Jose Herrera	Herrera, J	3-2-16	Varios	Cabeza Emocional	A4
APPVD: Federico Ruiz	Ruiz, F	8-2-16		SCALE:1:4	SHEET 1 OF 24

#	Parte	DESCRIPCION	CNT
14	Item 14	Antena Izquierda	1
15	Item 15	Basa Servo Mandibula	2
16	Item 16	Mandibula Inferior Izquierda	1
17	Item 17	Mandibula Inferior Derecha	1
18	Item 18	Mandibula Superior Derecha	1
19	Item 19	Mandibula Superior Izquierda	1
20	Item 20	Biela	2

		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		TITLE: Ensamble	
DO NOT SCALE DRAWING		FINISH: As machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	DWG NO.	
DRAWN: Jose Herrera	Herrera, J	3-2-16	Varios	Cabeza Emocional	A4
APPVD: Federico Ruiz	Ruiz, F	8-2-16		SCALE:1:5	SHEET 2 OF 24

#	Parte	DESCRIPCION	CNT
21	92470A110	Tornillo para lámina de metal #4 L 1/2"	32
22	92470A109	Tornillo para lámina de metal #4 L5/16"	36
23	91772A148	Tornillo Phillips #6 L1/2"	4
24	92949A148	Tornillo Allen #6 L1/2"	4
25	ServoMotor HS-81-HITEC	Servomotor	4
26	NeoPixel NeoMatrix-1487-Adafruit	Matriz de leds	2
27	Single Servo Arm-525116-Actobotics	Brazo servomotor	6
28	ServoMotor HS-311-HITEC	Servomotor	4
29	X Horn-HITEC	Acople Servomotor	2

DETAIL I
SCALE 1 : 2

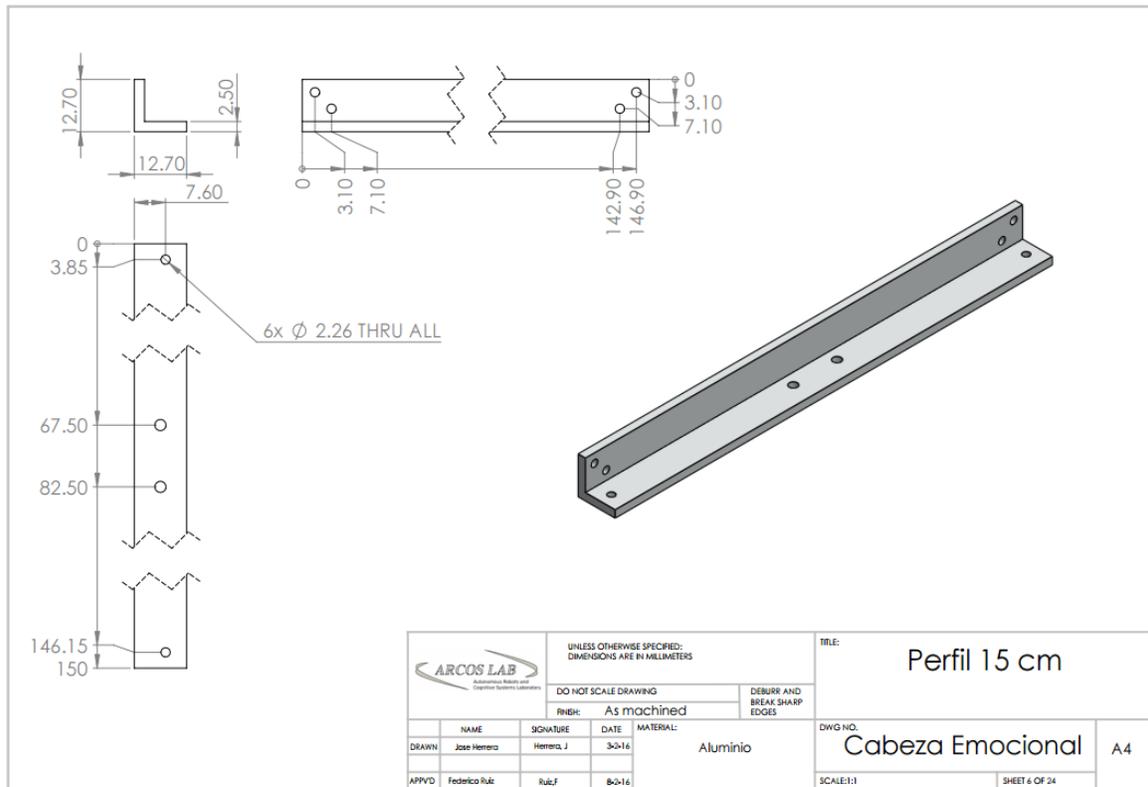
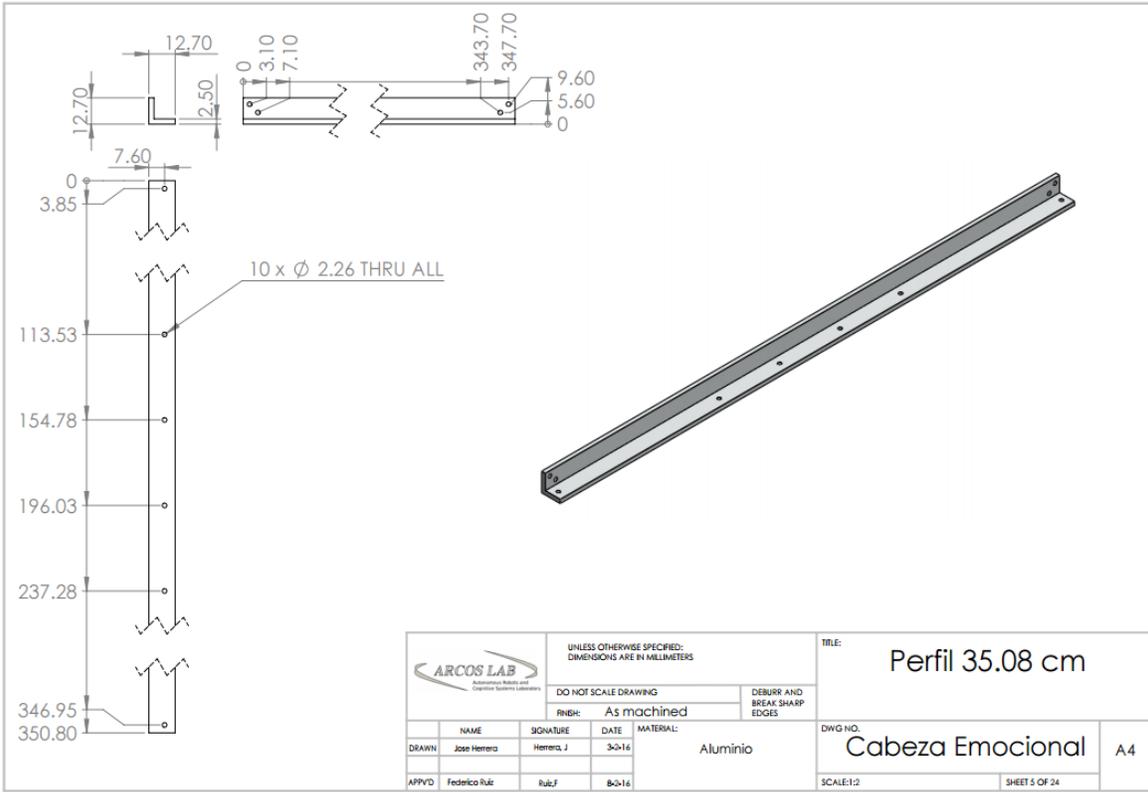
DETAIL G
SCALE 1 : 2

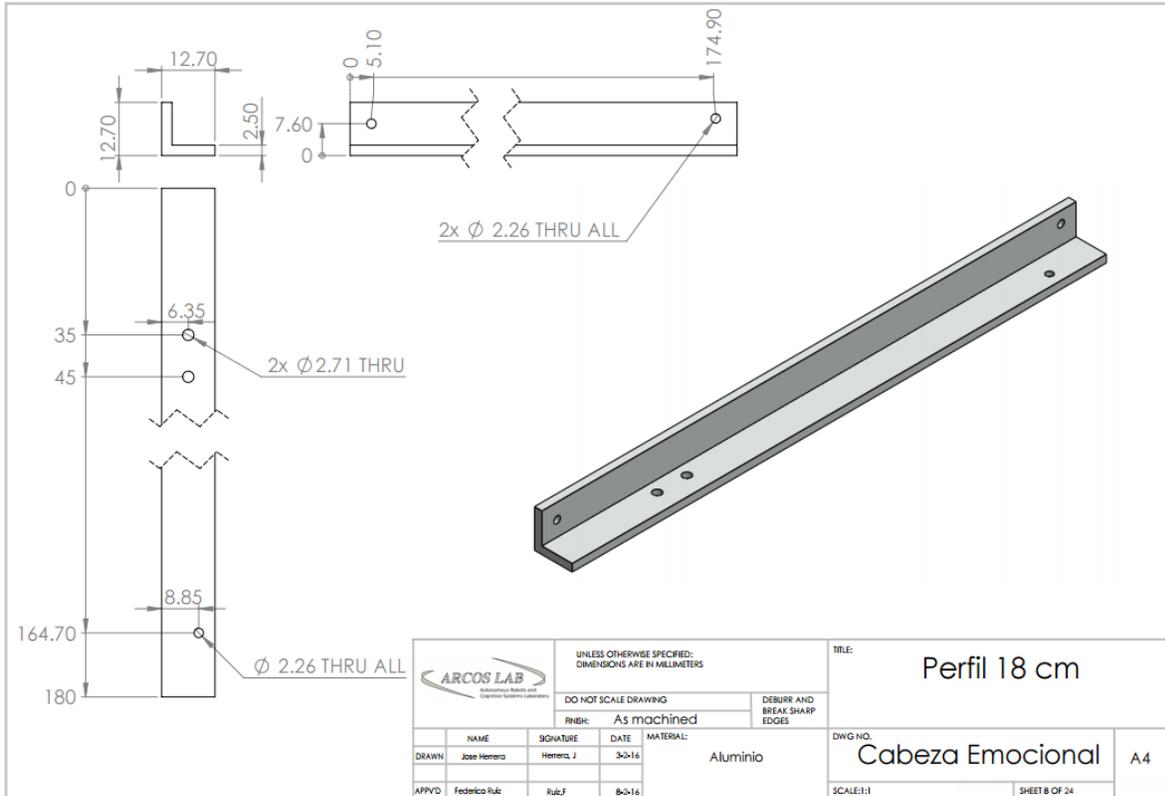
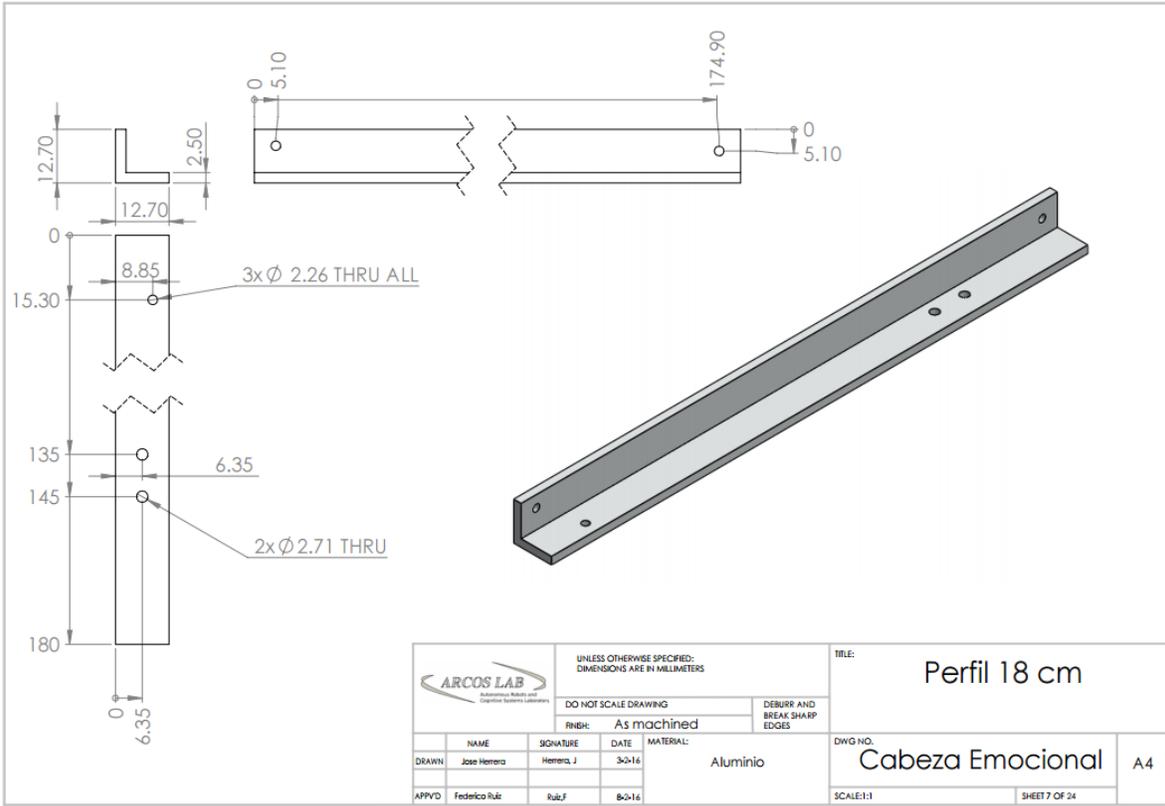
		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		TITLE: Ensemble	
DO NOT SCALE DRAWING		FINISH: As machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	DWG NO.	
Jose Herrera	Herrera, J	3-2-16	Varios	Cabeza Emocional	A4
APPVD	Federico Rubi	Rubi, F	8-2-16	SCALE: 1:4	SHEET 3 OF 24

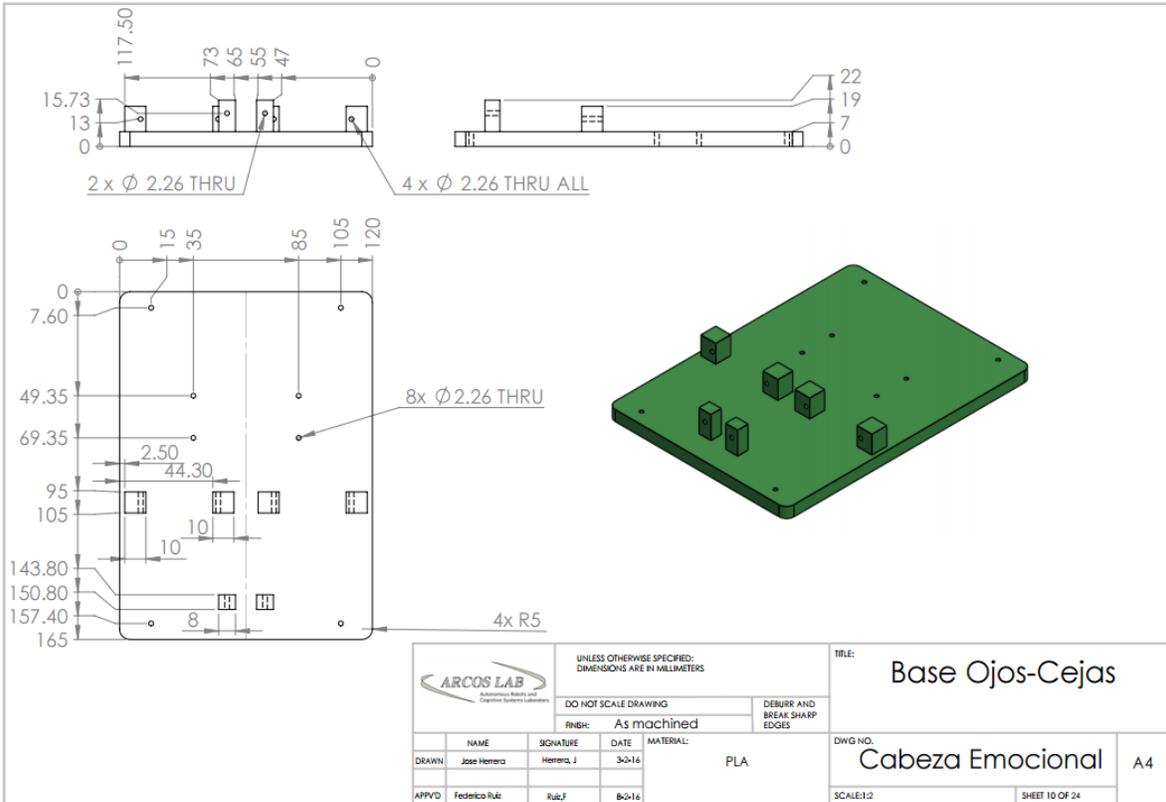
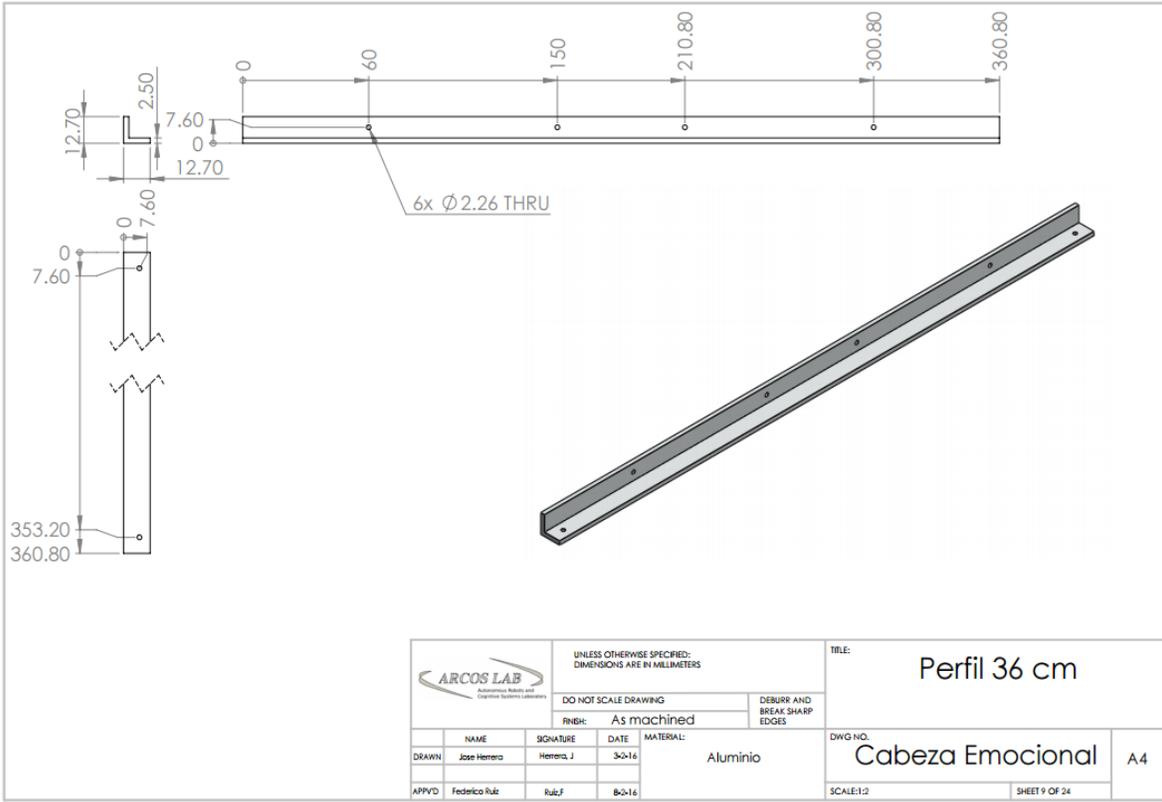
DETAIL L
SCALE 1 : 2

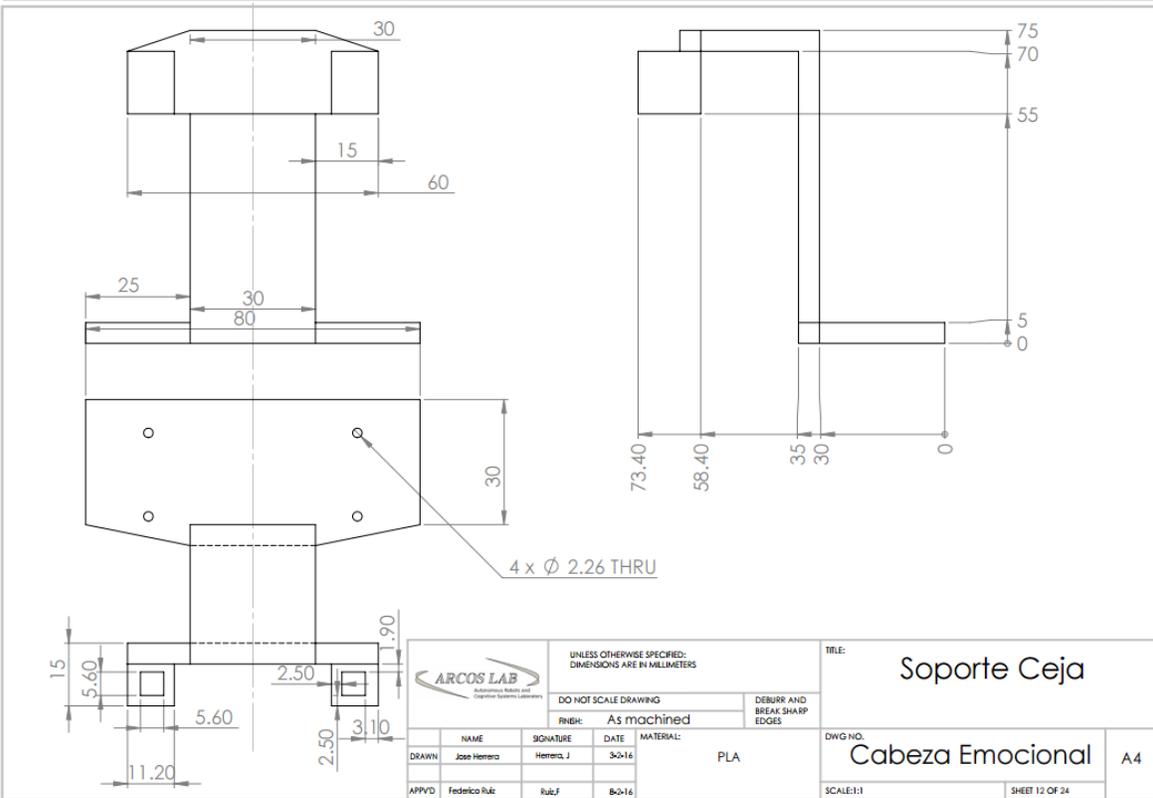
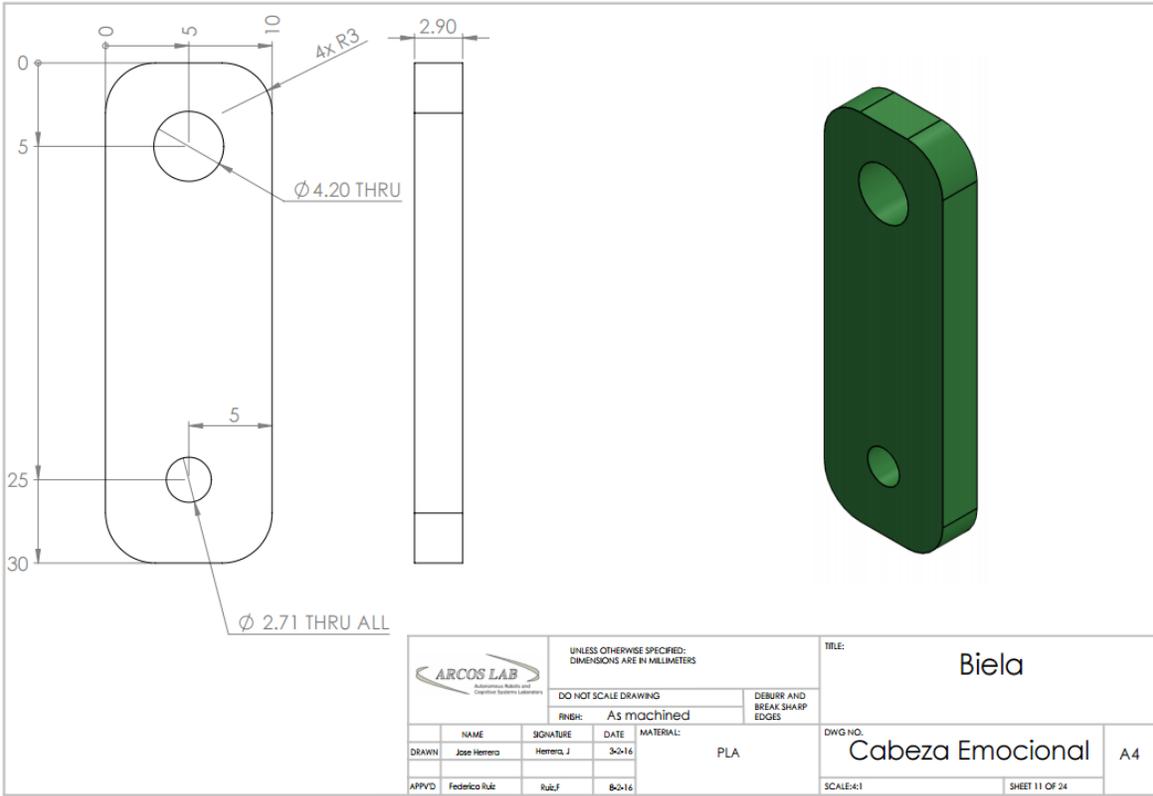
SECTION M-M
SCALE 1 : 2

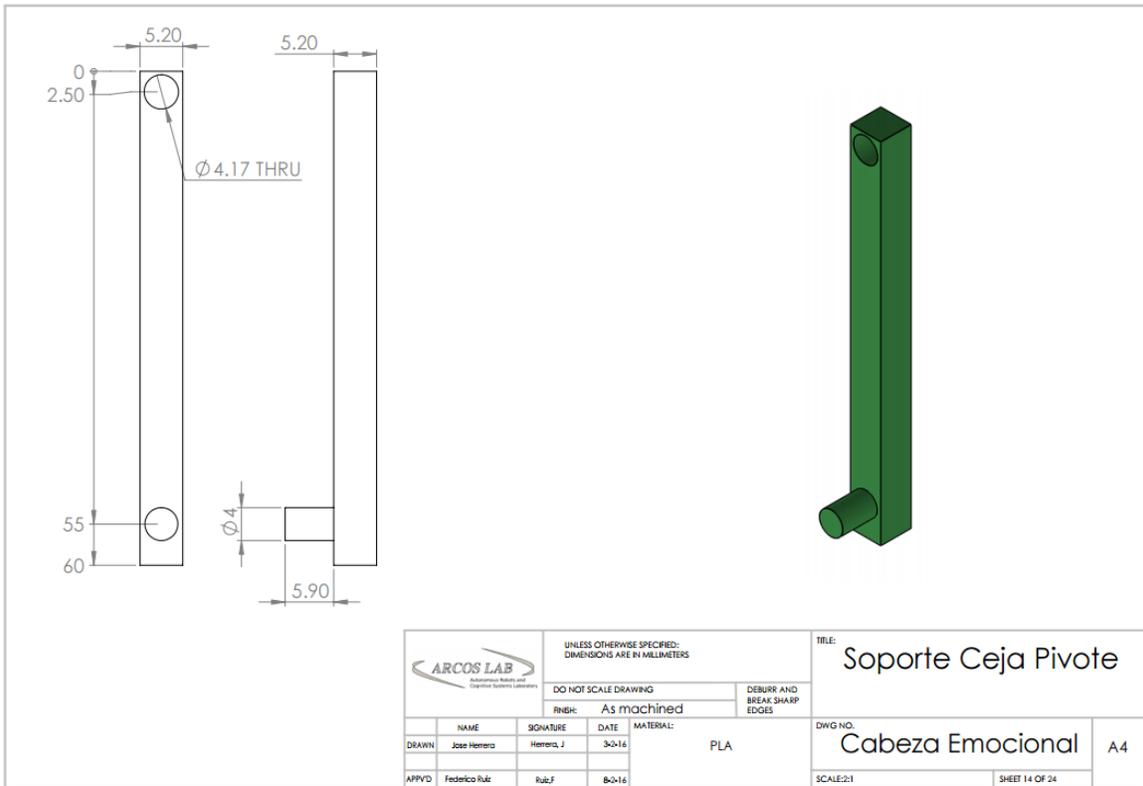
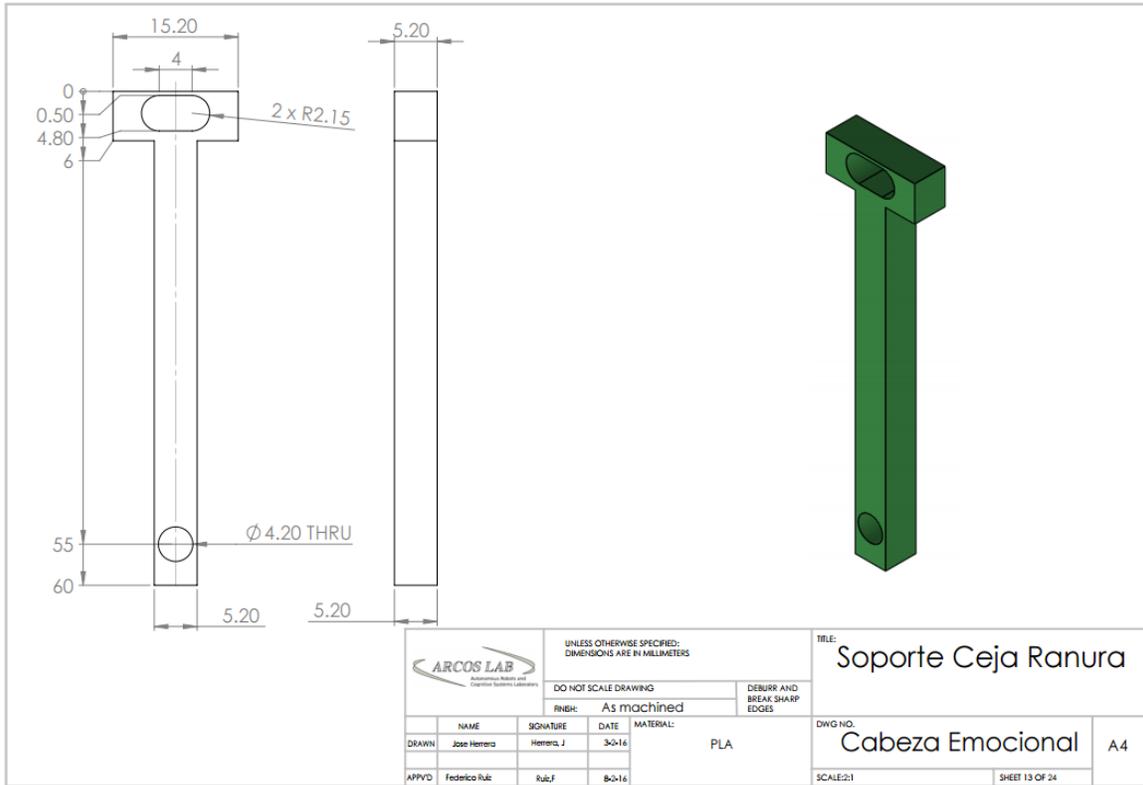
		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		TITLE: Ensemble	
DO NOT SCALE DRAWING		FINISH: As machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
NAME	SIGNATURE	DATE	MATERIAL:	DWG NO.	
Jose Herrera	Herrera, J	3-2-16	Varios	Cabeza Emocional	A4
APPVD	Federico Rubi	Rubi, F	8-2-16	SCALE: 1:4	SHEET 4 OF 24

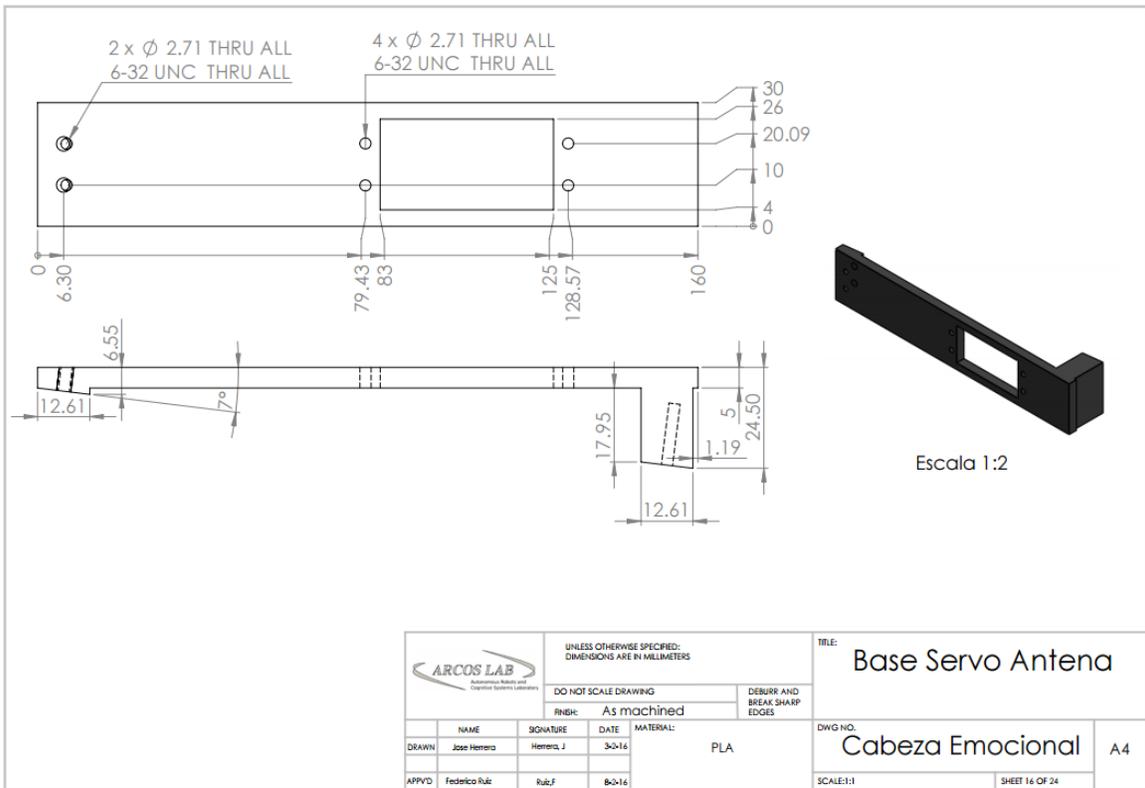
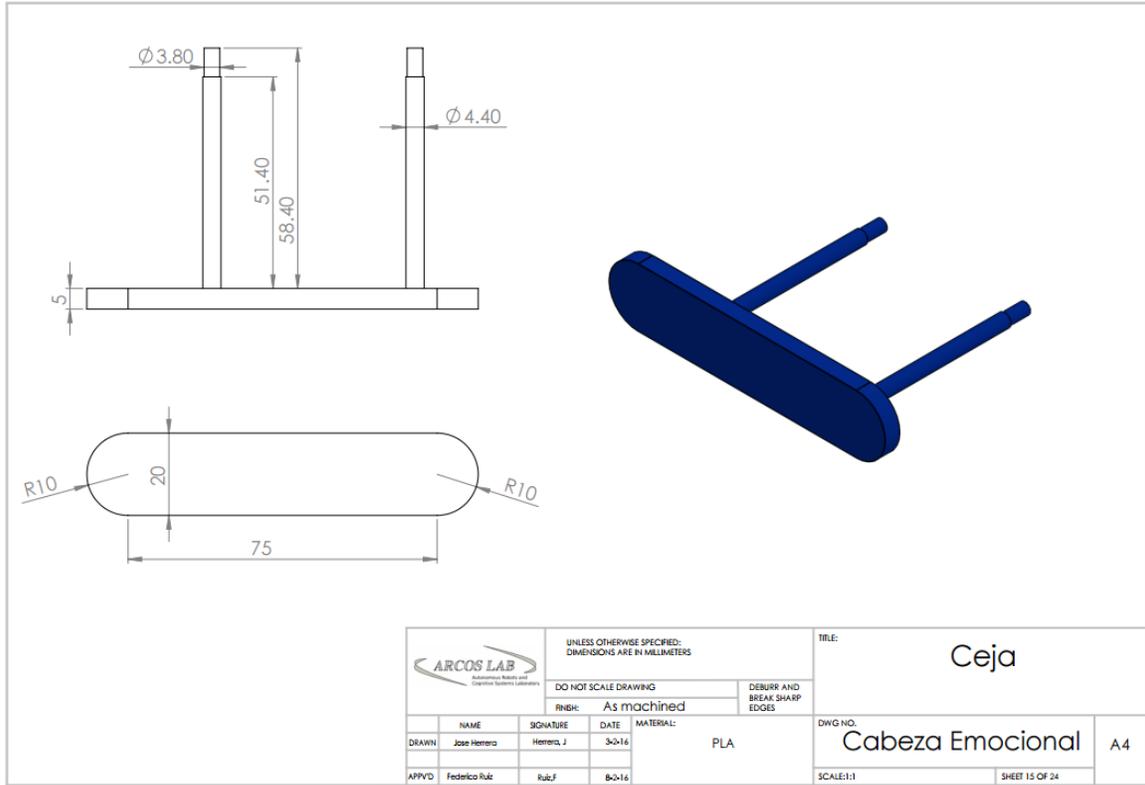


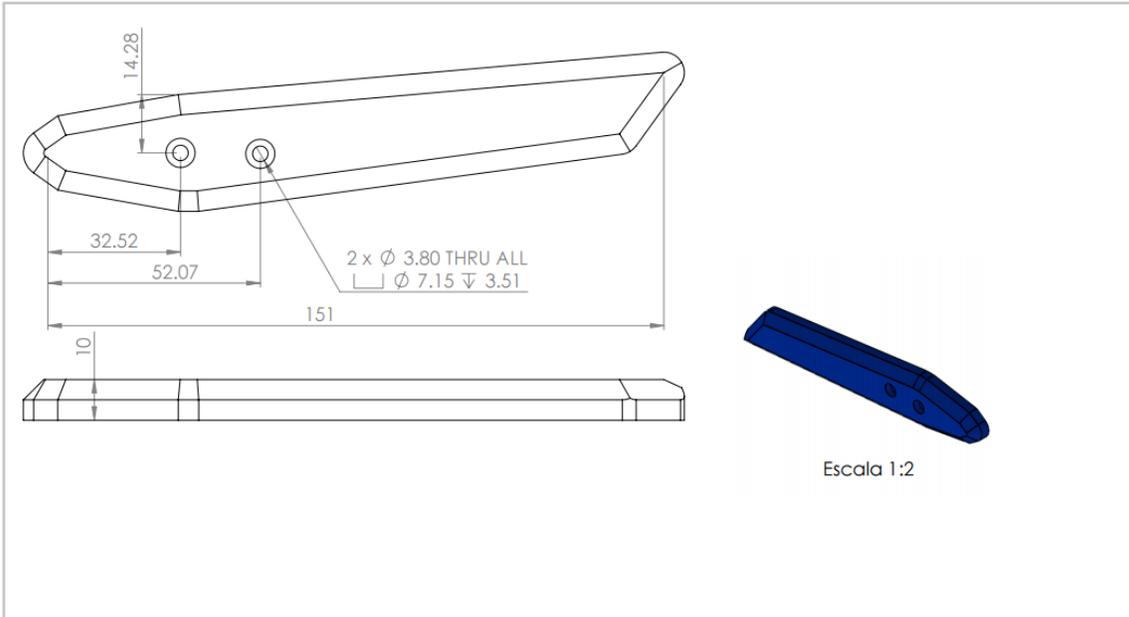




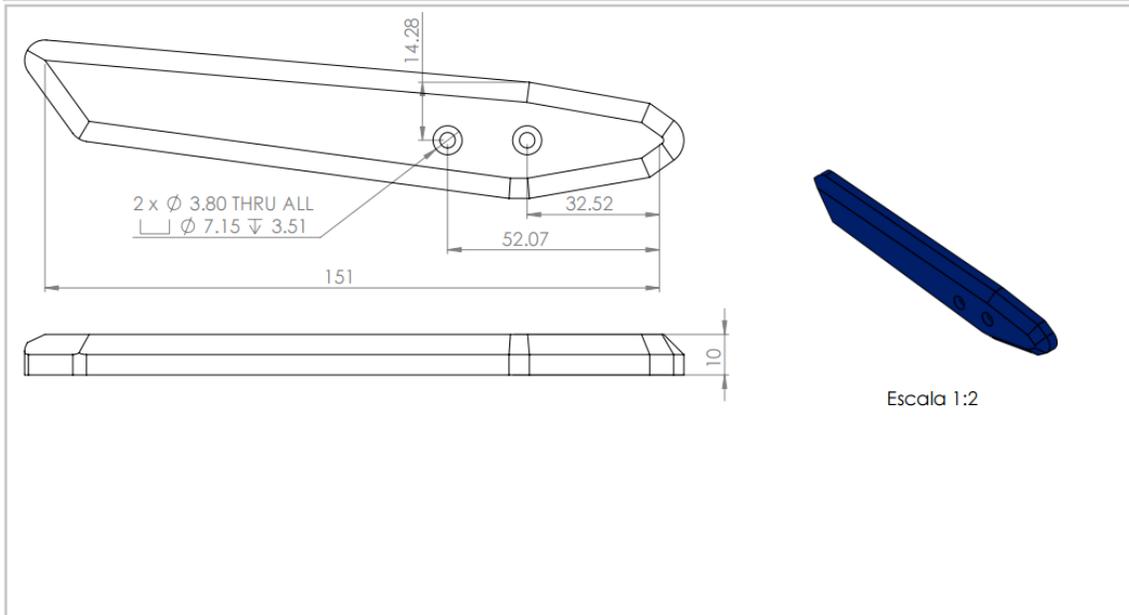




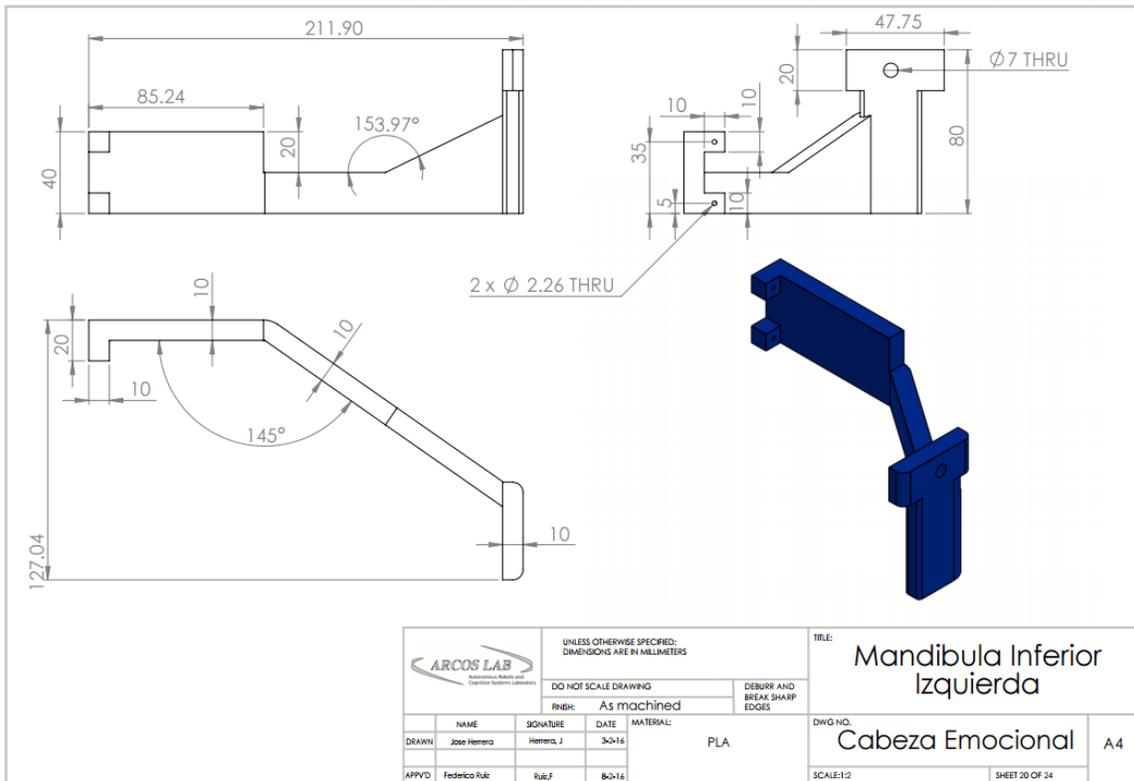
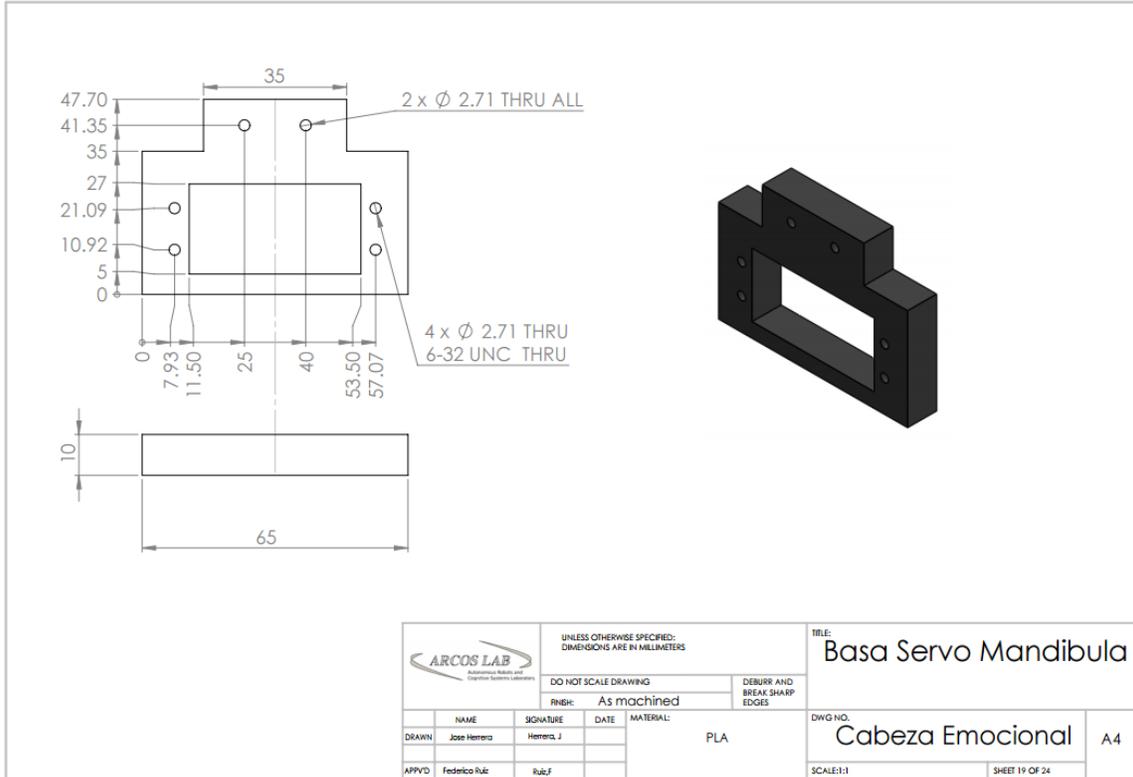


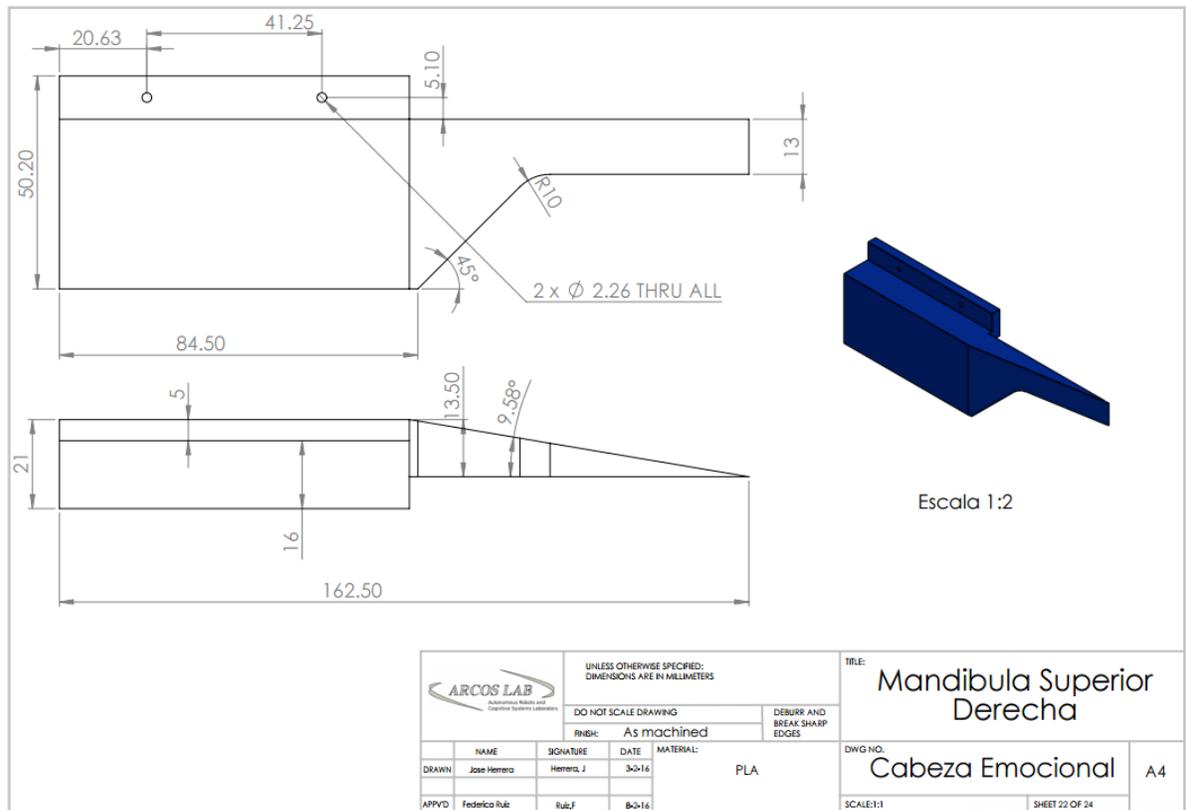
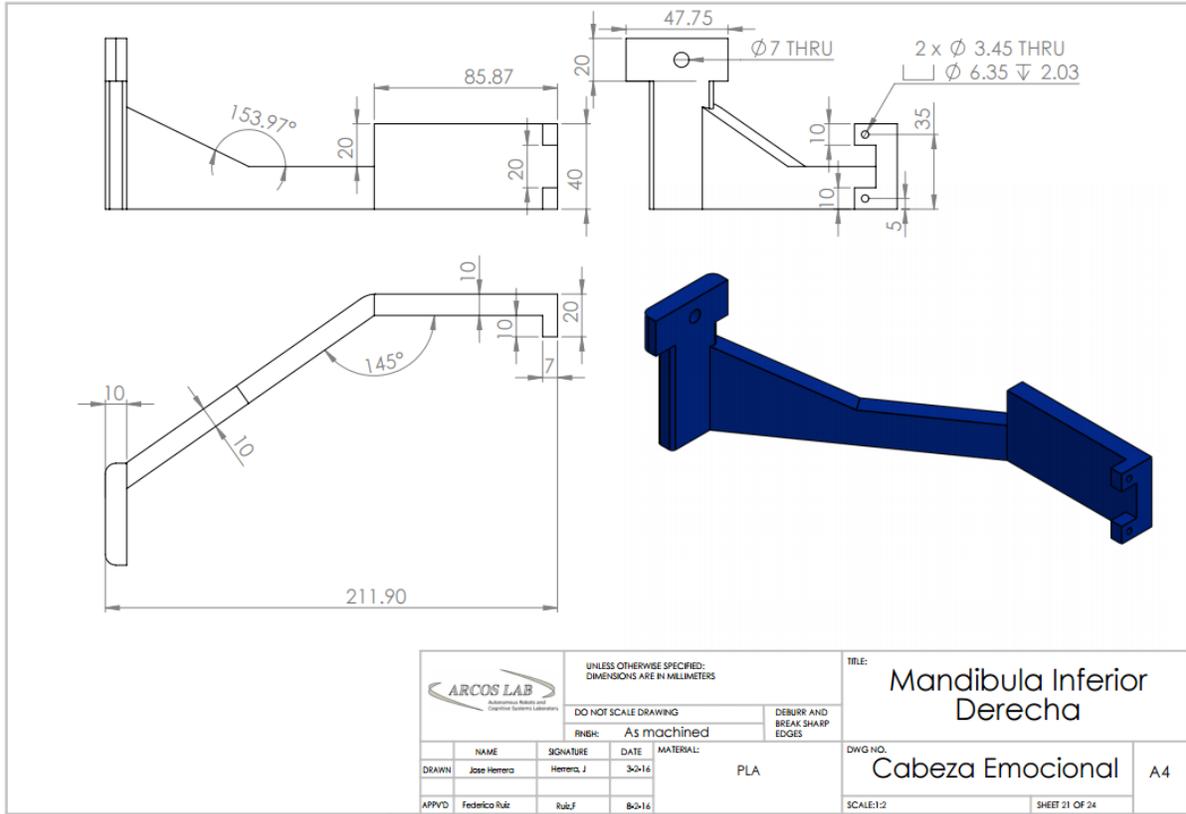


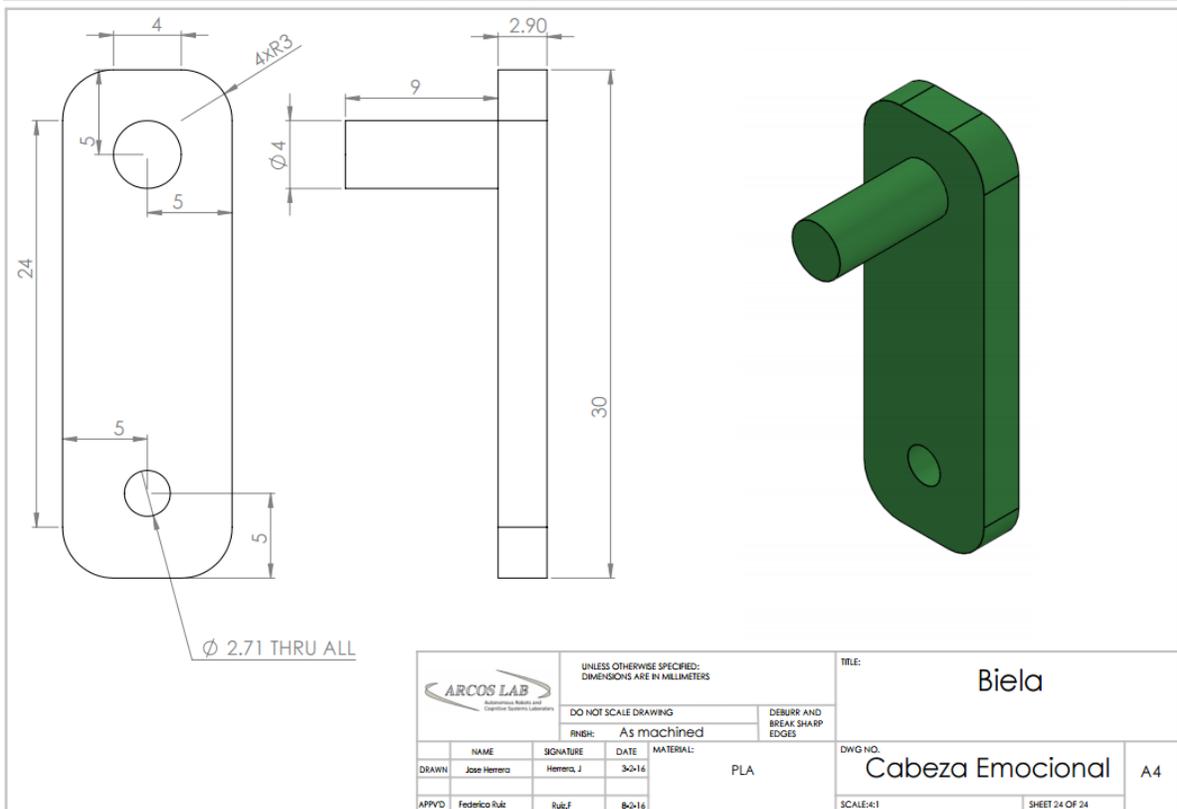
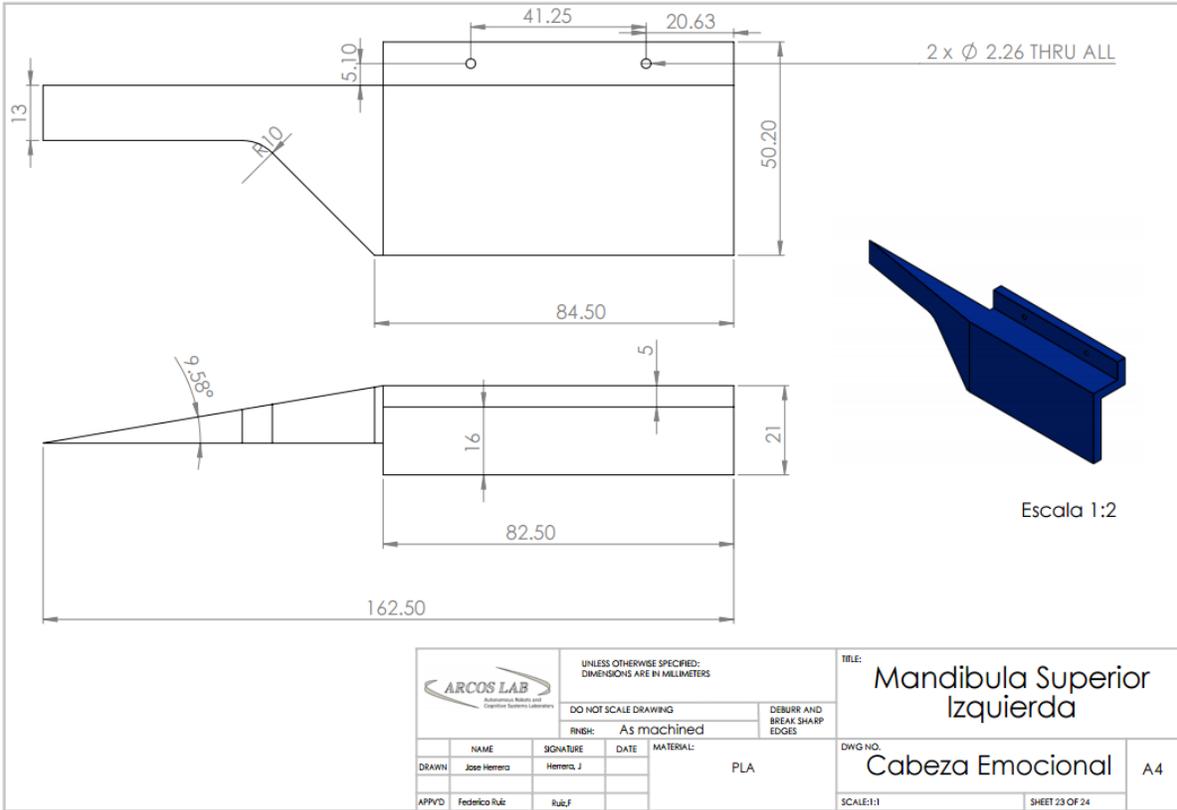
		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		TITLE: Antena Derecha	
DO NOT SCALE DRAWING		FINISH: As machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
DRAWN: Jose Herrera	SIGNATURE: <i>Herrera, J</i>	DATE: 3-2-16	MATERIAL: PLA	DWG NO.: Cabeza Emocional	A4
APPVD: Federico Ruiz	SIGNATURE: <i>Ruiz, F</i>	DATE: 8-2-16		SCALE: 1:1	SHEET 17 OF 24



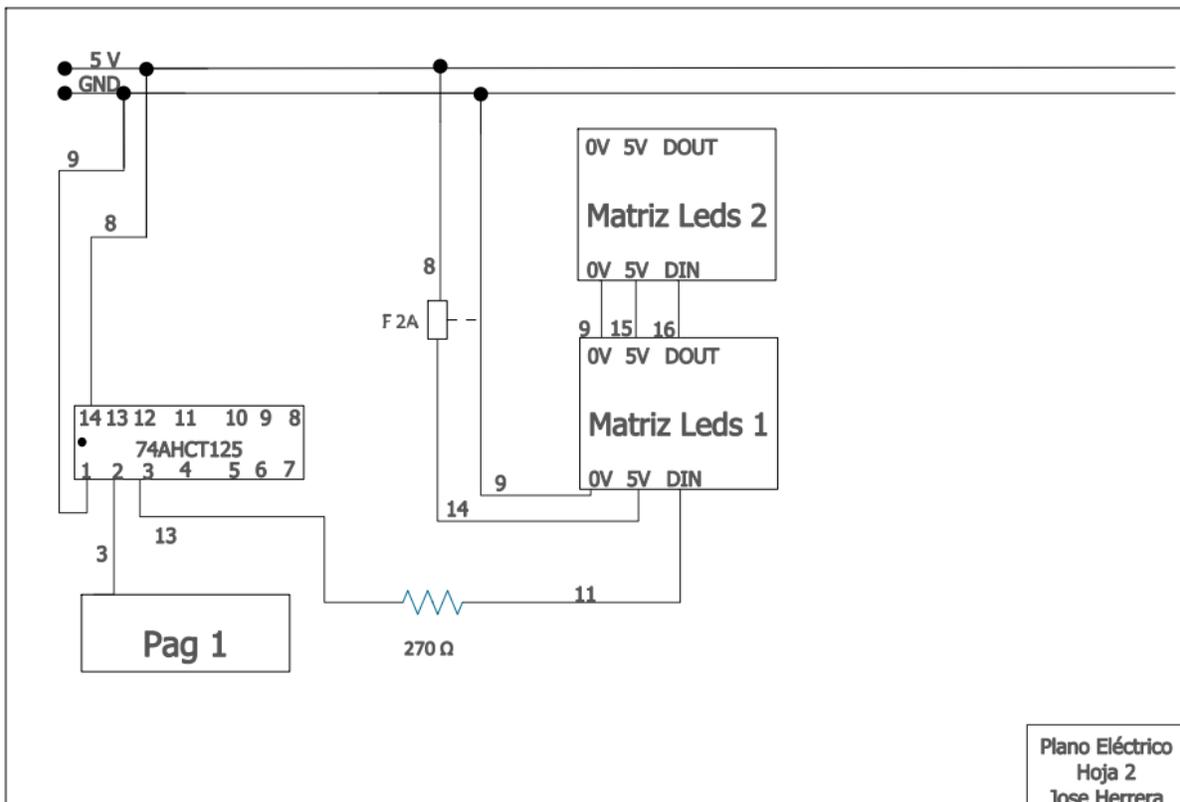
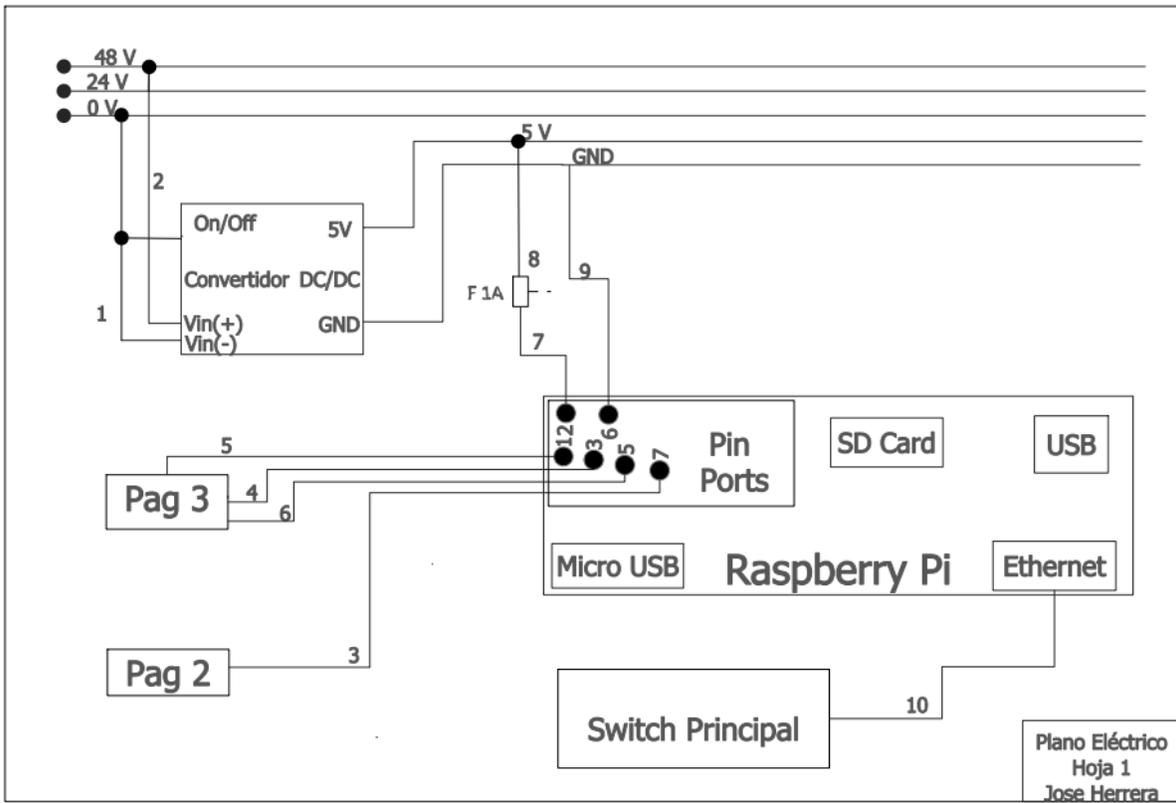
		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		TITLE: Antena Izquierda	
DO NOT SCALE DRAWING		FINISH: As machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
DRAWN: Jose Herrera	SIGNATURE: <i>Herrera, J</i>	DATE: 3-2-16	MATERIAL: PLA	DWG NO.: Cabeza Emocional	A4
APPVD: Federico Ruiz	SIGNATURE: <i>Ruiz, F</i>	DATE: 8-2-16		SCALE: 1:1	SHEET 18 OF 24

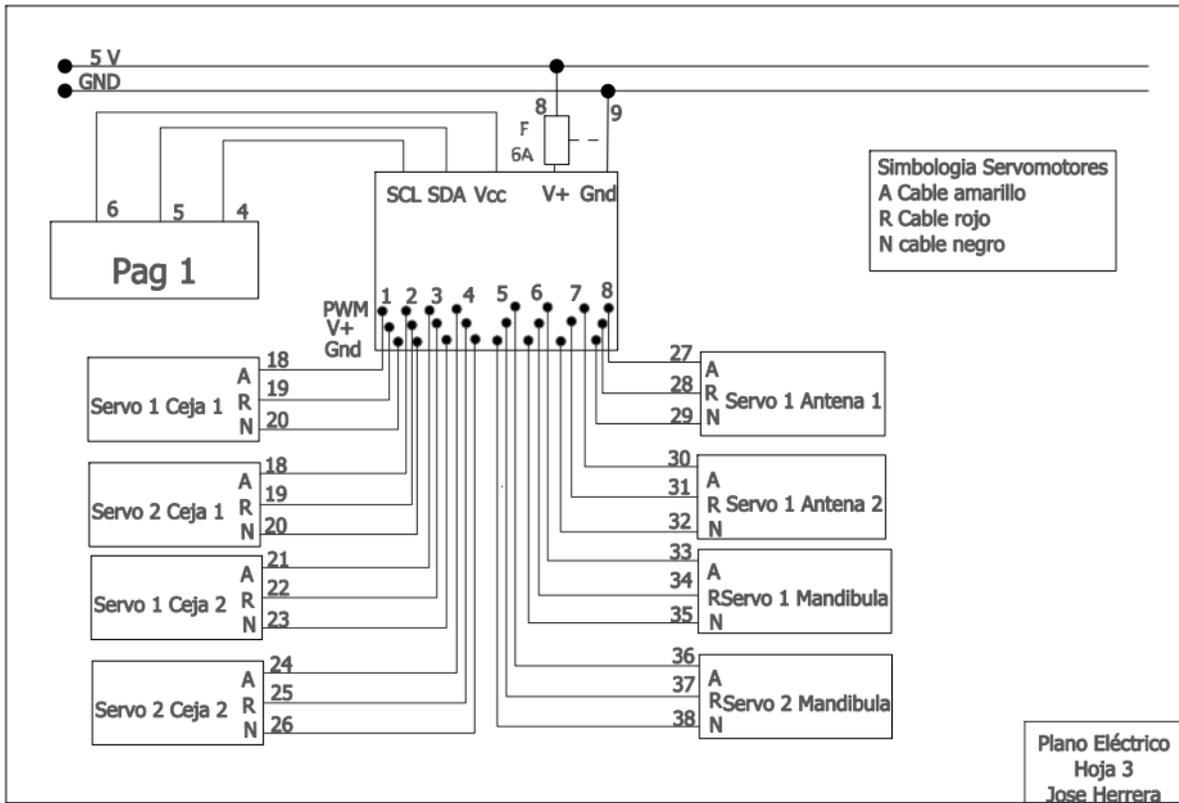






Planos Eléctricos





Manual de funcionamiento

En este capítulo se detalla el procedimiento para ensamblar el robot, así como algunos detalles que se deben tomar en cuenta cuando se programe el robot.

Ensamble de la estructura mecánica

La primera parte para construir el robot es ensamblar el marco hecho de perfiles de aluminio. En esta sección se puede utilizar como referencia los planos del robot y el dibujo en 3D, de esta manera se utilizan los tornillos correctos los cuales son de #4-40 de 5/16 y 1/2 pulgada de largo.

Cuando se termina de ensamblar el marco, se verifica que el mismo este bien alineado y que todos los tornillos se encuentren ajustados correctamente.

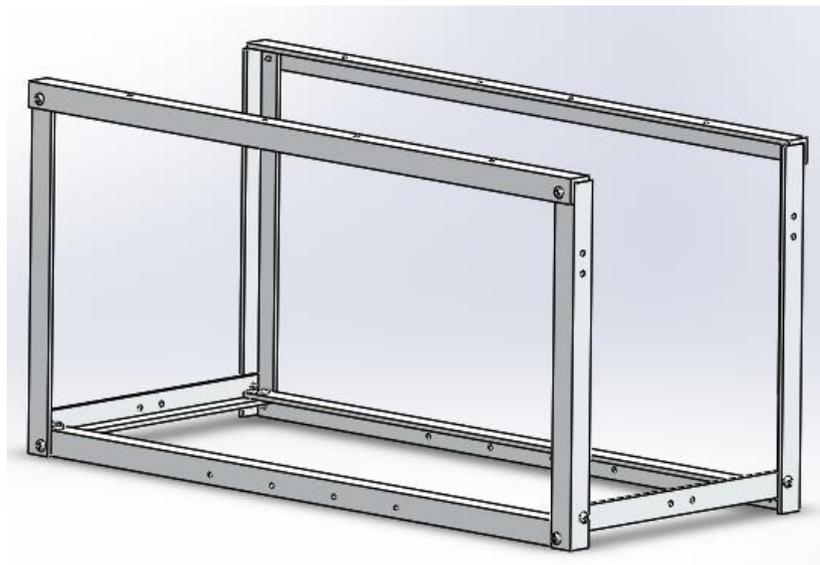


Figura 12-1. Marco ensamblado correctamente con tornillos

Después de armar la estructura, se deben montar los servomotores para las antenas, por lo que también colocar los soportes correctos (usar modelo 3D como guía). Después de colocar los servos se ensambla el brazo de aluminio y la oreja, hay una oreja específica para cada lado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



Figura 12-2. Antena derecha

La siguiente parte a ensamblar son las cejas y la matriz de leds, por lo que primero se debe colocar el ítem 6 sobre la estructura. Después se posiciona el ítem 10 que soporta los ejes que mueven las cejas. También se colocan los servos HS-81 y los respectivos brazos robóticos. Igualmente se colocan las matrices de leds en los soportes frontales.

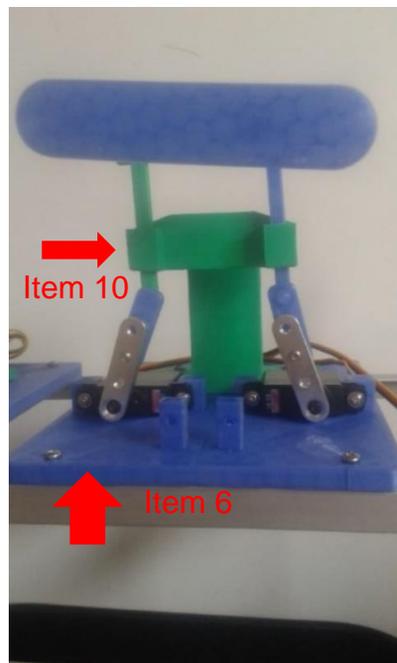


Figura 12-3. Montaje ceja y matriz de leds

Por último, se ensambla la mandíbula del robot esta se divide en la parte fija y en la parte móvil. La primera es fácil de colocar debido al montaje predeterminado, pero cuando se monta la parte móvil se debe tener el cuidado de girar el rotor de los servomotores en direcciones contrarias para que el movimiento de la boca se pueda realizar.

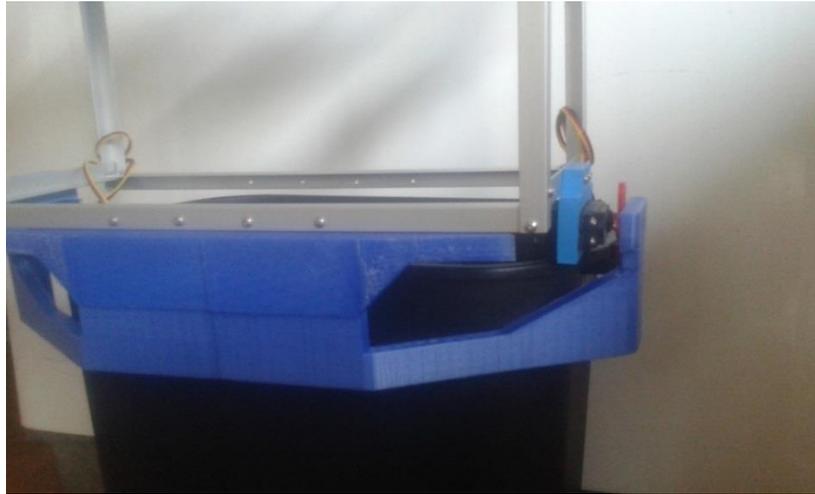


Figura 12-4. Mandíbula móvil del robot

Al finalizar el ensamblaje el robot debe de verse similar a la Figura 12-5.

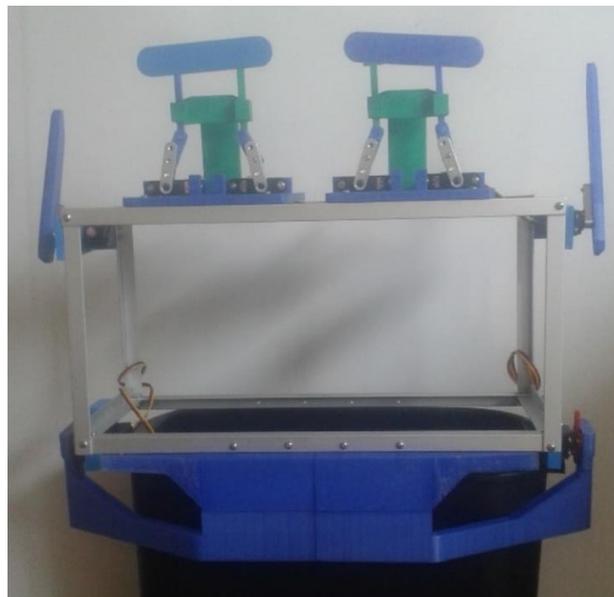


Figura 12-5. Cara robótica ensamblada correctamente

Es importante verificar que las piezas estén en buenas condiciones, así como los cables de los servos no deben tener cortes. Si se encuentra una pieza en mal estado, esta debe ser sustituida inmediatamente. Recuerda socar bien todos los tornillos antes de utilizar la cara para que ninguna pieza se rompa o se salga de lugar.

Programación de los actuadores

Antes de realizar la programación es necesario realizar todas las conexiones que se muestran en el plano eléctrico.

Asegurar que la conexión con la computadora principal está trabajando y que la configuración para mover los servomotores es la adecuada.

Para la programación de los servomotores, se debe tener ciertos detalles en consideración. El movimiento de las cejas y la mandíbula está limitado por topes mecánicos, por lo que se deben establecer límites de movimientos máximos y mínimos en la programación, con el fin de evitar romper una pieza o el servomotor.

El movimiento de la mandíbula es el más complicado debido a que los servos están colocados de manera inversa. Por lo tanto, cuando estos se programen el PWM para cada uno tiene que ser inverso sino la mandíbula no se mueve. Como sugerencia para el control de los servos es mejor si se realizan movimientos fluidos. Esto significa que si quiere mover el motor 180° grados hacerlo en secuencias de 60°, con el fin de se simule el comportamiento de una cara humana.

Capítulo 13 Anexos

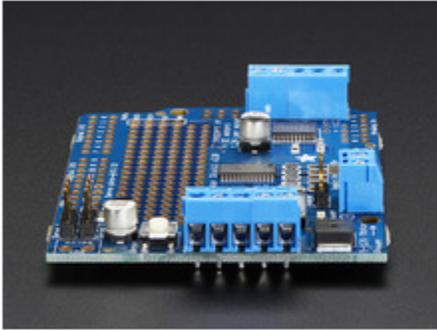
Cotizaciones

Shopping Cart

	Price	Quantity
 <p>Raspberry Pi Model B 756-8308 Motherboard (RASPBRYPBA512) by Raspberry Pi <small>Only 18 left in stock.</small> Eligible for FREE Shipping <input type="checkbox"/> This is a gift Learn more Delete Save for later</p>	\$32.00	1
 <p>Hitec HS-81 Standard Micro Servo by N-axis <small>In Stock</small> Shipped from: Sth Interesting Gift options not available. Learn more Delete Save for later</p>	\$24.00	4
 <p>Hitec 31311S HS-311 Servo Standard Universal by Hitec RCD Inc. <small>In Stock</small> Eligible for FREE Shipping <input type="checkbox"/> This is a gift Learn more Delete Save for later</p>	\$11.14 <small>You save: \$2.85 (20%)</small>	4
 <p>Adafruit NeoPixel NeoMatrix 8x8 by Adafruit <small>Only 6 left in stock.</small> Shipped from: The_PL_Hut Gift options not available. Learn more Delete Save for later</p>	\$40.47	2
Subtotal (11 items): \$253.50		
Total savings: \$11.40		

Line	Quantity	Product	Ships	Unit price	Total	Delete
1	<input type="text" value="1"/> pack	92470A110 Pan Head Phillips Screw for Sheet Metal, 18-8 Stainless Steel, Number 4 Size, 1/2" Length, packs of 100	in the morning	\$5.05 pack	5.05	
2	<input type="text" value="1"/> pack	92470A109 Pan Head Phillips Screw for Sheet Metal, 18-8 Stainless Steel, Number 4 Size, 5/16" Length, packs of 100	in the morning	4.67 pack	4.67	
3	<input type="text" value="1"/> pack	92949A148 18-8 Stainless Steel Button-Head Socket Cap Screw, 6-32 Thread, 1/2" Length, packs of 100	in the morning	3.77 pack	3.77	
4	<input type="text" value="1"/> pack	91772A148 18-8 Stainless Steel Pan Head Phillips Machine Screw, 6-32 Thread, 1/2" Length, packs of 100	in the morning	5.14 pack	5.14	
5	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	<input type="button" value="ADD"/>	<input type="button" value="Paste products and quantities"/>		Merchandise total	\$18.63	

Adafruit Motor/Stepper/Servo Shield for Arduino v2 Kit - v2.3



Price: **\$24.95**

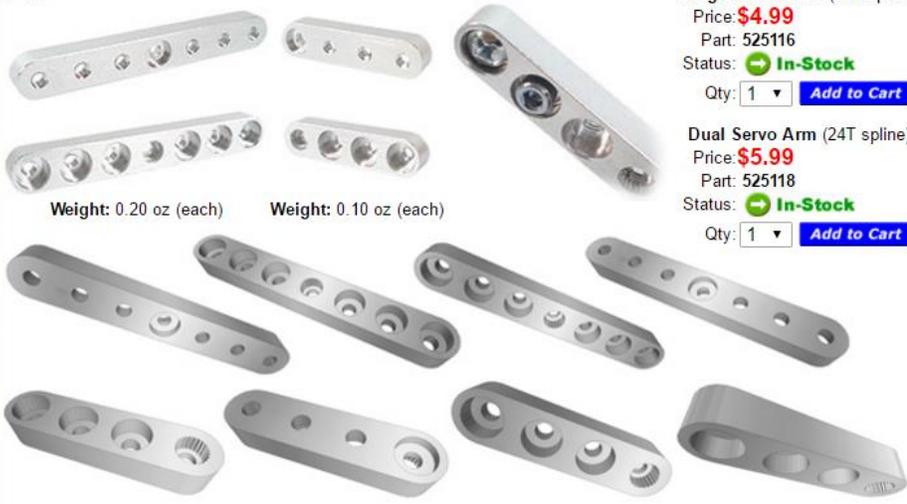
SKU: ADA-1438

Current Stock: 26

Quantity:

 **ADD TO CART**

Actobotics™ DREAM. DESIGN. BUILD. REPEAT.



Weight: 0.20 oz (each)

Weight: 0.10 oz (each)

Single Servo Arm (24T spline)

Price: **\$4.99**

Part: 525116

Status:  **In-Stock**

Qty: **Add to Cart**

Dual Servo Arm (24T spline)

Price: **\$5.99**

Part: 525118

Status:  **In-Stock**

Qty: **Add to Cart**

ADDED TO CART



Mfr. Part # S48SP05007NRFB

Mfr.: Delta Electronics

Description:

Isolated DC/DC Converters 1X1", 5V, 7A

Qty: 1

Cart (1 item)

Cart Subtotal: \$31.41

Continue Shopping

View Cart

Hoja de datos Convertidor DC/DC

DELPHI SERIES



FEATURES

- High efficiency: 90% @5V/7A
- Industry standard 1x2 pin out
- Size: 33.0x24.4x8.55mm (1.30"x0.96"x0.34")
- SMD and Through-hole versions
- Fixed frequency operation
- 2:1 input voltage range
- Input UVLO, OVP
- OTP and output OCP, OVP (default is auto-restart)
- Output voltage trim $\pm 10\%$
- Negative On/Off
- Monotonic startup into normal and pre-biased loads
- 2250V isolation and basic insulation
- No minimum load required
- ISO 9001, TL 9000, ISO 14001, QS9000, OHSAS 18001 certified manufacturing facility
- UL/cUL 60950 (US & Canada) recognized,

Delphi Series S48SP, 35W 1x1 Brick DC/DC Power Modules: 48V in, 5V/7A out

The Delphi Series S48SP, 1x1 Brick, 48V input, single output, isolated DC/DC converters are the latest offering from a world leader in power systems technology and manufacturing -- Delta Electronics, Inc. This product family is available in a surface mount or through-hole package and provides up to 35 watts of power or 10A of output current (3.3V and below) in a new 1x1 form factor (1.3"x0.96"). The pinout is compatible with the industry standard 1x2 products. With creative design technology and optimization of component placement, these converters possess outstanding electrical and thermal performance, as well as extremely high reliability under highly stressful operating conditions. Typical efficiency of the 5V/7A module is 90%. All modules are fully protected against abnormal input/output voltage, current, and temperature conditions.

OPTIONS

- Positive On/Off or no On/Off
- OTP and Output OVP, OCP mode, Auto recovery (default) or latch-up
- SMD module available
- Short pin lengths
- Encapsulated case optional

APPLICATIONS

- Optical Transport
- Data Networking
- Communications, including Wireless and traditional Telecom
- Servers

DATASHEET

DS_S48SP05007_10252013



TECHNICAL SPECIFICATIONS

(T_a=25°C, airflow rate=300 LFM, V_{in}=48Vdc, nominal V_{out} unless otherwise noted.)

PARAMETER	NOTES and CONDITIONS	S48SP05007 (Standard)			
		Min.	Typ.	Max.	Units
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS					
Input Voltage					
Continuous				80	Vdc
Transient(100ms)	100ms			100	Vdc
Operating Temperature		-40		85	°C
Storage Temperature		-55		+125	°C
Input/Output Isolation Voltage				2250	Vdc
INPUT CHARACTERISTICS					
Operating Input Voltage		36		75	Vdc
Input Under-Voltage Lockout					
Turn-On Voltage Threshold	I _o =100% load	32.8	34	35.2	Vdc
Turn-Off Voltage Threshold	I _o =100% load	30.8	31.8	32.8	Vdc
Lockout Hysteresis Voltage	I _o =100% load		2		Vdc
Maximum Input Current	100% Load, 36Vin			1.10	A
No-Load Input Current			35		mA
Off Converter Input Current	V _{in} = 48V		9		mA
Inrush Current (I _r)				0.01	A's
Input Reflected-Ripple Current	P-P thru 12µH inductor, 5Hz to 20MHz		10		mA
Input Voltage Ripple Rejection	120 Hz		60		dB
OUTPUT CHARACTERISTICS					
Output Voltage Set Point	V _{in} =48V, I _o =I _{o,max} , T _a =25°C	4.925	5.0	5.075	Vdc
Output Voltage Regulation					
Over Load	I _o =I _{o, min} to I _{o, max}		±3	±10	mV
Over Line	V _{in} =36V to 75V		±3	±10	mV
Over Temperature	T _o =-40°C to 100°C		±50		mV
Total Output Voltage Range	Over load, line and temperature	4.85		5.15	V
Output Voltage Ripple and Noise	5Hz to 20MHz bandwidth				
Peak-to-Peak	Full Load, 1µF ceramic, 10µF tantalum		30		mV
RMS	Full Load, 1µF ceramic, 10µF tantalum		10		mV
Operating Output Current Range	V _{in} =36V to 75V	0		7	A
Output DC Current-Limit Inception	V _{in} =48V, Output Voltage 10% Low	110		140	%
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Output Voltage Current Transient	48V, 10µF Tan & 1µF Ceramic load cap, 0.1Aµs				
Positive Step Change in Output Current	50% I _{o,max} to 75% I _{o,max}		150		mV
Negative Step Change in Output Current	75% I _{o,max} to 50% I _{o,max}		150		mV
Settling Time (within 1% V _{out} nominal)			100		µs
Turn-On Transient					
Start-Up Time, From On/Off Control			25	30	ms
Start-Up Time, From Input			25	30	ms
Maximum Output Capacitance	Full load; 5% overshoot of V _{out} at startup			3000	µF
EFFICIENCY					
100% Load			89.5		%
60% Load			88.5		%
ISOLATION CHARACTERISTICS					
Input to Output	+V _{in} & -V _{in} short, +V _o & -V _o short			2250	Vdc
Isolation Resistance		10			MΩ
Isolation Capacitance			1000		pF
FEATURE CHARACTERISTICS					
Switching Frequency			400		kHz
ON/OFF Control, Negative Remote On/Off logic					
Logic Low (Module On)	V _{on/off}	-0.7		0.8	V
Logic High (Module Off)	V _{on/off}	2		18	V
ON/OFF Control, Positive Remote On/Off logic					
Logic Low (Module Off)	V _{on/off}	-0.7		0.8	V
Logic High (Module On)	V _{on/off}	2		18	V
ON/OFF Current (for both remote on/off logic)	I _{on/off} at V _{on/off} =0.0V		0.25		mA
Leakage Current (for both remote on/off logic)	Logic High, V _{on/off} =15V		30		µA
Output Voltage Trim Range	Across Pins 4 & 5, P _{out} ≤ max rated power	-10%		10%	%
Output Over-Voltage Protection	Over full temp range	5.75		7.5	V
GENERAL SPECIFICATIONS					
MTBF	I _o =80% of I _{o, max} ; T _a =25°C; air flow 300LFM		2.82		M hours
Weight			10.5		grams
Over-Temperature Shutdown	Refer to Fig. 20 for measuring point		123		°C