

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### Diseño de un robot humanoide anfitrión

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Mecatrónico**, que presenta el bachiller:

**Kenji Alberto Azula Pastor**

**ASESOR: Francisco Cuellar Córdova**

Lima, Junio de 2016

## Resumen

En los últimos años se han ido diseñando robots anfitriones y robots guías capaces de brindar todo tipo de información, dependiendo del ambiente de trabajo de este. Sin embargo, ninguno de los robots desarrollados en otros países (Anexo 4, 5 y 6) posee las funcionalidades del robot anfitrión planteado en el presente trabajo de tesis. Adicionalmente, al desarrollar este prototipo en la Pontificia Universidad Católica del Perú se busca contribuir a mejorar los siguientes aspectos: un mayor incentivo para desarrollar proyectos de investigación tecnológica y colaborar a reducir el atraso tecnológico del país.

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un robot anfitrión cuya principal función es la de brindar información y, además, servirá de guía para los visitantes que acudan al 3er Piso del CETAM (Centro de Tecnologías Avanzadas de Manufactura). Con este robot anfitrión, las personas podrán interactuar y hacer preguntas relacionadas a las actividades que se realizan en este ambiente. Asimismo, el robot anfitrión tendrá la capacidad de reconocer el rostro de las personas, ya sea un alumno o un profesor de la especialidad, y reconocer e interpretar las frases dichas por los visitantes. Cada uno de los subsistemas que se encargan de realizar el movimiento del prototipo, la interacción humano - robot y el sistema de reconocimiento de rostros son claramente detallados a lo largo del trabajo.

# Contenido

Capítulo 1 .....	1
Presentación de la problemática .....	1
Capítulo 2 .....	3
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico .....	3
2.1.1 Requerimientos físicos - mecánicos.....	6
2.1.2 Requerimientos eléctricos - electrónicos.....	6
2.1.3 Requerimientos de control.....	7
2.2 Concepto de la solución .....	5
Capítulo 3 .....	9
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico .....	9
Subsistema de reconocimiento de rostros .....	13
Subsistema de localización infrarroja .....	16
Subsistema de desplazamiento.....	19
Subsistema de interacción humano - robot.....	21
Subsistema de alimentación eléctrica .....	24
3.2 Sensores y actuadores .....	23
Subsistema de reconocimiento de rostros .....	26
Subsistema de localización infrarroja .....	29
Subsistema de desplazamiento.....	30
Subsistema de interacción humano - robot.....	35
Subsistema de alimentación eléctrica .....	39
Controladores del robot anfitrión .....	41
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	41
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico .....	48
3.5 Diagramas eléctricos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	52
3.6 Diagramas de flujo del programa de control .....	52
Capítulo 4 .....	62
Presupuesto .....	74
Capítulo 5 .....	67
Conclusiones.....	84
Bibliografía .....	69
Anexos.....	69

# Capítulo 1

## Presentación de la problemática

*José, un alumno de la especialidad de Ingeniería Mecatrónica, estaba muy interesado en participar en la realización de proyectos de investigación y había escuchado que, en el 3er Piso del CETAM, un grupo de estudiantes como él estaban desarrollando robots y haciendo proyectos para participar en diversas competencias a nivel nacional como el LARC (Latin American Robot Competition). Sin embargo, él no conocía a ninguno de esos alumnos ni a los profesores que los apoyan, por tanto, decidió ir a buscar información al CETAM. Sin embargo, cada vez que iba a preguntar nadie estaba en las oficinas administrativas de la especialidad, y por tanto, no tuvo la oportunidad de participar en los proyectos que se desarrollan ahí.*

Para ello, se busca desarrollar un robot anfitrión capaz de reconocer el rostro de las personas e interpretar las frases dichas por los visitantes que contribuya a mejorar los siguientes aspectos: un mayor incentivo para desarrollar proyectos de investigación tecnológica y colaborar a reducir el atraso tecnológico del país.

En primer lugar, se busca generar un mayor incentivo para el desarrollo de proyectos de investigación tecnológica. El desarrollo del robot anfitrión podrá ser usado como una plataforma para la enseñanza de integración entre las áreas de mecánica, electrónica y ciencias de la computación. De esta manera, aparte de informar a los visitantes acerca de los diversos proyectos que se realizan en la especialidad u otra información relacionada a las actividades que se desarrollan en el CETAM, podrá mejorar y aumentar el incentivo para que los estudiantes deseen participar de futuros proyectos de investigación.

Finalmente, el rubro tecnológico es uno de los mercados que mueve más de 400 millones de dólares en el Perú por año (Anexo 1). La Pontificia Universidad Católica del Perú, por su lado, invierte cerca de 12 millones de soles en proyectos de investigación (Anexo 2), los cuales, en su mayoría, llegan a culminarse. El poder contar robots anfitriones en la universidad marcará un precedente en las demás universidades y fomentará el avance tecnológico del país.

Varios prototipos se han realizado hasta el momento, sin embargo, cada uno de estos tiene sus limitantes. Por ejemplo, el robot BIRON [1] puede mantener una conversación con una persona, pero no puede trasladarse por ambientes que posean obstáculos; HOSPI [3] puede desplazarse sin dificultad por ambientes amplios, pero no puede reconocer el rostro ni la voz de las personas; WEVER-R2 [10] puede mantener una conversación y reconocer los rostros, pero no posee una forma estilizada que sea atractivo para los visitantes del CETAM.

Es por estas razones que es necesario desarrollar un robot anfitrión, ubicado en el 3er Piso del CETAM, diseñado para la interacción humano - robot, que sea capaz de recibir preguntas y brindar información a los visitantes, guiarlos a través de los diversos laboratorios de investigación, y principalmente, motivar el estudio de la mecatrónica en el Perú. El alcance a futuro de estos robots es no solo limitarlos a universidades, sino también expandir su uso a colegios, museos, hospitales, entre otros lugares públicos y privados.



## Capítulo 2

### Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

#### 2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

Proyecto: Robot anfitrión diseñado para la recepción de personas en el CETAM (Centro de Tecnologías Avanzadas de Manufactura), capaz de reconocer e interactuar con las personas que acudan a este lugar. Área de operación: Tercer Piso del CETAM.

##### 2.1.1 Requerimientos físicos - mecánicos

- **Con respecto a la geometría:**
  - Se modelará y diseñará un robot cuyas dimensiones máximas son 60 x 60 x 130 cm.
  - El robot deberá ser estilizado para llamar la atención de las personas que trabajan y visitan el CETAM.
  - La estructura externa del robot deberá ser hecha de fibra de vidrio para aligerar su peso.
  - Se buscará estandarizar el tamaño de todas las piezas mecánicas para cada parte del robot.
- **Con respecto al movimiento**
  - La velocidad máxima del móvil será de 0.85 m/s, debido a que la velocidad promedio de una persona caminando es de 1.15 m/s [18]. Esto hará que el robot no se adelante a la persona y esta pueda reaccionar ante cualquier movimiento inesperado del móvil.
  - El robot anfitrión será capaz de llevar una carga de 40 Kg (incluyendo el del robot que es 30 Kg) y contará con dos ruedas de caucho y dos ruedas de bolas que servirán de apoyo. Asimismo, el tipo de giro del robot será diferencial ya que solo contará con dos ruedas motrices.

##### 2.1.2 Requerimientos eléctricos-electrónicos:

- El robot anfitrión trabajará con una batería liviana (2 Kg) y recargable de 12V para la alimentación de todos los circuitos del sistema. Se espera que la batería tenga una duración mínima de 4 horas.

- Todos los fusibles eléctricos deben estar en su lugar para el correcto funcionamiento del sistema. De esta manera, se protegerán los circuitos del robot anfitrión y evitarán daño a los dispositivos electrónicos.
- El sistema eléctrico y electrónico deberá estar cableado en su totalidad respetando el código de colores designado por los creadores (Ver anexo 3). Asimismo, los sensores deberán ser revisados cada dos semanas para ver si están respondiendo ante las situaciones deseadas. La calibración de estos se hace mediante software.
- El robot contará con una placa Arduino Mega 2560 R3 (basado en un microcontrolador ATmega 2560) que enviará señales a los drivers que controlan los motores del sistema y recibirá la señal de los sensores ultrasónicos y los sensores infrarrojos. Asimismo, la placa Arduino controlará los módulos de reconocimiento y reproducción de voz. Por otro lado, contará con un ordenador de placa reducida denominado Raspberry Pi. Esta será la encargada de ejecutar el algoritmo de detección y reconocimiento de rostros, y de la interacción humano-robot mediante voz o pantalla con matrices de leds. En caso se desee reprogramar el robot, se deberá tener un programador con una un puerto ISP de 6 pines (Para el Arduino Mega). Por último, debido a que el sistema operativo nativo del Raspberry Pi Modelo B es Linux, entonces su programación también se desarrollará en este sistema operativo.

### 2.1.3 Requerimientos de control

- El microcontrolador deberá ser capaz de procesar la información que capta de los sensores, por ello, estas señales serán monitoreadas cada 250 ms. Dado que el robot realizará dos o más tareas en simultáneo (detección de rostros y giro de la cabeza, entre otros), entonces es necesario que los microcontroladores que posee tengan una frecuencia de trabajo de 16 MHz
- Cada una de las tarjetas microcontroladoras (placa Arduino Mega 2560 y placa Raspberry Pi) tendrán un programa que permitirá el control de todos los subsistemas que posee el robot anfitrión. Adicionalmente, tendrán un algoritmo de comunicación para que los subsistemas se relacionen entre sí.
- Es necesario la implementación de un control de lazo cerrado para los encoder de los motores de la base del robot, debido a que se necesitará conocer con precisión la ubicación del móvil. Por otro lado, se usará un control de lazo abierto para los sensores ultrasónicos, ya que solo se usarán para la detección de obstáculos en su trayectoria; para el sensor StarGazer y para el sensor PIR (Passive Infrared Sensor).

## 2.2 Concepto de la solución

El robot anfitrión es un móvil relativamente ligero cuyo peso es de 30 Kg (calculado usando el software SolidWorks). Esto debido a que toda la estructura exterior (llámese la carcasa) estará hecho de fibra de vidrio. Asimismo, el robot posee una base circular de 60 cm de diámetro, la cual permite al robot a moverse sin problema por el ambiente en el que se encontrará (al ser la base circular, esta no se podrá enganchar con ningún objeto).

El robot es completamente autónomo en sus acciones. Como se muestra en la figura 3.2.1, el robot posee una cámara de 5 Mpx, la cual está ubicada en la cabeza prototipo. El giro de la cabeza se dará cuando el sensor de movimiento (Figura 2.2.7) detecte el movimiento de una persona en el 3er piso de CETAM. La cámara será usada para la detección y reconocimiento del rostro de las personas. En base a este reconocimiento, el robot podrá tomar decisiones tales como indicarle a la persona la ubicación del ambiente al cual quiere dirigirse, llamar a la persona por su nombre y darle las últimas noticias del día, entre otros. Todo este procesamiento será realizado por un ordenador de placa reducida llamada Raspberry Pi ubicado en la cabeza del robot.

Para el desplazamiento, este cuenta con dos motores con ruedas en la parte inferior que generan el avance o giro del robot, es decir, posee un movimiento tipo diferencial. También, en la parte inferior posee dos ruedas conducidas que sirven de apoyo (Figura 2.2.5). Para la ubicación en el espacio del robot, cuenta con un sensor de localización StarGazer de la empresa HAGISONIC, el cual está ubicado en la cabeza del robot (Figura 2.2.7). Este sensor emite un rayo infrarrojo, el cual es reflejado por una referencia ubicada en el techo. Cada una de estas referencias posee un código identificador único que sirve para que el robot sepa la ubicación en que se encuentra, es decir, posición en los tres ejes (X, Y, Z) con respecto a la marca.

El robot anfitrión posee un sistema automático para recargar la batería. Este posee un circuito detector de batería baja, el cual envía una señal al microcontrolador ATmega 2560 (Figura 2.2.4). Esta señal hace que el robot busque automáticamente el cargador de la batería ubicada en el mismo ambiente en el que se encuentra el robot, interrumpiendo las acciones que está realizando. Para que el robot encuentre el cargador de la batería, se utilizará el sistema de localización que buscará una marca en el techo, justo por encima del cargador (Figura 3.1.8).

Finalmente, con respecto a la interacción humano - robot, el robot anfitrión contará con 6 matrices de LEDs como pantalla (Figura 2.2.7), los cuales serán controlados por la placa Raspberry Pi. Esta pantalla será usada para que el robot muestre diversos gestos. Adicionalmente, contará con un micrófono, que se usará para reconocer las palabras que mencionan las personas, y un parlante para decir frases pregrabadas.



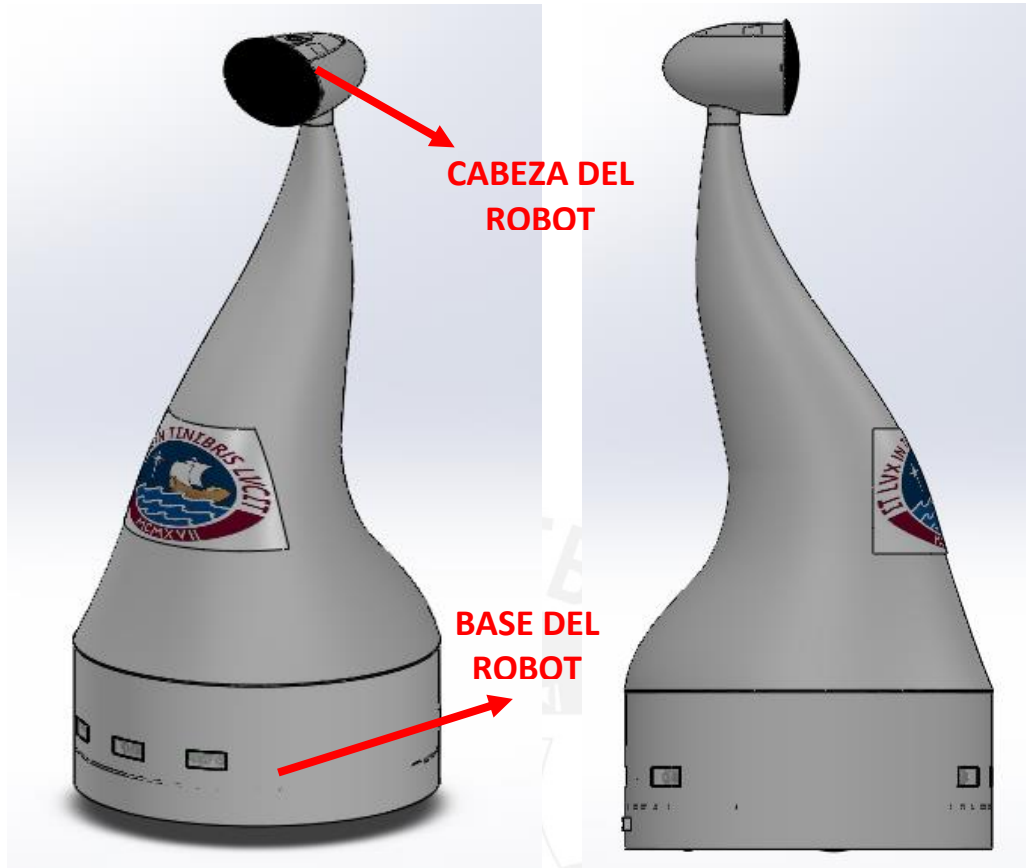


Figura 2.2.1 – Vista isométrica y lateral del robot anfitrión

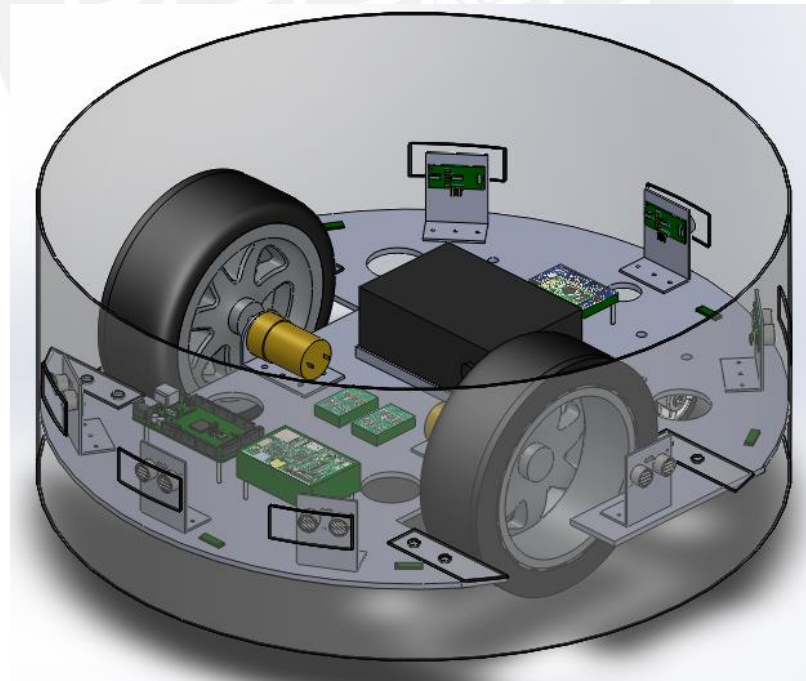


Figura 2.2.3 – Vista isométrica de la base del robot anfitrión

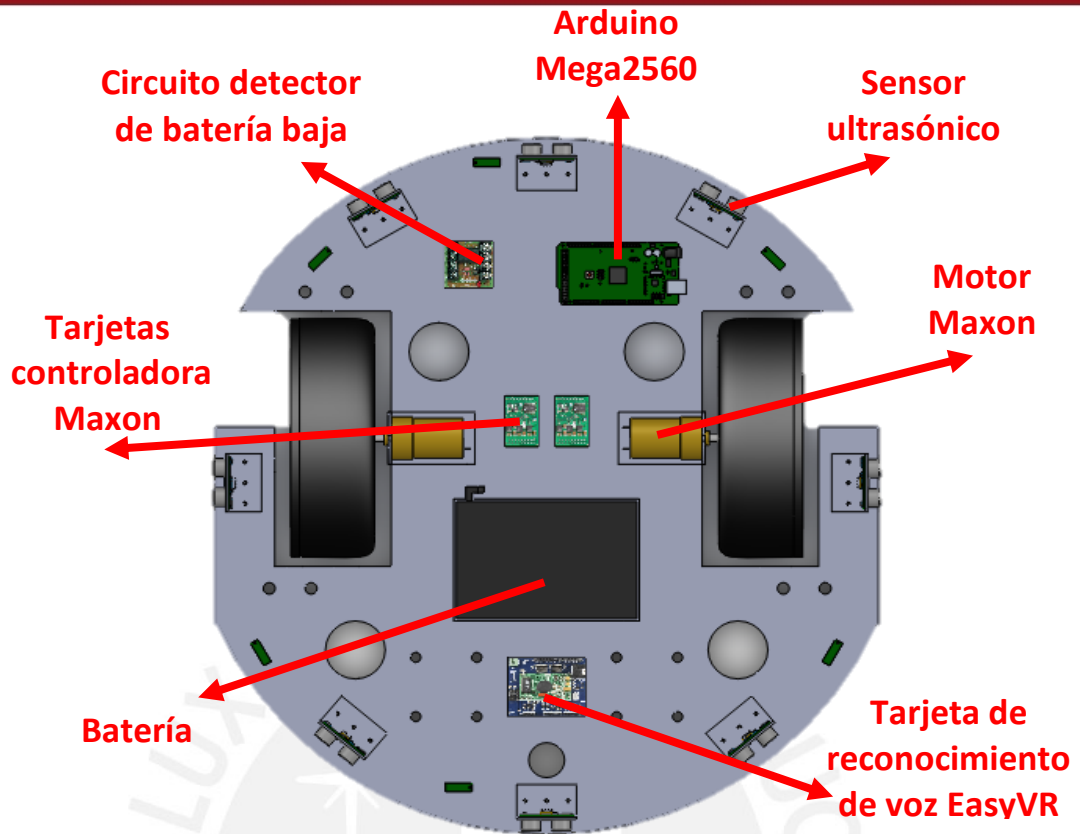


Figura 2.2.4 – Vista superior de la base del robot anfitrión

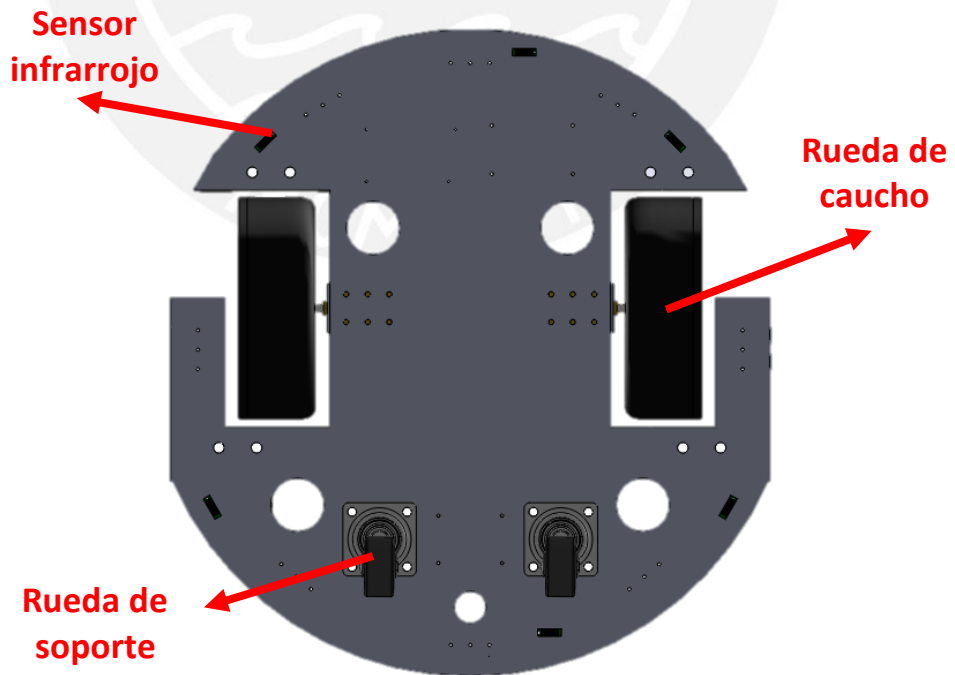


Figura 2.2.5 – Vista inferior del robot



Figura 2.2.6 – Vista isométrica de la cabeza del robot anfitrión

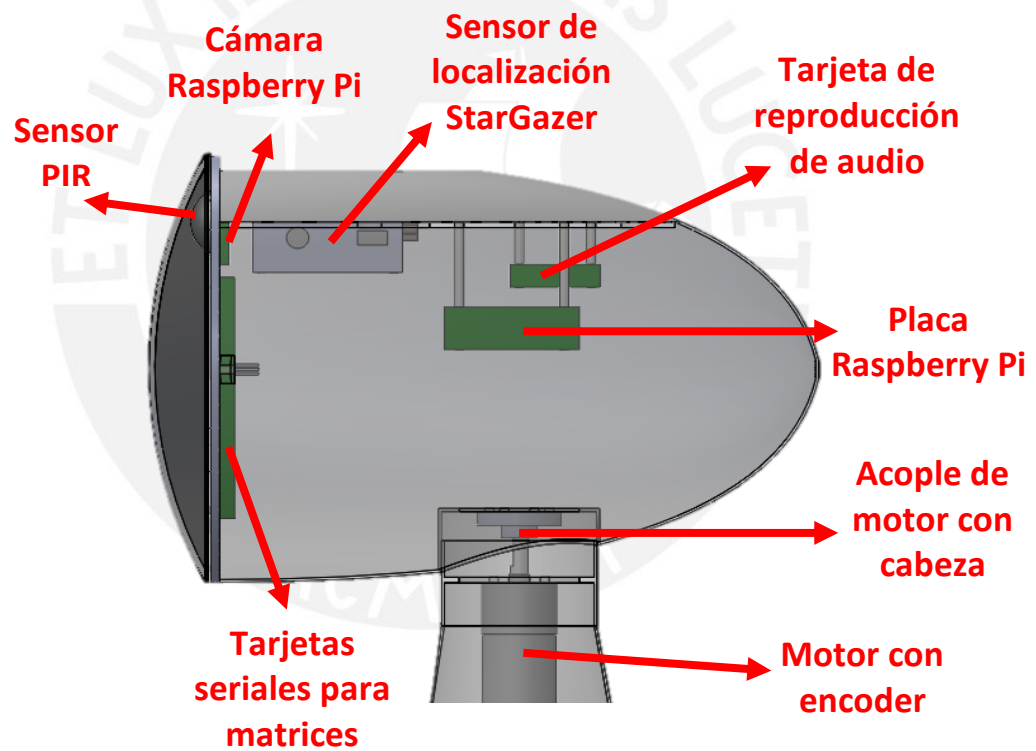


Figura 2.2.7 – Vista lateral de la cabeza

# Capítulo 3

## Sistema mecatrónico

### 3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

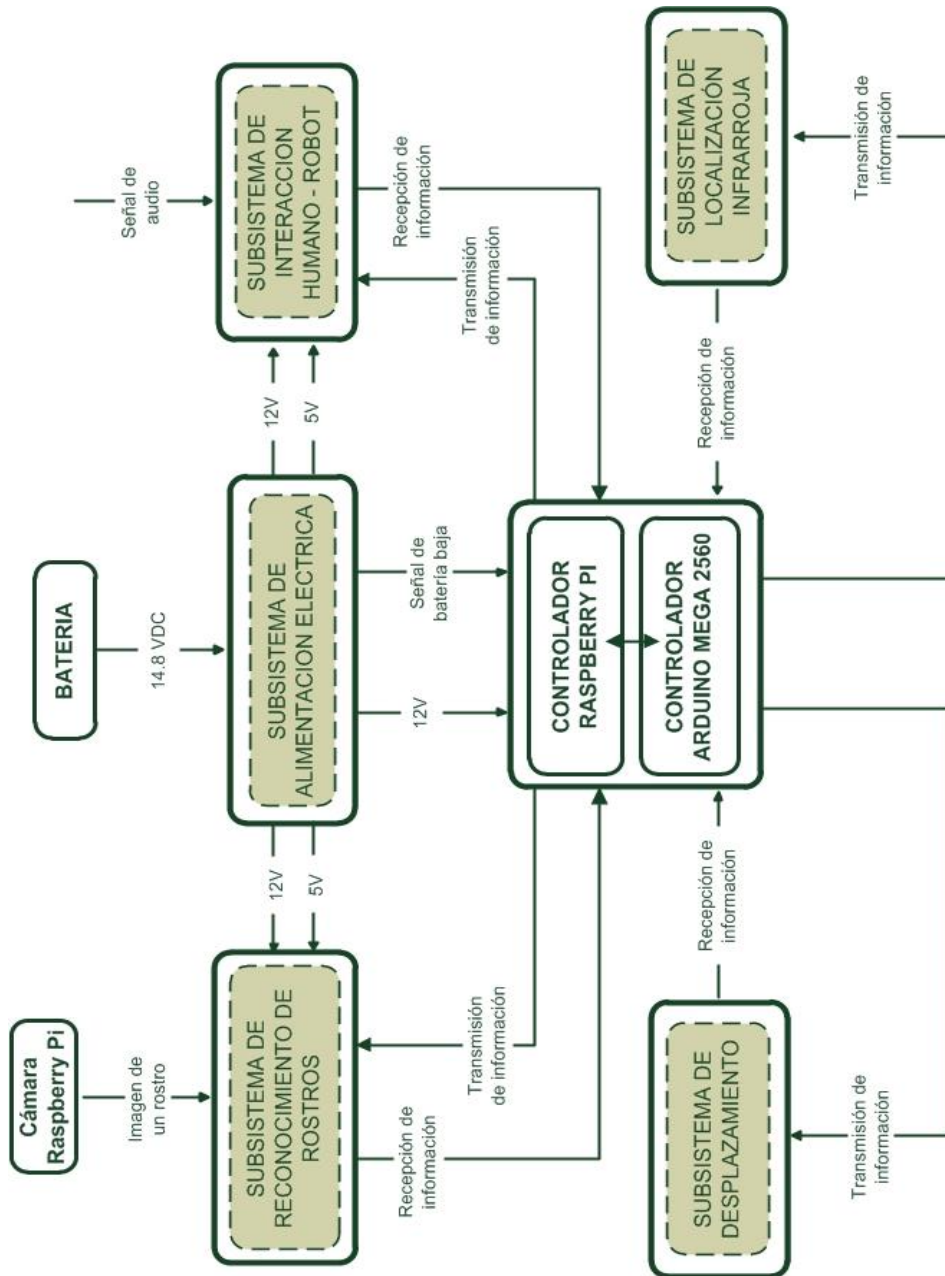


Figura 3.1.1: Diagrama de bloques del sistema mecatrónico

El diagrama anterior muestra todos los subsistemas dentro del robot anfitrión. En este diagrama se puede observar tanto las señales de entrada como las señales de salida de las dos tarjetas controladoras (Controlador Arduino Mega 2560 y Placa Reducida Raspberry Pi). Asimismo, el robot anfitrión recibirá del exterior el rostro de la persona (captada por la cámara RPI) y la alimentación de voltaje de la batería, la cual será usada para energizar todos los demás subsistemas. El robot es autosuficiente en todo sentido, es decir, no necesitará estar conectado a ninguna computadora u otro dispositivo o mando externo. Cabe resaltar que dentro de cada subsistema se ejecutarán algoritmos de control necesarios para el correcto funcionamiento del robot.

El diagrama, además, permite ver la interacción entre todos los subsistemas del robot, ya sea del subsistema de reconocimiento de rostro con el subsistema de interacción humano - robot, como la del subsistema de localización infrarroja con el subsistema de desplazamiento. Todos estos subsistemas deberán funcionar de manera sincronizada a fin de obtener un resultado óptimo en las actividades que desarrollará el prototipo, para ello, se usan dos placas controladoras que vigilarán y coordinarán las diversas actividades del robot. A continuación, se describirán los subsistemas mostrados con más detalle:

### SUBSISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE ROSTROS

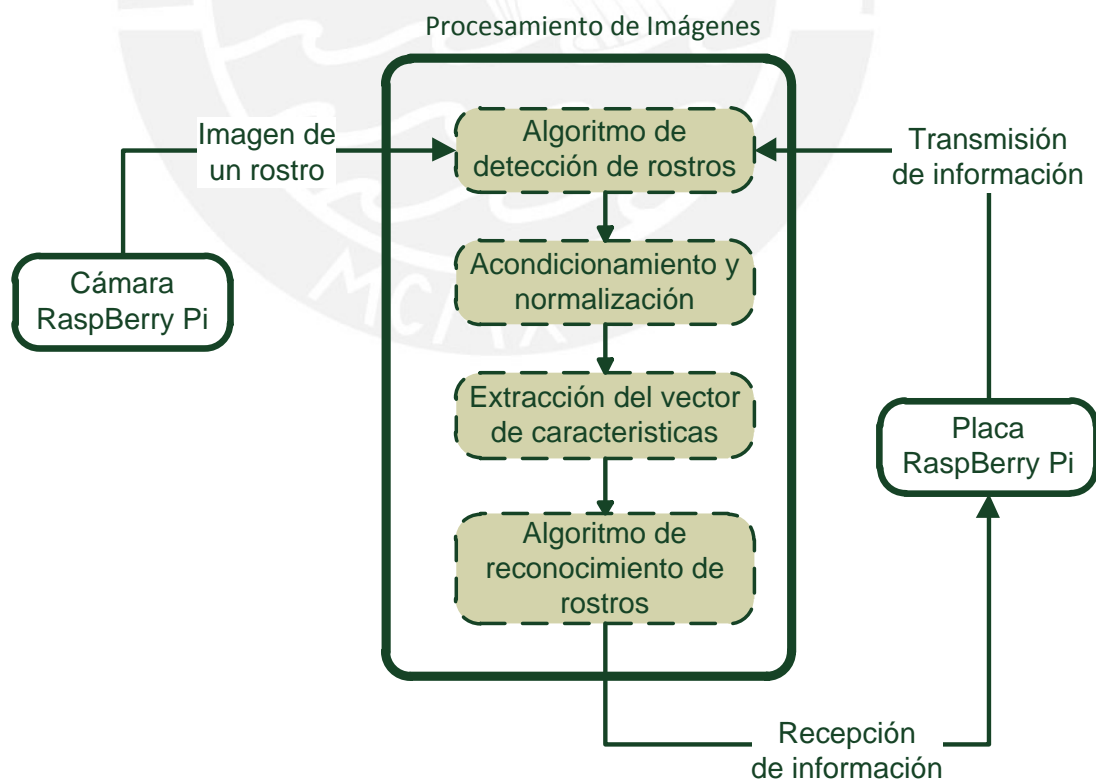


Figura 3.1.2: Diagrama de bloques del subsistema de reconocimiento de rostros

Este subsistema es importante para el robot anfitrión ya que en base a este reconocimiento, el robot decidirá qué acciones a realizar. Por ejemplo, para las personas que frecuentemente acuden al 3er piso del CETAM, el robot los saludará por su nombre, les indicará el lugar al que desean dirigirse, entre otras funciones.

La Figura 3.1.2 muestra la secuencia lógica para que el robot anfitrión pueda reconocer el rostro de una persona. Se tiene como datos de entrada: el set de entrenamiento (Características de Haar), la base de datos de rostros (de las personas que asisten al CETAM) y la imagen de la persona a ser reconocida. Asimismo, como dato de salida tendremos la transmisión de información de este subsistema a los circuitos controladores.

Para poder realizar el procesamiento de imágenes, que involucra el algoritmo de reconocimiento de rostros (Face Recognition), primero se debe desarrollar un algoritmo para la detección de rostros (Face Detection); para ello se usa una biblioteca libre de visión por computadora llamada OpenCV (Open Source Computer Vision), la cual es multiplataforma, es decir, existen versiones para GNU/Linux, Mac OS X y Windows.

Debido a que la placa controladora Raspberry Pi utiliza el sistema operativo Linux como plataforma nativa, entonces se usará OpenCV de Linux para realizar el algoritmo de detección y reconocimiento de rostros. El funcionamiento de este subsistema es el siguiente:

Cuando una persona suba al 3er Piso del CETAM, un sensor de movimiento infrarrojo (PIR) enviará una señal al controlador Raspberry Pi, la cual le indicará al robot anfitrión que una persona está presente en el ambiente. Luego, un motor girará la cabeza del robot para detectar el rostro de la persona. Al realizar el algoritmo de detección de rostros (basado en el sistema de características no variables) en un estudiante se obtuvo los siguientes resultados:

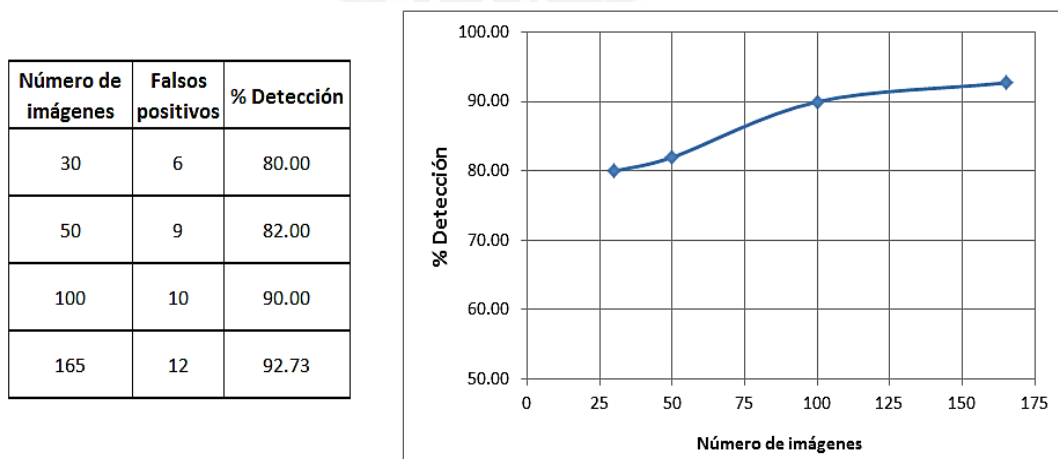


Figura 3.1.3: Resultados obtenidos con set de rostros de Yale [24]

Se escogió el set de entrenamiento de la Universidad de Yale (Anexo 8) ya que contiene 165 imágenes de 15 personas bajo diferentes condiciones de luminosidad, diversas expresiones faciales, uso de lentes, entre otras características. Basados en el algoritmo de detección y en el set de entrenamiento de la Universidad de Yale, se tiene que el porcentaje de detección depende del número de imágenes (Figura 3.1.3). Por otro lado, experimentalmente se tiene que el tiempo de detección es de aproximadamente de 300 ms, es decir, nuestro algoritmo puede detectar 3 imágenes por segundo, lo cual es suficiente para muchas aplicaciones, entre ellas, el reconocimiento de rostros.

En el anexo 9 se indica cómo funciona el algoritmo de detección y reconocimiento de rostros usados. Para realizar la detección de rostro se hace uso de los clasificadores de Haar, los cuales extraen las características particulares de un rostro a partir de un set de entrenamiento y hacen la distinción entre cara y no cara. Una vez que el rostro ha sido detectado, el robot anfitrión procederá a reconocerlo. El algoritmo de reconocimiento de rostros implementado usa una base de datos con imágenes pregrabadas con los rostros de las personas a ser reconocidas. Con este algoritmo de reconocimiento facial se obtuvo los siguientes resultados:

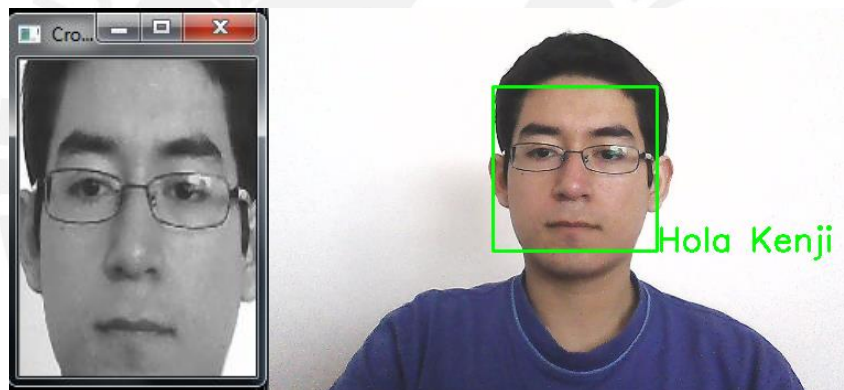


Figura 3.1.4: Funcionamiento del algoritmo de detección de rostros

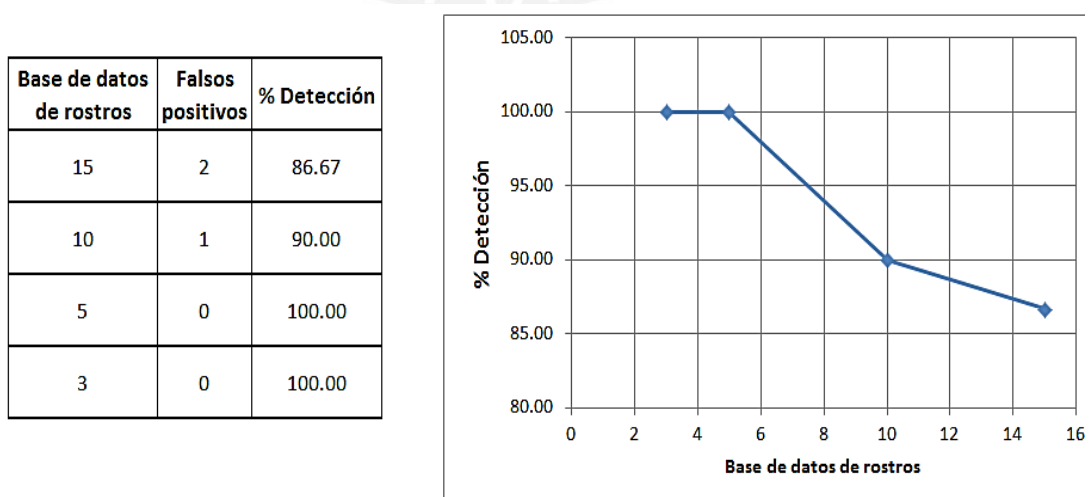


Figura 3.1.5: Resultados obtenidos para distintos números de caras

Asimismo, este subsistema se relaciona directamente con el subsistema interacción humano – robot. Una vez que el robot anfitrión ha reconocido a la persona que está en el 3er piso del CETAM, entonces lo guiará de la siguiente manera: en caso sea el profesor o algún alumno del curso MTR216, lo guiará hacia el Laboratorio de Sensores y Actuadores; en caso sea algún profesor, alumno que desarrolle proyectos para concursos como el Open LARC o alumnos tesisistas, el robot los guiará hacia el Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria; en caso sea la secretaria de la especialidad, la guiará hacia la Oficina Administrativa de Ingeniería Mecatrónica (OAIM); y por último, si es alguna persona que no esté dentro de la base de datos de rostros del robot (persona vista por primera vez), también la guiará hacia las Oficinas Administrativas de Ingeniería Mecatrónica para que se le proporcione la información requerida.

Cabe mencionar que cada vez que si el robot anfitrión detecta a una persona nueva (no se encuentra en su base de datos de rostros), grabará una serie de imágenes de esta persona en su memoria EEPROM para que cuando vuelva nuevamente ya sepa quién es y a qué lugar se dirige

### SUBSISTEMA DE LOCALIZACION INFRARROJA

El subsistema de localización infrarroja está basado en el uso del sensor StarGazer. Este sensor es ampliamente usado para la localización de robots en interiores y ambientes amplios, ya que no se ve afectado por rayos ultravioleta, luz fluorescente o la luz del sol entrante por las ventanas.

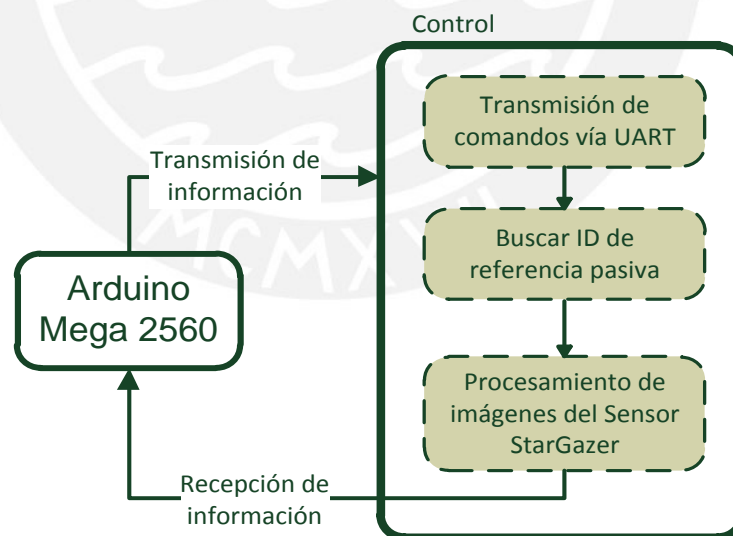


Figura 3.1.6: Diagrama de bloques del subsistema de localización infrarroja

En la Figura 3.1.6 se muestra el diagrama de bloques de este subsistema. El microcontrolador ATmega 2560 enviará por UART el siguiente comando como cadena de caracteres: `~@RefID|2'` hacia el sensor StarGazer. A continuación se explica la sintaxis de la cadena de caracteres enviada por UART:



Comando	Significado
~	Indica el inicio de un comando.
@	Indica que debe ejecutar el comando que está a continuación.
RefID	Es un comando usado para hallar el número ID de una referencia.
	Distingue un comando de un valor numérico.
'	Indica el fin de un comando.

Figura 3.1.7: Sintaxis de envío de comandos hacia el Sensor StarGazer

El comando mencionado anteriormente le indicará al sensor que debe buscar la referencia pasiva que tenga el número de identificación (ID) igual a 2. El principio de funcionamiento del sensor está basado un proyector de rayos infrarrojos y una unidad de procesamiento de imágenes. Cuando el sistema emite un haz de luz infrarrojo, este es reflejado por un punto de referencia pasiva (Passive Landmark). Cada referencia posee un identificador independiente y único, el cual es codificado para determinar la distancia y la orientación del robot con respecto a la referencia (Figura 3.1.8). Este sistema es altamente preciso y procesa la información a una alta velocidad.

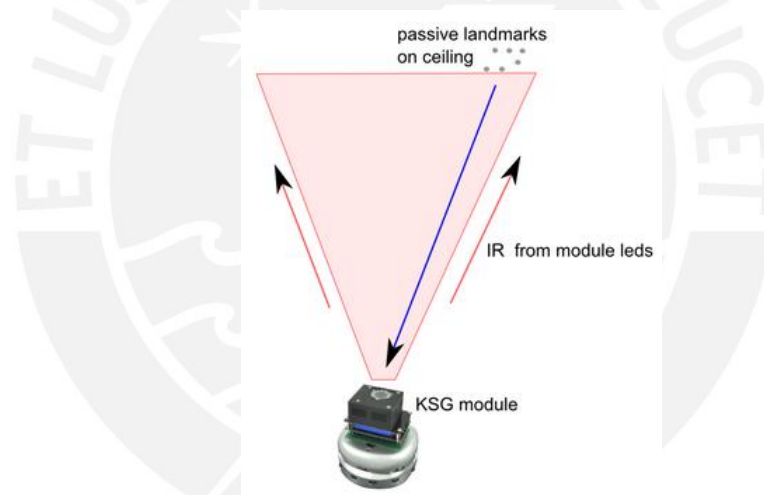


Figura 3.1.8: Principio de funcionamiento del Sensor StarGazer. Extraído de: <http://www.k-team.com/mobile-robotics-products/old-products/khepera-iii/kh3-ksg>

Con respecto a las referencias pasivas, existen de dos tipos:

- HLD1 3 x 3: Con estas referencias se pueden lograr 31 combinaciones posibles, por lo que son ideales para ambientes pequeños como hogares y oficinas. En la figura 3.1.9 se aprecia una referencia pasiva HLD1 3 x 3, en donde se indican los valores hexadecimales correspondientes a cada línea, los cuales son interpretados como distancia y orientación del robot hacia la referencia.
- HLD2 4 x 4: Con estas referencias se pueden lograr 4095 combinaciones posibles, por lo que son ideales para ambientes amplios como auditorios o salones de conferencias.

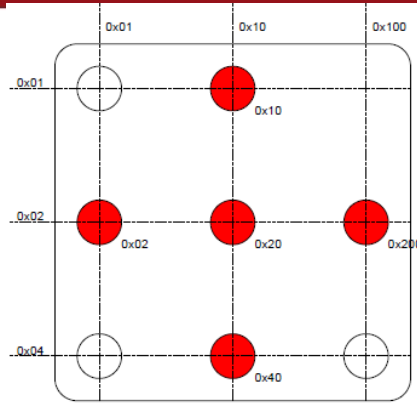


Figura 3.1.9: Referencia pasiva 3 x3 con valores hexadecimales

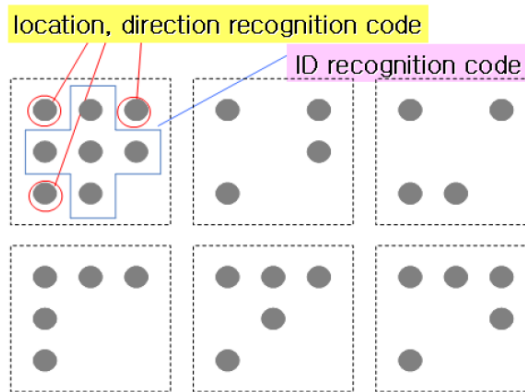


Figura 3.1.10: Características de la referencia pasiva 3 x 3. Extraído de: <https://roadnarrows.com/products/hagisonic-stargazer-hld1-l-landmark>

Una vez que el sensor de localización StarGazer ha determinado la distancia y el ángulo de orientación del robot anfitrión con respecto a las referencias pasivas, envía esta información mediante comunicación serial UART hacia el microcontrolador ATmega 2560 siguiendo el siguiente formato:

~	^	F	±aaaa.aa ±xxxx.xx ±yyyy.yy iiii	.
		I		
		Z		
^		Means the result data		
F		Indicates the Map-Building Mode		
I		Indicates the Map Mode		
Z		Indicates the Height Calculation Mode		
±aaaa.aa		Value of Angle (degrees; -180°~+180°)		
±xxxx.xx		Position on X axis (cm)		
±yyyy.yy		Position on Y axis (cm)		
iiii		The number of an ID		

Figura 3.1.11: Sintaxis del envío de data hacia el microcontrolador ATmega 2560

- **Map Building Mode (F):** Este modo es usado para que el sistema de localización grabe el identificador y la información de cada una de las referencias en el ambiente en que trabajará el robot.
- **Map Mode (I):** Este modo es usado para que el sistema calcule la posición y el ángulo del robot (luego de realizar el Map Building Mode) y la envíe mediante UART al microcontrolador para su posterior procesamiento.
- **Height Calculation Mode (Z):** Este modo es usado para medir la altura de las referencias, en caso se tengan diferentes alturas en el espacio de trabajo del sistema localizador.

Así por ejemplo, si el sensor StarGazer envía la siguiente información mediante UART:  $\sim^{\wedge}I+150.23/-33.12/+12.00/64^{\circ}$ , mediante un algoritmo el robot interpretará que se encuentra en el modo de Mapa, a un ángulo de  $+150.23^{\circ}$  y en la posición en  $X=-32.12$  cm e  $Y=+12.00$  cm con respecto a la referencia que posee un identificador de 64.

### SUBSISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

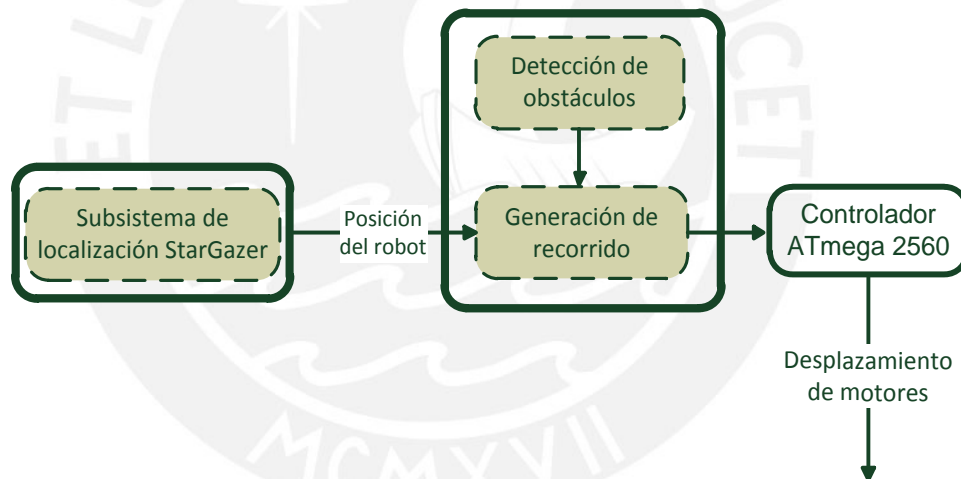


Figura 3.1.12: Diagrama de bloques del subsistema de desplazamiento

El subsistema de desplazamiento es la base del prototipo, ya que comandará todos los movimientos del robot. En primer lugar, el robot cuenta con 8 sensores ultrasónicos, los cuales estarán dispuestos estratégicamente y alrededor de la base del robot (Círculos rojos de la Figura 3.1.13) y nos permitirán detectar cualquier obstáculo o pared alrededor del robot anfitrión. El máximo rango de detección de los sensores ultrasónicos es de 3m y posee un ángulo de sensado de  $55^{\circ}$ .

En base a la información que el microcontrolador ATmega 2560 recibe de los sensores, se creará una tabla en la memoria EEPROM del controlador con los valores lectura de los sensores (en cm) y, de esta forma, se tendrá la ubicación en el espacio (3er Piso del CETAM) del robot anfitrión.

Por otro lado, este subsistema también recibe la información del subsistema de localización infrarroja (sensor StarGazer). Con esta data, se conocerá la posición del robot en el espacio interior con respecto a la referencia pasiva a la cual desea dirigirse.

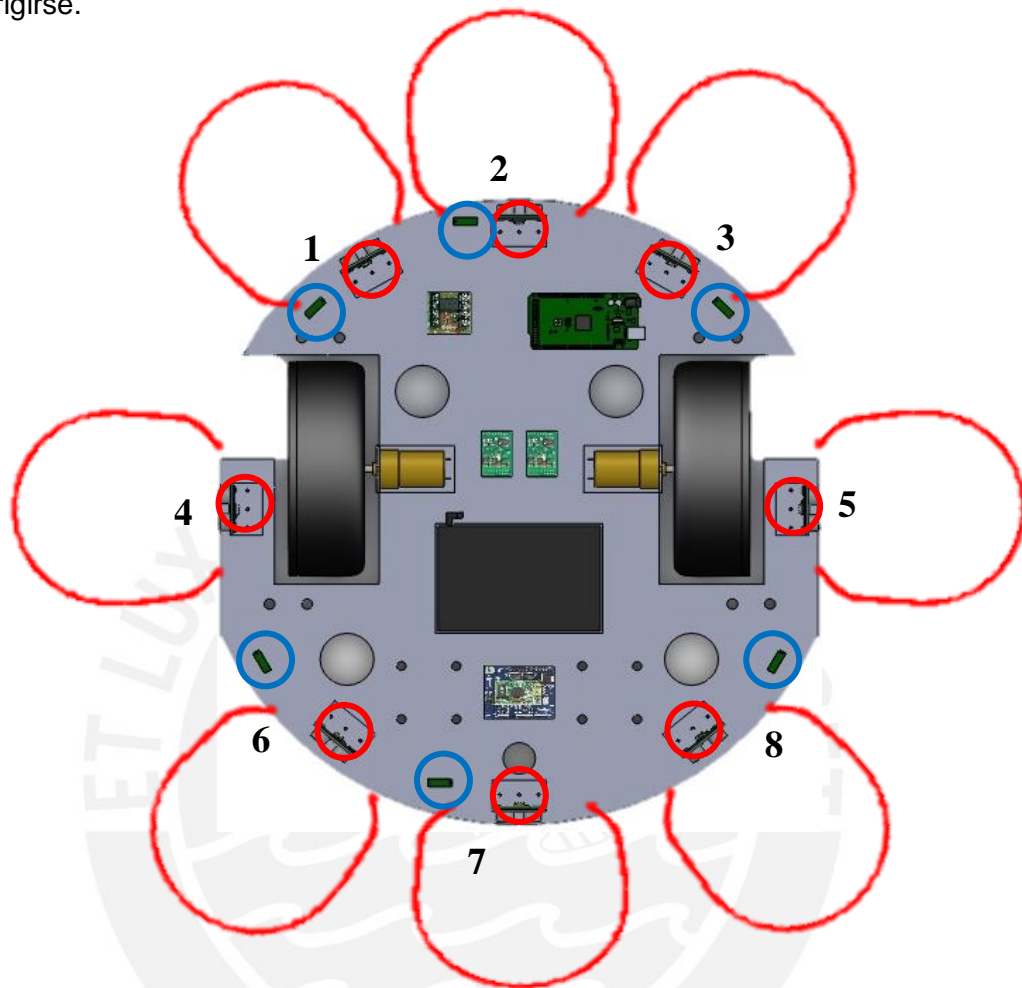


Figura 3.1.13: Área cubierta por los sensores ultrasónicos en el robot anfitrión

Para lograr esto, el microcontrolador ATmega 2560 recibirá la data entregada por el sensor de localización cada 100 ms mediante los parámetros de comunicación UART (Figura 3.1.14). Esta data será procesada para poder obtener los valores numéricos del ángulo y las coordenadas X e Y. Una vez realizado esto, el microcontrolador mandará una señal al controlador de motores para empezar a mover el robot hacia la referencia deseada.

I/O Level	TTL 3.3V Output, 3.3V~5V Input
Baudrate	115200 bps
Data Bit	8bit
Stop Bit	1bit
Paraty Bit	None

Figura 3.1.14: Configuración del UART

Luego, junto la información recibida por el sensor StarGazer y de los sensores ultrasónicos que posee el robot anfitrión, un algoritmo de evasión y localización en el microcontrolador ATmega 2560 creará un camino óptimo para que el robot evada el obstáculo y llegue a la referencia.

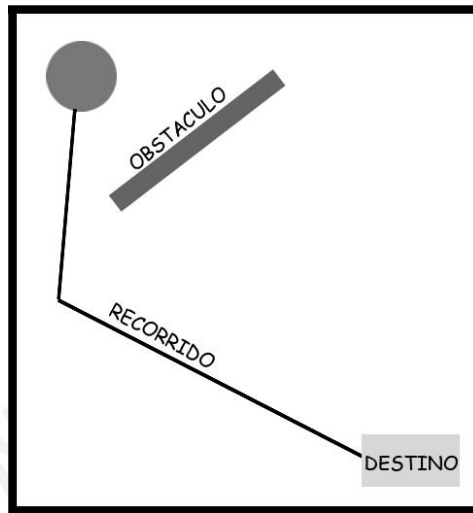


Figura 3.1.15: Recorrido explicativo del robot ante un obstáculo

Asimismo, este subsistema cuenta con 6 sensores infrarrojos usados para evitar que el robot caiga por las escaleras o por algún desnivel en el área de trabajo. Cuando la salida digital del sensor infrarrojo pase a ser '1' y sea enviada al microcontrolador ATmega 2560, se activará una interrupción externa, el robot se detendrá y, dependiendo de cuál de los 6 sensores fue activado, se alejará inmediatamente hasta que el sensor deje de estar activo (Círculos azules de la Figura 3.1.13).

### SUBSISTEMA DE INTERACCION HUMANO - ROBOT

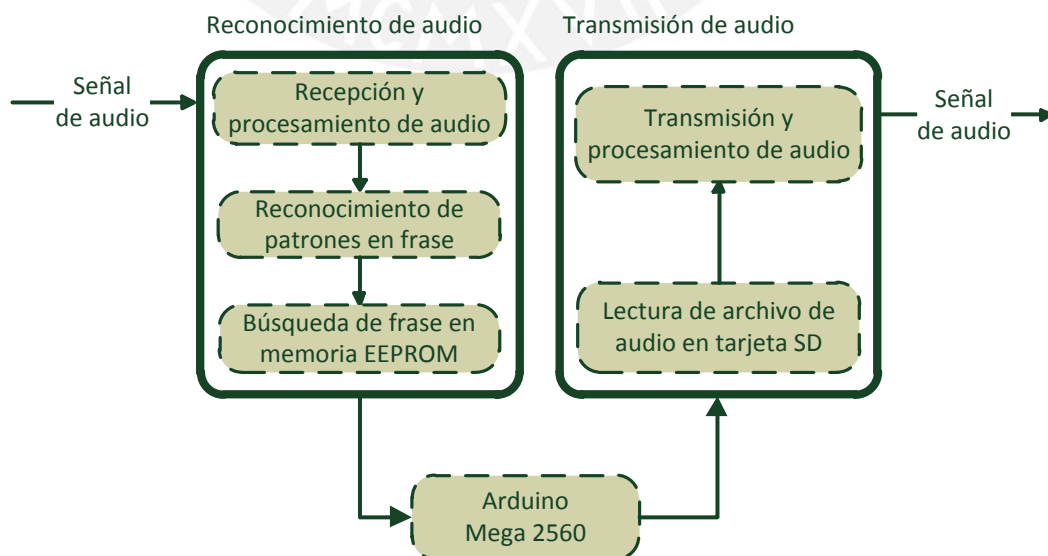


Figura 3.1.16: Diagrama de bloques del subsistema de interacción humano - robot

Este subsistema se encargará de la interacción entre el robot anfitrión y la persona que se acerque al robot. Como se muestra en la figura 3.1.16, el robot anfitrión cuenta con dos módulos asociados a sonidos: El primero es el módulo de reconocimiento de audio o voz que posee un circuito llamado EasyVR usado para recibir e interpretar las frases (señales de audio) habladas por las personas y asociarla a una frase grabada en su memoria. En base a este módulo, el robot podrá entender las frases o preguntas que algún alumno o profesor mencione.

Por otro lado, el módulo de transmisión de audio se encargará de reproducir frases, pregrabadas como archivos de sonido con extensión “.ad4” de la tarjeta SD que posee. Este módulo puede contener un máximo de 512 grabaciones de audio o 2Gb de información. El microcontrolador ATmega 2560 se encargará de escoger el audio a reproducir mediante comunicación serial siguiendo un código de comando como se muestra en la figura 3.1.17.

COMMAND CODE	FUNCTION	DESCRIPTION
0000h – 01FFh	AUDIO FILE ADDRESS	Selects one of the pre-stored audio/sound/voice files in the microSD memory card (up to 512 files max).
FFF0h – FFF7h	VOLUME	Volume adjustment codes. Total of 8 levels. FFF0h is the minimum and FFF7 is the maximum (also the default) volume level. The volume can be adjusted during play or standby state.
FFFEh	PLAY/PAUSE	Plays or Pauses the current audio file.
FFFFh	STOP	Stops playing the current audio file and puts the module in the low power idle mode.
<b>Table 1: Command Code Description</b>		
COMMAND CODE	FILE ADDRESS	FILE NAME
0000h (0000dec)	File Address 1	“0000.ad4”
0001h (0001dec)	File Address 2	“0001.ad4”
0002h (0002dec)	File Address 3	“0002.ad4”
..	..	..
01FFh (0511dec)	File Address 512	“0511.ad4”

Figura 3.1.17: Descripción del código de comando

Una vez que el robot anfitrión detecte y reconozca el rostro de una persona, un algoritmo de programación decidirá la acción posterior del robot, la cual consiste en una pregunta realizada por el robot. Por ejemplo, si un estudiante acude al 3er Piso del CETAM, entonces el robot le preguntará “Hola, ¿A qué lugar se dirige?”. El alumno naturalmente mencionará el nombre del lugar, por ejemplo, “Laboratorio de Sensores y Actuadores”. Luego de recibir este mensaje, el robot usará el módulo de reconocimiento de voz EasyVR para procesar la frase dicha por el alumno, relacionarla a palabras claves pregrabadas en su memoria y enviar una señal al microcontrolador ATmega 2560, el cual le indicará al subsistema de localización infrarroja que debe buscar la referencia pasiva que pertenece al laboratorio que el alumno mencionó. Una vez culminada esta acción, el robot usará el módulo de transmisión de audio para reproducir un sonido de despedida (“Hasta luego”) y volver a su posición inicial.

En el caso de que se detecte y reconozca el rostro de un profesor que trabaja en el 3er Piso del CETAM, la conversación será diferente a la realizada con un alumno. Por ejemplo, el robot anfitrión preguntará “¿Desea recordar su agenda del día de hoy?”. Si el profesor responde afirmativamente, entonces microcontrolador ATmega 2560 buscará en la memoria SD del módulo de transmisión de audio la lista de actividades académicas a realizar por el docente ese día y se las mencionará.

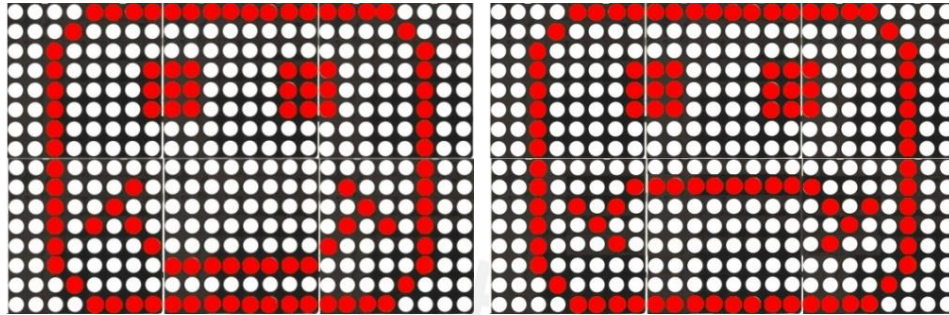


Figura 3.1.18: Imágenes formadas con las matrices de LEDs

Adicionalmente, se cuenta con 6 matrices de LEDs 8x8, distribuidas de tal manera que forman una matriz de 16x24, la cual podrá mostrar gestos de rostros. La representación gráfica de los rostros se tendrá en la memoria EEPROM del controlador Raspberry Pi y serán enviados usando el protocolo de comunicación SPI a un circuito controlador que estará conectado a las matrices de LEDs. Estas imágenes pueden diversos gestos como una cara feliz, cuando una persona se acerca (Figura 3.1.18), o una cara triste, cuando la persona se aleja. Para poder visualizar gestos de rostros en las matrices de LEDs se tendrá que enviar los datos usando el protocolo de comunicación SPI desde la placa reducida Raspberry Pi hacia la tarjeta controladora serial.

Los datos de entrada en el dispositivo deben ser provistos a través del pin MISO, mientras que los datos de salida del dispositivo se darán por el pin MOSI. Si el pin CS este en alta (5V) toda la entrada de data será ignorada, y si el pin CS este en baja (0V), los datos se copiarán en la memoria intermedia del controlador. Esta memoria intermedia es de 64 bytes, la cual representa cada posición en la matriz y el color deseado de cada LED (rojo o verde). Los 3 primeros bits de cada byte representan el nivel de brillo para el LED rojo, mientras que los próximos 3 bits representan el nivel de brillo para el LED verde. A continuación se muestra una tabla que ilustra la forma de construir el valor de su color.

Buffer Byte Representing and LED Color Value					
Red			Green		
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2

Figura 3.1.19: Significado binario de los datos a transmitir

En este caso se usarán 6 matrices de LEDs, por lo que será necesario concatenar los controladores de cada matriz (Figura 3.1.20). Cuando se realiza esto, las salidas de un controlador se vuelven las entradas del siguiente y, de esta manera, se tendrá que enviar 64 bytes de data para cada uno de los controladores. Con CS en baja se envía data al primer controlador, se esperan 10ms y se vuelve a enviar la data al 2do controlador, y así sucesivamente. La imagen no se mostrará hasta que todos los controladores hayan recibido la data.



Figura 3.1.20: Concatenación de dos tarjetas controladoras seriales

**SUBSISTEMA DE ALIMENTACION ELECTRICA**

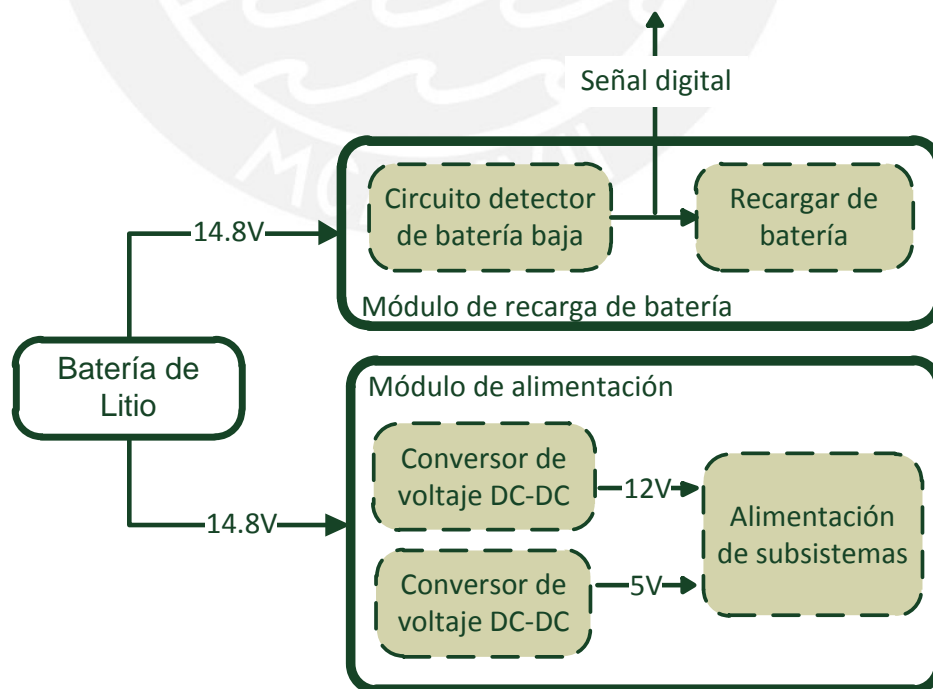


Figura 3.1.21: Diagrama de bloques del subsistema de alimentación eléctrica



El subsistema tendrá dos módulos principales: Un módulo de recarga de batería y un módulo de alimentación. El módulo de alimentación se encargará de suministrar el voltaje y corriente necesaria para los diferentes sensores y actuadores que posee el robot anfitrión.

Dado que para la batería del robot es de 14.8V, se tendrán dos circuitos conversores: Uno que está integrado en la batería de 14.8V y lo transforma en 12V (con un rizado de 1%), y otro que hará la conversión DC-DC para obtener 5V que posee un rizado máximo de 1%. (Figura 3.1.22).



Figura 3.1.22: Conversor buck DC/DC de 12V a 5V

Por otro lado, módulo de recarga de batería se encargará de alertar al robot cuando el nivel de carga de la batería este bajo (circuito detector de batería baja) mediante una señal digital al microcontrolador ATmega 2560, el cual ejecutará la función de recarga de batería. Esta señal debe interrumpir cualquier actividad que esté realizando el robot y movilizarlo hacia un cargador ubicado en el 3er Piso del CETAM.

El principio de funcionamiento del primer módulo es el siguiente: El robot estará funcionando con normalidad hasta que el circuito detector de batería baja (Figura 3.4.1) mande una señal al microcontrolador ATmega 2560. En este momento, el Subsistema de localización infrarroja buscará el ID (identificador) de la referencia pasiva que está ubicada por encima del cargador de batería. Una vez ubicada la referencia, enviará la información (posición del robot con respecto a la referencia) vía comunicación serial UART hacia el microcontrolador ATmega 2560. Luego, el subsistema de desplazamiento procesará esta información mediante un algoritmo de evasión y localización que generará el camino a seguir por el robot anfitrión hacia el cargador de la batería. Cuando el robot esté cerca del cargador, se desplazará lentamente para no golpearlo mandando señales PWM con un ciclo de trabajo pequeño hacia los motores. En caso el robot no encuentre el cargador en el punto de recarga, emitirá alarma sonora por 10 segundos para alertar que la carga de la batería está en nivel crítico.

## 3.2 Sensores y actuadores

### SUBSISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE ROSTROS

#### 1) Raspberry Pi Camera Board:

Este módulo de la cámara (RPI Cam) será usado exclusivamente por el Subsistema de Reconocimiento de Rostros para capturar la imagen del rostro de cualquier persona.

Esta cámara ha sido diseñada por la Fundación Raspberry Pi (Anexo 10), posee un tamaño reducido de 25x20x9 mm y presenta las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Video	Graba video a 1080p Puede transmitir video mientras graba vía HDMI.
Imagen	Alta resolución de imágenes capturadas (5 megapíxeles).
Angulo de visión	90°
Lentes	Puede usar lentes intercambiables Canon EF y Nikon F (Anexo 11).
Funciones de control	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enfoque automático.</li> <li>▪ Balance de blancos automático.</li> <li>▪ Filtro automático.</li> </ul>
Costo	Relativo bajo costo

Tabla 3.2.1: Especificaciones técnicas de la cámara Raspberry Pi



Figura 3.2.1: Cámara Raspberry Pi

#### 2) Giro de cabeza del robot anfitrión:

Se usará un motor DC para hacer girar la cabeza del robot anfitrión en ambos sentidos. De esta manera, el robot siempre podrá detectar el rostro de la persona sin importar si la persona se acerca por el costado del robot.

Este motor contará con dos sensores de efecto Hall que se usarán como encoder para controlar la posición, la velocidad y sentido de giro de la cabeza del robot, y así evitar que esta rote más de 120° en ambos sentidos. El motor es de la marca CYTRON TECHNOLOGIES, modelo DC Geared Motor with Encoder MO-SPG-30E-30K, que opera a 12V y posee un torque de 1.3 Kg/cm (Anexo 12 y 13).

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de entrada (V)	12
Velocidad (rpm)	103 rpm
Torque (kg/cm)	1.3
Potencia (W)	1.1
Reducción	30:1
Peso (Kg)	0.160
Control de posición	Dos sensores de efecto Hall

Tabla 3.2.2: Especificaciones técnicas del motor de la cabeza



Figura 3.2.2: Motor SPG-30E con encoder

Para la conexión con la cabeza se usa un acople cuyo modelo es Universal Aluminum Mounting Hub for 6mm Shaft, M3 Holes (Anexo 14). Adicionalmente, para la colocación de la placa controladora del motor se usarán separadores cuyo modelo es Aluminum Standoff: 1/2" Length, 2-56 Thread, M-F (Anexo 17).



Figura 3.2.3: Acople del motor con la cabeza del robot anfitrión

Finalmente, para el control de este motor, se contará con una tarjeta controladora marca Arduino, Ardumoto - Motor Driver Shield Retail y código DEV-09815 (Anexo 15), que tiene un tamaño adecuado para trabajar con la tarjeta Arduino Mega 2560 o la placa Raspberry Pi.

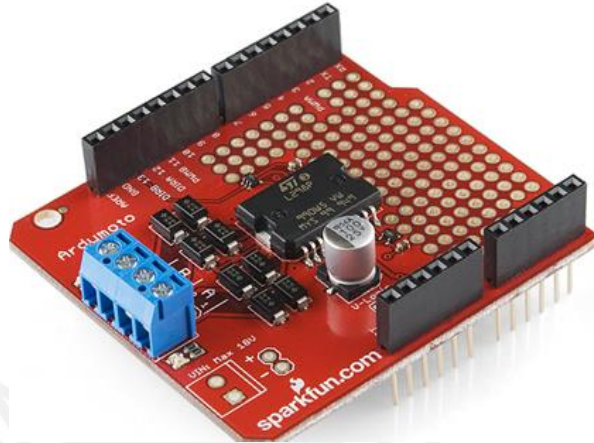


Figura 3.2.4: Tarjeta controladora ARDUMOTO

### 3) Sensor de movimiento (PIR):

Este sensor pasivo de movimiento infrarrojo detecta el movimiento de una persona o un objeto en un rango de hasta 7m con un ángulo de detección de 140° (Figura 3.2.5). El sensor mandará una señal digital, con una resistencia en Pull-Down de 10K, al controlador Raspberry Pi cuando se detecte movimiento de una persona en el 3er Piso del CETAM. De esta manera, el motor empezará a girar hasta que la cámara detecte el rostro de una persona. La hoja técnica del este sensor se encuentra en el Anexo 18.

.Adicionalmente, se cuenta con un soporte fabricado con acero inoxidable 316 (AISI 316) de 1mm de espesor. El sensor infrarrojo de movimiento posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	3 a 6 VDC
Consumo de corriente	12mA a 3V 23mA a 5V
Comunicación	Bit en baja o en alta (5V)
Temperatura de operación	0 a 50 °C
Tiempo de calibración	60 s
Dimensiones (L x W x H)	35.4 x 30.6 x 20.3 mm

Tabla 3.2.3: Especificaciones técnicas del sensor PIR

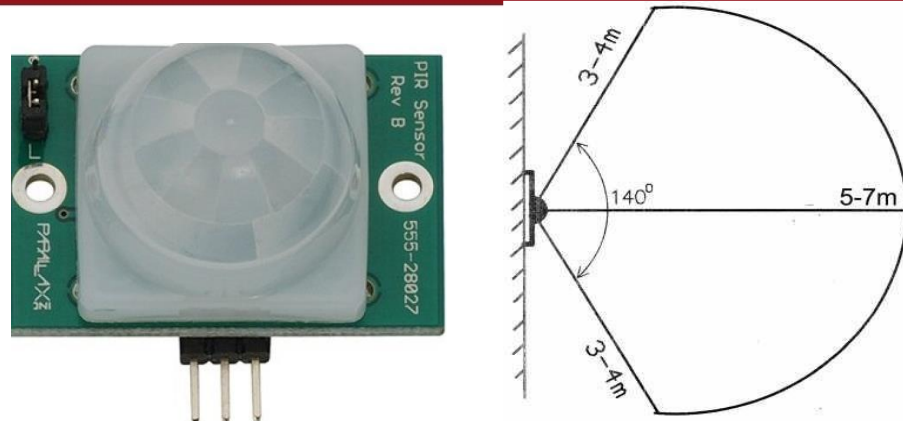


Figura 3.2.5: Sensor de presencia infrarroja (PIR) y campo de detección

Todos los sensores y actuadores mencionados en este subsistema de reconocimiento de rostros se encuentran dentro de la cabeza del robot anfitrión (Figura 2.2.7).

## SUBSISTEMA DE LOCALIZACION INFRARROJA

### 1) Sensor de localización StarGazer

Este sensor es una solución innovadora para la localización en interiores de los robots móviles inteligentes. Su principio de funcionamiento es la de analizar imágenes de rayos infrarrojos reflejados desde una referencia pasiva. Cada referencia posee un identificador independiente y único, el cual es codificado para determinar la distancia y la orientación del robot con respecto a la referencia pasiva. Este sensor es de la marca HAGISONIC, modelo Hagisonic StarGazer RS Robot Localization System (US) y código RB-Hag-06 (Distribuidor RobotShop), que opera a 12V y, transmite y recibe información vía UART (Anexo 19).

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	5 a 12 VDC
Consumo de corriente	300mA a 5V 70mA a 12V
Tipo de Comunicación	Serial UART (TTL 3.3V)
Protocolo de comunicación	Basado con código ASCII
Repetitividad	2 cm
Resolución del ángulo	1°
Rango de localización de Landmark	2.5 a 5m de diámetro
Tiempo de medición	20 veces por segundo
Dimensiones (L x W x H)	35.4 x 30.6 x 20.3 mm

Tabla 3.2.4: Especificaciones técnicas del sensor de localización StarGazer



Figura 3.2.6: Sensor de localización StarGazer

Asimismo, como ya se mencionó anteriormente, es necesario tener referencias pasivas en puntos clave, como por ejemplo, a la entrada del Laboratorio de Sensores y Actuadores, a la entrada del Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria, a la entrada de las Oficinas Administrativas y encima del cargador de batería. De esta manera, el robot solo tendrá que conocer la ID de las referencias para dirigirse a ellas. La referencias pasivas a usar son de la marca HAGISONIC, modelo Hagisonic StarGazer Landmark HLD1-S 3x3 Grid (1-2.9m Ceiling) y código RB-Hag-02. La hoja técnica del sensor se encuentra en el anexo 20.



Figura 3.2.7: Referencia pasiva de la marca Hagisonic



Figura 3.2.8: Separadores de aluminio para el sensor StarGazer

Adicionalmente, para la colocación del sensor de localización StarGazer se usarán separadores modelo Aluminum Standoff: 1/2" Length, 2-56 Thread, M-F (Anexo 17).

## SUBSISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

### 1) Desplazamiento del robot anfitrión:

El robot anfitrión cuenta con dos motores DC con reducción planetaria que poseen las mismas características y dimensiones. El motor escogido es de la marca Maxon, modelo EC-max 30 Ø30 mm, Conmutación electrónica

(Brushless) con sensores Hall (Anexo 21) y posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	12 VDC
Consumo de corriente	En vacío: 396 mA Nominal: 4.72 A (máx. corriente en continuo)
Velocidad	En vacío: 7980 rpm Nominal: 6590 rpm
Torque	En vacío: 63.6 mNm Nominal: 381mN.m (máx. par en continuo)
Control de posición	Tres sensores de efecto Hall
Diámetro del eje	4 mm
Peso	300 g
Rendimiento	80%

Tabla 3.2.5: Especificaciones técnicas del motor Maxon de la base

Asimismo, reductor planetario a usar es de la marca Maxon, modelo Reductor planetario GP 26 A Ø26 mm, 0.75–4.5 Nm (Anexo 22), el cual posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Tipo de reductor	Engranaje planetario
Relación de reducción	35:1
Máximo diámetro del eje del motor	4 mm
Máximo par continuo	2.25 Nm
Peso	77 g
Rendimiento	80%

Tabla 3.2.6: Especificaciones técnicas del reductor del motor Maxon



Figura 3.2.9: Motor y reductor planetario MAXON

La elección tanto del motor DC como el de la reducción planetaria está fundamentada en el anexo 47.

Debido a los 3 sensores de efecto Hall incorporados que poseen los motores, se podrá controlar con precisión la posición y velocidad del robot anfitrión. Por tanto, se usará un controlador de la marca Maxon, modelo DEC Module 50/5, Amplificador digital 1-Q-EC (Anexo 23), cuyo voltaje de operación va desde 6V a 56V y puede entregarnos una corriente máxima de 10A. Adicionalmente, estas tarjetas permiten controlar el sentido de giro, la velocidad, la habilitación y paro de motores y además entregar el valor de la velocidad real a la que se mueven los motores. Esta tarjeta controladora posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Capacidad de control	Hasta 250 W
Voltaje de operación	6 a 50 VDC
Consumo de corriente	Corriente de salida máxima : 10 A Corriente de salida en continuo: 5 A
Control de lazo cerrado	SI
Número de entradas	4 digitales y 2 analógicas
Número de salidas	2 digitales
Funciones de protección	Límite de corriente, sobretensión, sobretensión, tensión insuficiente.
Temperatura de operación	-10 a 45 °C
Rendimiento	94%
Peso	9 g
Dimensiones (L x W x H)	43.18 x 27.94 x 12.7 mm

Tabla 3.2.7: Especificaciones técnicas del controlador de motores Maxon

Finalmente, para la colocación de la tarjeta controladora de los motores se usarán separadores cuyo modelo es Aluminum Standoff: 1/2" Length, 2-56 Thread, M-F (Anexo 17).

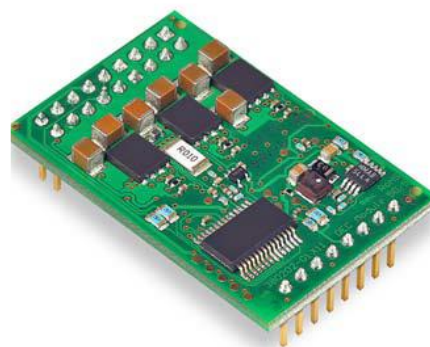


Figura 3.2.10: Controlador de motores Maxon



Finalmente, el robot anfitrión cuenta con dos neumáticos de goma negros de la marca SuperDroid Robots, modelo Robot Drive Wheel - 6 inch Solid Core Tire y código TD-110-006 (Anexo 24), que poseen un diámetro de 6 pulg, un ancho de 2 pulg y pesan aproximadamente 375 gramos. Asimismo, cuenta con dos ruedas locas de la marca RobotShop, modelo 1.5" Omni-Directional Caster Wheel w/ Brake y código RB-All-66 que servirán de soporte al robot.



Figura 3.2.11: Neumático y rueda de apoyo del robot anfitrión

## 2) Detección de obstáculos y desniveles:

Para la detección de obstáculos se usarán 8 sensores ultrasónicos distribuidos alrededor de la base del robot anfitrión (Figura 3.1.13). El rango de detección de este sensor es de 1cm a 4m con una resolución de 3cm. Al conectar el pin Mode al pin GND, se podrá usar el pin Trigger como receptor y emisor a la vez. De esta manera, solo usaremos una entrada digital de nuestra tarjeta controladora Arduino Mega 2560 para calcular la distancia del móvil con respecto al obstáculo detectado. El sensor ultrasónico es de la marca Devantech, modelo SRF04 Ultrasonic Range Finder (Anexo 25). Este sensor posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	5 VDC
Consumo de corriente	30mA
Frecuencia de muestreo	40 KHz
Rango de detección	Máximo: 3 m Mínimo: 3 cm
Tipo de salida	Analógico
Dimensiones (L x W x H)	43 x 20 x 17 mm

Tabla 3.2.8: Especificaciones técnicas del sensor ultrasónico

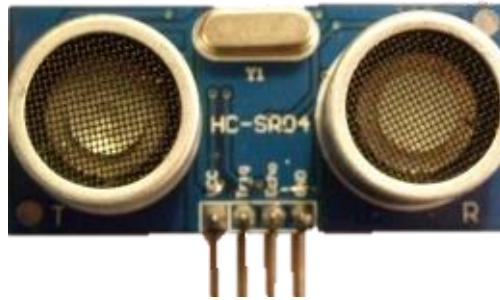


Figura 3.2.12: Sensor ultrasónico SRF04

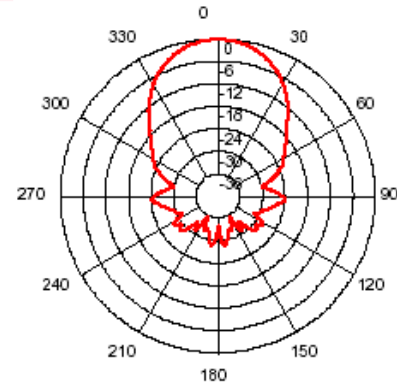


Figura 3.2.13: Campo de detección del sensor ultrasónico

Por otro lado, se contará con 6 sensores infrarrojos ubicados sobre la base del robot anfitrión, los cuales le indicarán al controlador si existe un desnivel en la superficie por donde se moviliza el robot. El sensor puede detectar distancias entre 0.5cm y 5cm por lo que, si el desnivel en el piso excede los 5cm, entonces el robot retrocederá y evitará una posible caída. El circuito que incluye el sensor infrarrojo (Anexo 26) posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	2.7 a 6.2 VDC
Consumo de corriente	5 mA
Tipo de sensor	Infrarrojo
Rango de detección	Máximo: 50 mm Mínimo: 5 mm
Tipo de salida	Digital
Dimensiones (L x W x H)	13.6 x 7 x 7.95 mm

Tabla 3.2.9: Especificaciones técnicas del sensor ultrasónico

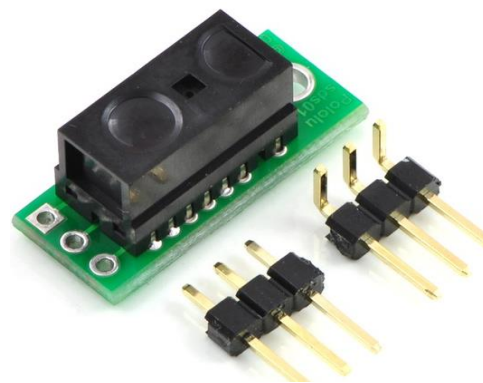


Figura 3.2.14: Sensor infrarrojo GP2Y0D805Z0F

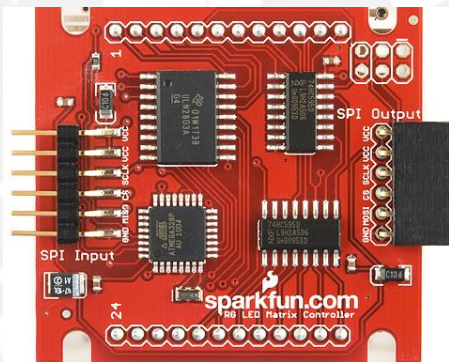
**SUBSISTEMA DE INTERACCION HUMANO – ROBOT**

**1) Proyección de gestos con matrices LEDs:**

Para la visualización de los gestos de los rostros en las 6 matrices de LEDs, se tendrán que adquirir 6 controladores de la marca SparkFun, modelo LED Matrix - Serial Interface - Red/Green (Anexo 28) que poseen las siguientes características de operación:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	4.5 a 5.25 VDC
Consumo de corriente	Nominal: 120 mA Máxima: 275 mA
Cantidad de LEDs	64 LEDs con color dual
Conexión	6 pines para programar
Dimensiones (L x W x H)	58 x 58 x 12.7 mm

**Tabla 3.2.10: Especificaciones técnicas del controlador serial de LEDs**



**Figura 3.2.15: Tarjeta controlador serial para las matrices de LEDs**

Asimismo, se usarán matrices de led de color dual de la marca SparkFun, modelo LED Matrix - Dual Color – Medium Size y código COM-00682 (Anexo 27), los cuales se conectan directamente a las tarjetas controladoras.



**Figura 3.2.16: Matriz de LEDs**

**2) Reconocimiento de voz EasyVR:**

Para el reconocimiento de voz de una persona se usará un módulo de reconocimiento de voz que puede trabajar con cualquier microcontrolador mediante una comunicación serial UART. Este módulo llamado EasyVR es de la marca Veeear, modelo EasyVR Speech Recognition Module (Anexo 29). Este módulo posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	3.3 a 6.5 VDC
Consumo de corriente	Modo sleep: <1 mA Modo operación: 12 mA Modo reproducción: 150 mA
Temperatura de operación	0 a 70 °C
Número de entradas/salidas	6 pines digitales de propósito general (I/O)
Entrada de micrófono	SI
Idiomas	Soporta 6 idiomas: Inglés, italiano, japonés, alemán, francés y español.
Comandos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene 26 comandos y voces pre-programadas por el fabricante en todos los idiomas.</li> <li>• Admite hasta 64 comandos de voz definidas por el usuario en cualquier idioma.</li> </ul>
Comunicación con microcontrolador	Pines I/O a 5V
Dimensiones (L x W x H)	45 x 24 x 12.7 mm

**Tabla 3.2.11: Especificaciones técnicas del módulo de reconocimiento de voz**



**Figura 3.2.17: Módulo de reconocimiento de voz EasyVR**

Cabe mencionar que la compra del módulo incluye los cables de conexión, el software para grabar las frases desde una computadora y un micrófono omnidireccional modelo Horn EM9745P-382 (Anexo 30) que posee las siguientes características:

- Sensibilidad 38 dB (0 dB = 1V/Pa @ 1 KHz).
- Impedancia de carga: 2.2K.
- Voltaje de funcionamiento: 5V
- Respuesta de frecuencia casi plana en el rango de 100 Hz - 20 KHz.

Para conectar el módulo EasyVR a la computadora vía puerto USB es necesario tener un convertidor de UART a USB, en donde los pines que se conectarán son Tx, Rx, VCC y GND. El convertidor a usar es de la marca Cytron, modelo Cytron USB to UART Converter y código RB-Cyt-43 (Distribuidor RobotShop), el cual es compatible con Windows XP, Vista y Win7 (Anexo 31).



Figura 3.2.18: Tarjeta convertidora de UART a USB

### 3) Módulo de reproducción de audio:

Para que el robot anfitrión pueda comunicarse con cualquier persona es necesario que pueda reproducir sonidos y voces. Por ello, escogimos un módulo de reproducción de audio de la marca 4D SYSTEMS, modelo SOMO-14D (Anexo 32) que posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de alimentación	2.7 a 6.5 VDC
Voltaje de pines	3.3 V
Tarjeta de memoria	Soporta memorias de 4GB
Formato de audio	Formato .ad4
Comunicación	Entrada serial Data y Clock
Salida a parlantes	SI
Dimensiones (L x W x H)	20.3 x 18.3 x 12.7 mm

Tabla 3.2.12: Especificaciones técnicas del módulo de reproducción de audio

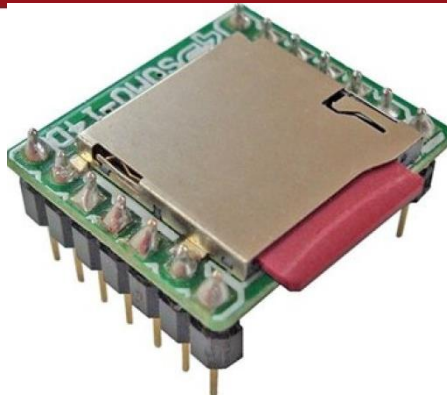


Figura 3.2.19: Circuito de reproducción de audio

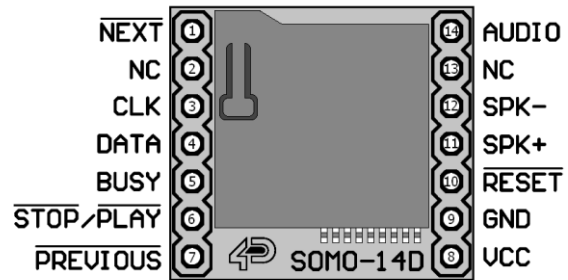


Figura 3.2.20: Pines del módulo de reproducción de audio

Debido a que el voltaje en los pines es 3.3V, se usará un convertidor bidireccional de voltaje de 3.3V a 5V (Anexo 34). Esta tarjeta recibe la información desde la placa Arduino Mega 2560 mediante una conexión serial a través de los pines DATA y CLK. A continuación se detalla la función de cada uno de los 14 pines que posee este módulo:

Pin	Symbol	I/O	Description
1	NEXT	I	Selects the Next Audio file from the memory card. Active LOW triggered input. Connect to a push-button in stand alone KEY-MODE.
2	NC	-	No Connect.
3	CLK	I	Serial Clock input from host micro-controller. SERIAL-MODE use only.
4	DATA	I	Serial DATA input from host micro-controller. SERIAL-MODE use only.
5	BUSY	O	BUSY signal. Active HIGH output. This signal is high when the module is playing an audio file from the uSD memory card. This pin can be connected to a LED via 470 Ohm resistor to GND.
6	PLAY/STOP	I	Play/Stop toggle input. Active LOW triggered input. Connect to a push-button in stand alone KEY-MODE.
7	PREVIOUS	I	Selects the Previous Audio file from the memory card. Active LOW triggered input. Connect to a push-button in stand alone KEY-MODE.
8	VCC	P	Main Voltage Supply +ve input pin. Working Voltage range is 2.7V to 3.6V, nominal 3.3V. Connect a capacitor in the range of 100uF to 470uF between this pin and supply ground.
9	GND	I	Supply Ground.
10	RESET	P	Master Reset signal. Active LOW triggered input. Internally pulled up. SERIAL-MODE: Can be controlled by external micro port or left open. KEY-MODE: Can be connected to a push button or left open.
11	SPK+	O	Speaker+ drive output. Connect to 8/16/32-Ohm, 250mW speaker +ve.
12	SPK-	O	Speaker- drive output. Connect to 8/16/32-Ohm, 250mW speaker -ve.
13	NC	--	No Connect.
14	AUDIO	O	16-bit DAC/PWM output for external amplifier drive (optional). Use the BUSY signal to enable the audio to eliminate clicks. See section 2.3

Figura 3.2.21: Funcionamiento de los pines del Módulo

Adicionalmente, se usará un parlante (Anexo 33), cuyo reducido tamaño y alta potencia es ideal para el robot anfitrión. Se conecta a los pines SPK- y SPK+ del módulo de reproducción de audio. Posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	5 VDC
Consumo de corriente	30 mA
Impedancia	100 $\Omega$
Respuesta en frecuencia	1000 a 4000 Hz
Temperatura de operación	-40 a 85 °C
Peso	9 g

Tabla 3.2.13: Especificaciones técnicas del parlante escogido



Figura 3.2.22: Parlante de la marca Pololu

## SUBSISTEMA DE ALIMENTACION ELECTRICA

### 1) Alimentación general

Para la alimentación de todos los subsistemas del robot principal se cuenta con una batería de la marca AA Portable Power Corp., modelo Custom Polymer Li-Ion Box Battery (Anexo 35), que posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje nominal	14.8 V
Capacidad	20 Ah
Regulación	Regulador DC-DC que brinda 12V y 8 A con un rizado de 1%
Tiempo de recarga	3 h
Cubierta	La cubierta es resistente al fuego y a prueba de agua. Resistente a los impactos.
Protección	Dos circuitos que limitan la corriente de descarga a 14A. Terminales de carga y descarga por separado.
Peso	2150 g
Dimensiones (L x W x H)	200 x 120 x 75 mm

Tabla 3.2.14: Especificaciones técnicas de la batería del robot anfitrión



**Figura 3.2.23:** Batería de 14.8V con regulador a 12V



**Figura 3.2.24:** Cargador de batería

Cuando el nivel de carga de la batería del robot esté bajo, un circuito detector (Figura 3.4.1) le indicará al robot que debe detenerse para recargar la batería. El cargador que se usará es de la marca AA Portable Power Corp., modelo Smart Charger (6.0A) for 14.8V Li-ion/Polymer Rechargeable (Anexo 38), el cual posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje entrada	AC 110~240V, 50-60 Hz
Voltaje salida	14.8 VDC
Corriente de salida	6 A
Capacidad	6 Ah
Protección	Contra sobrevoltaje y corriente inversa.
Peso	425 g
Dimensiones (L x W x H)	154 x 95 x 55 mm

**Tabla 3.2.15:** Especificaciones técnicas del cargador de la batería

Adicionalmente, se usa un convertidor de voltaje DC-DC para obtener un voltaje de 5V, el cual es necesario para alimentar a los sensores y algunos circuitos electrónicos. El circuito convertidor DC-DC (Anexo 42) posee las siguientes características:



**Figura 3.2.25:** Convertidor Buck de 12V a 5V



ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje entrada	10 a 30 VDC
Voltaje salida	5 V con un rizado de 1 %
Corriente de salida	8 A
Eficiencia	90 - 94%
Temperatura de operación	-10 a 75 °C
Peso	240 – 280 g
Dimensiones (L x W x H)	72 x 74 x 27 mm

Tabla 3.2.16: Especificaciones técnicas del convertidor 12V a 5V

El cálculo de potencia usada por el robot anfitrión que valida la elección de la batería se encuentra en el anexo 46. Finalmente, el cargador irá en una caja hecha en chapa metálica de 1mm de espesor y se agregarán dos interruptores como elementos de seguridad, los cuales habilitarán, cuando sean presionados, el flujo de corriente desde el cargador hacia los terminales en donde se conectará el robot anfitrión. Esto quiere decir, si ambos interruptores no son presionados, no pasará corriente por ambos terminales. Los interruptores son de la marca Omron Electronics, modelo Miniature Basic Switch D3V (Anexo 39).

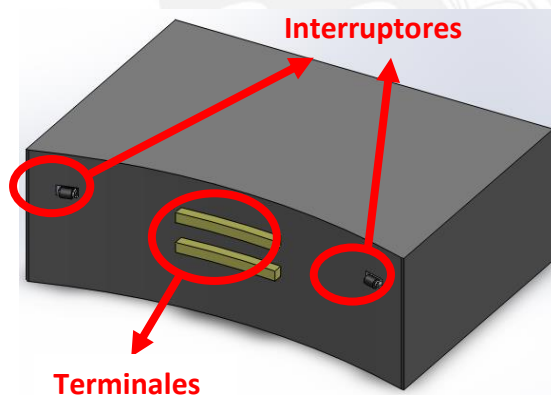


Figura 3.2.26: Caja que contiene al cargador



Figura 3.2.27: Interruptores

## CONTROLADORES DEL ROBOT ANFITRIÓN

### 1. Arduino Mega 2560:

Se encarga de procesar los datos recibidos por la mayoría de los subsistemas (excepto el Subsistema de Reconocimiento de Rostros), y de acuerdo a esto mandará señales para activar los motores de la base, sensor de localización Hagisonic, el prendido de las matrices de LEDs, entre otros. Esta tarjeta controladora posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada	6 – 20 V
Corriente por pines	40 mA
I/O analógicas	16
I/O digitales	54
Memoria Flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Frecuencia de trabajo	16 MHz
Dimensiones (L x W x H)	101.6 x 53.34 x 12.5 mm

Tabla 3.2.17: Especificaciones técnicas del microcontrolador ATmega2560

Se usará una tarjeta marca Arduino, modelo Mega 2560 R3 y código RB-Ard-33 (Anexo 43), cuyo voltaje de entrada puede estar entre 7V y 12V (Distribuidor RobotShop). En el anexo 44 se encuentran la validación de la selección de esta tarjeta.

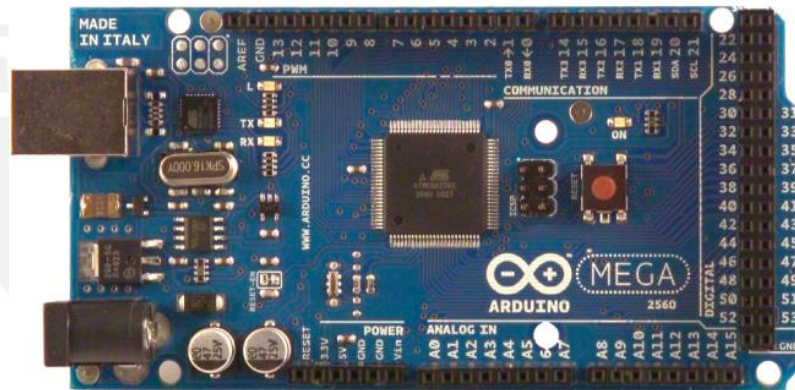


Figura 3.2.28: Controlador Arduino Mega 2560

## 2. Placa reducida Raspberry Pi:

Esta placa se encargará de procesar de la información proveniente del subsistema de reconocimiento de rostros, es decir, ejecutará el algoritmo de detección y reconocimiento de rostros. Además, tendrá guardada en la memoria SD que posee, la base de datos de los rostros de las personas que frecuentan el 3er Piso del CETAM. Por otro lado, el microcontrolador recibirá la información del sensor de movimiento (Figura 3.2.5) y mandará una señal a la tarjeta Ardumoto (Figura 3.2.4) para controlará el motor DC con encoder (Figura 3.2.2) que se usará para hacer girar la cabeza del robot. La placa reducida es de la marca Raspberry Pi, modelo Raspberry Pi Model B 512MB RAM (Anexo 45), el cual posee las siguientes características:

ESPECIFICACIONES	INFORMACIÓN TÉCNICA
Voltaje de entrada	6 – 20 V
Voltaje de pines	3.3 V
Consumo de corriente	500 mA
CPU (Unidad de central de procesamiento)	ARM1176JZF a 700 MHz
GPU (Unidad gráfica de procesamiento)	Broadcom VideoCore IV
Puertos USB	2
Entrada de video	Mediante conexión RCA o HDMI
Salida de video	Mediante conexión Jack o HDMI
Sistema operativo soportado	GNU/Linux: Debian (Raspbian)
I/O pines	18
Memoria SDRAM	512 MB
Dimensiones (L x W x H)	85.6 x 54 x 15 mm

Tabla 3.2.18: Especificaciones técnicas de la placa reducida Raspberry Pi



Figura 3.2.29: Placa reducida Raspberry Pi

Debido a que el voltaje en los pines es 3.3V, se usará un convertidor bidireccional de voltaje de 3.3V a 5V (Anexo 34). Asimismo, el Raspberry Pi tendrá que contener las librerías para ejecutar los algoritmos de reconocimiento de rostros, el set de entrenamiento y la base de datos de los rostros de las personas a reconocer, por tanto, se necesitará una memoria SD con una capacidad de 4GB que contenga el sistema operativo Raspbian Wheezy.

### 3.3 Planos del sistema mecatrónico

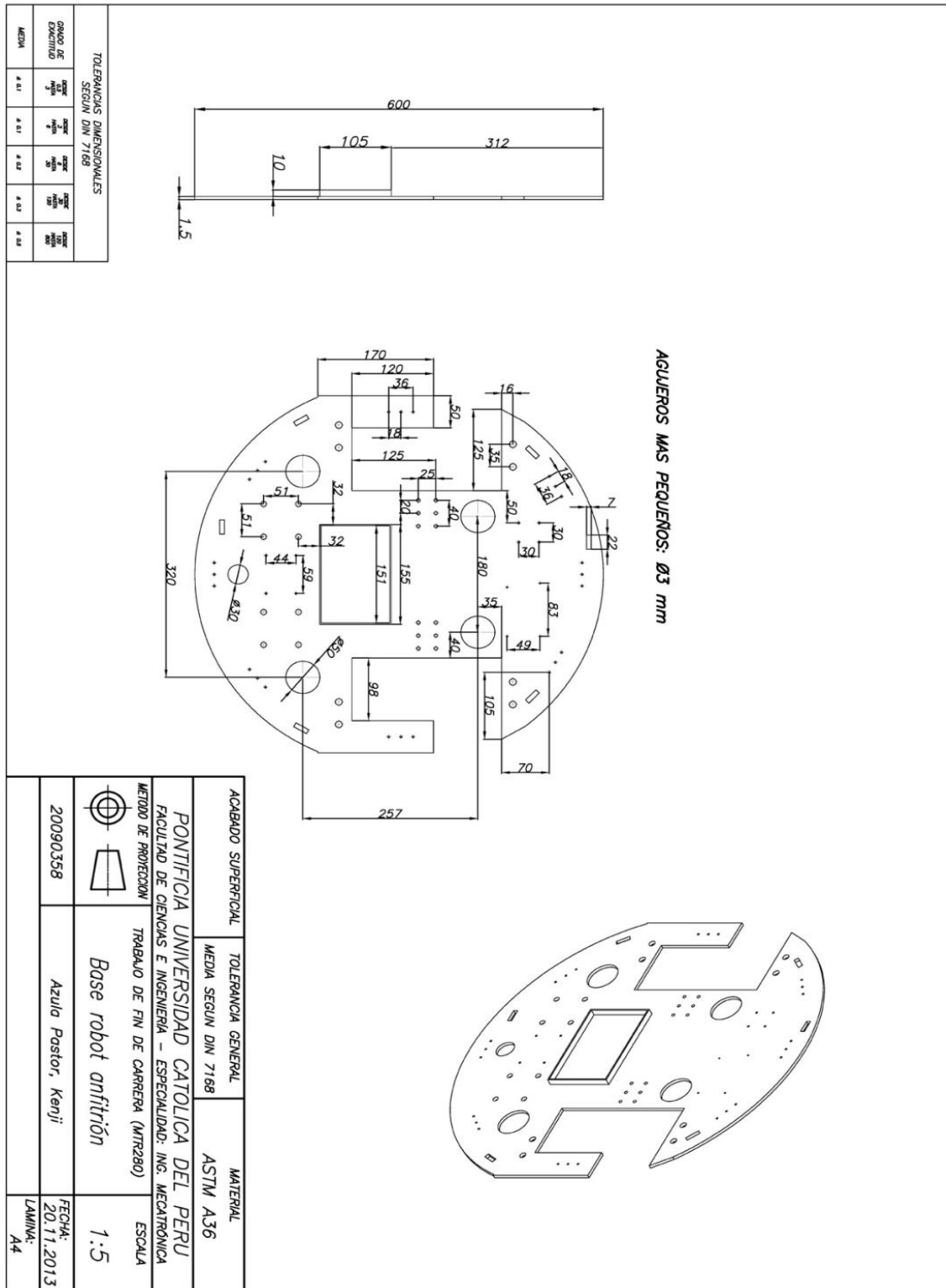


Figura 3.3.1: Plano de despiece de la base del robot anfitrión

Esta pieza será la parte del robot en donde se montarán los motores, los sensores ultrasónicos, los sensores infrarrojos, la batería recargable, las tarjetas electrónicas, los neumáticos de caucho y los ball caster. Posee agujeros por donde pasarán las conexiones eléctricas y electrónicas del robot. Será una pieza de chapa metálica hecha de acero al carbono.

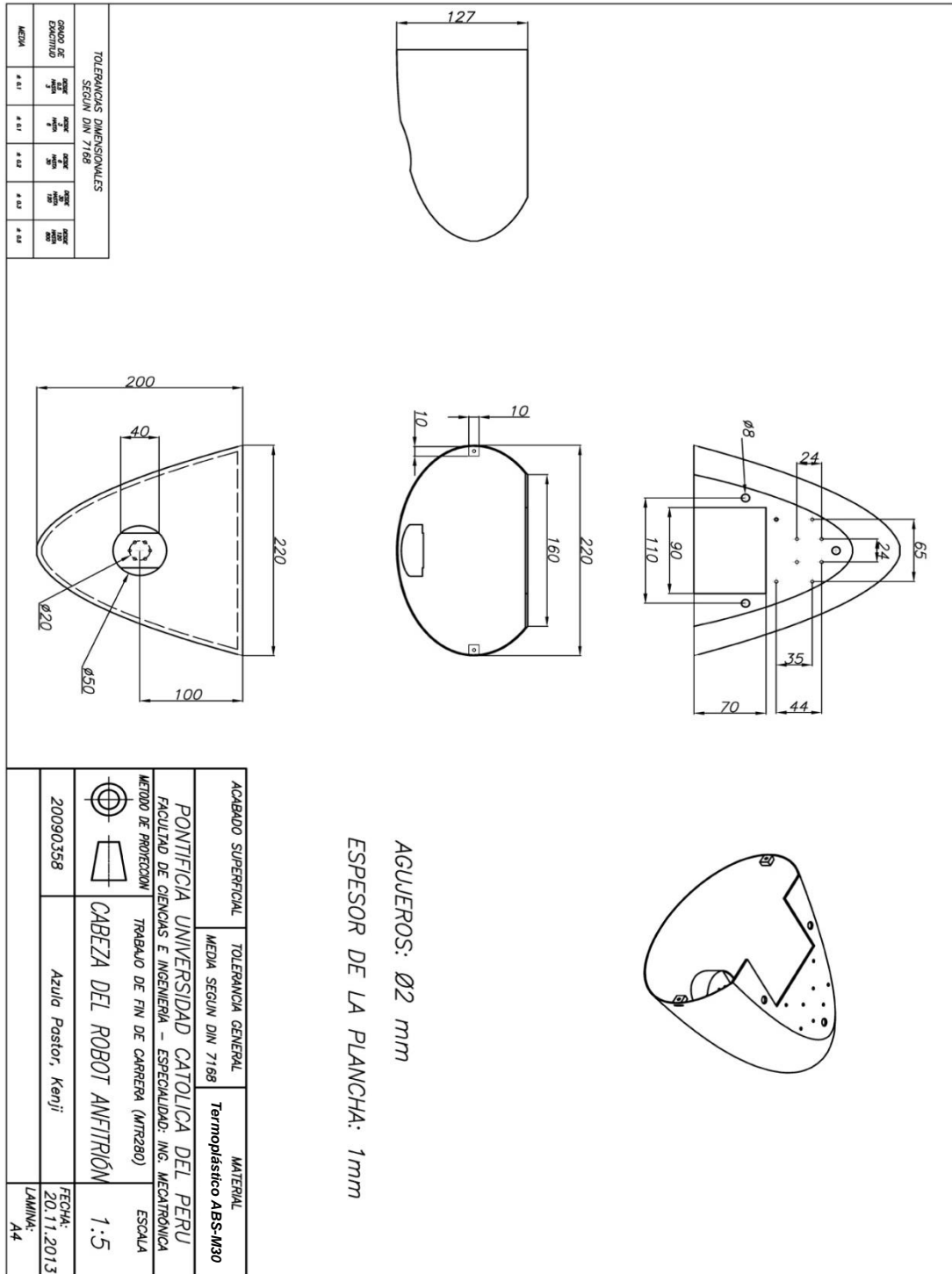
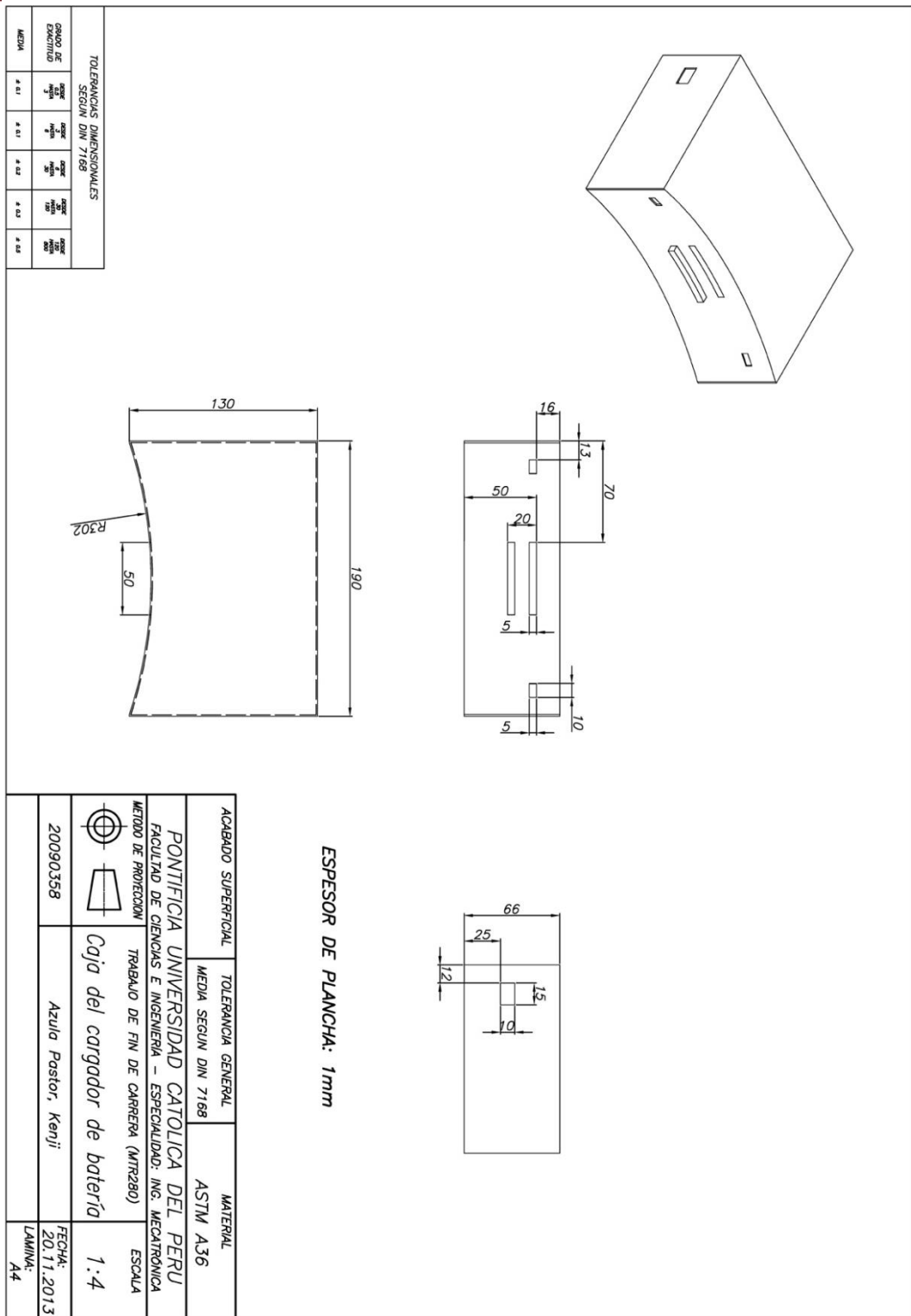


Figura 3.3.2: Plano de despiece de la cabeza del robot anfitrión

Esta pieza será la parte del robot en donde se montarán los dispositivos para que funcione el Subsistema de Reconocimiento de Rostros y el Subsistema de Interacción Humano – Robot. Tendrá en su interior la cámara, las la tarjeta de reproducción de sonido, el sensor de movimiento, el sensor de localización StarGazer, las matrices de LEDs y sus tarjetas seriales, el micrófono y parlante para la comunicación del robot con los visitantes al CETAM. Esta pieza será moldeada en la impresora 3D debido a su complejidad.



**Figura 3.3.3: Plano de despiece de la caja del cargador de batería**

Esta pieza contiene al cargador de la batería en su interior. Está diseñado para que la parte trasera del robot coincida exactamente con la parte curva de la caja. Además, tiene las ranuras para el montaje de un dispositivo de seguridad en su interior (formado por dos interruptores) que habilitarán o no el flujo de corriente por los conectores que se ubican en la parte curva. Será una pieza de chapa metálica hecha de acero al carbono.

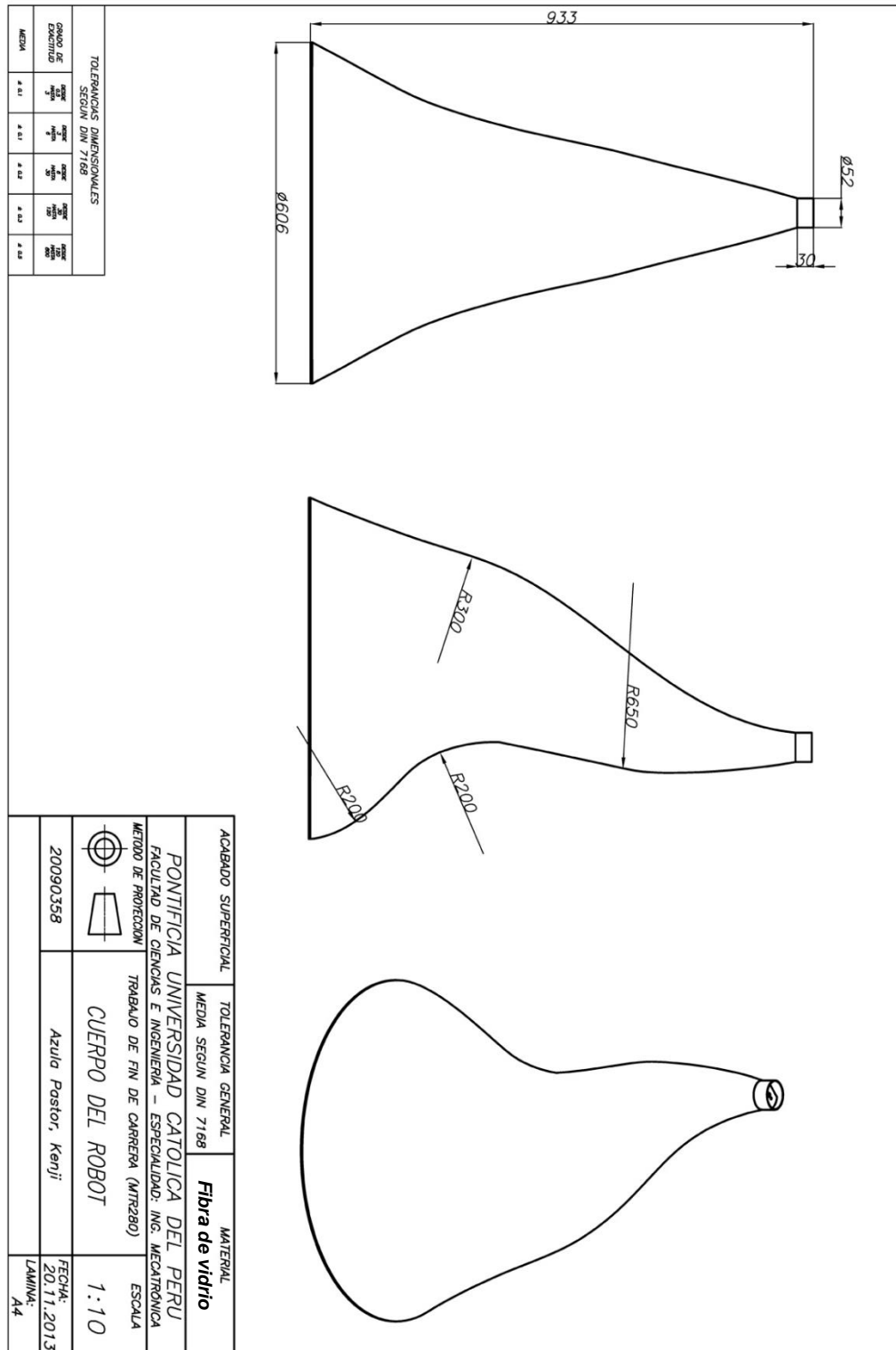


Figura 3.3.4: Plano de despiece del cuerpo del robot

Esta pieza está diseñada para ser la parte estética del robot anfitrión. Debido a la complejidad geométrica de su diseño y a la necesidad de reducir el peso total del robot, esta pieza será hecha en fibra de vidrio.

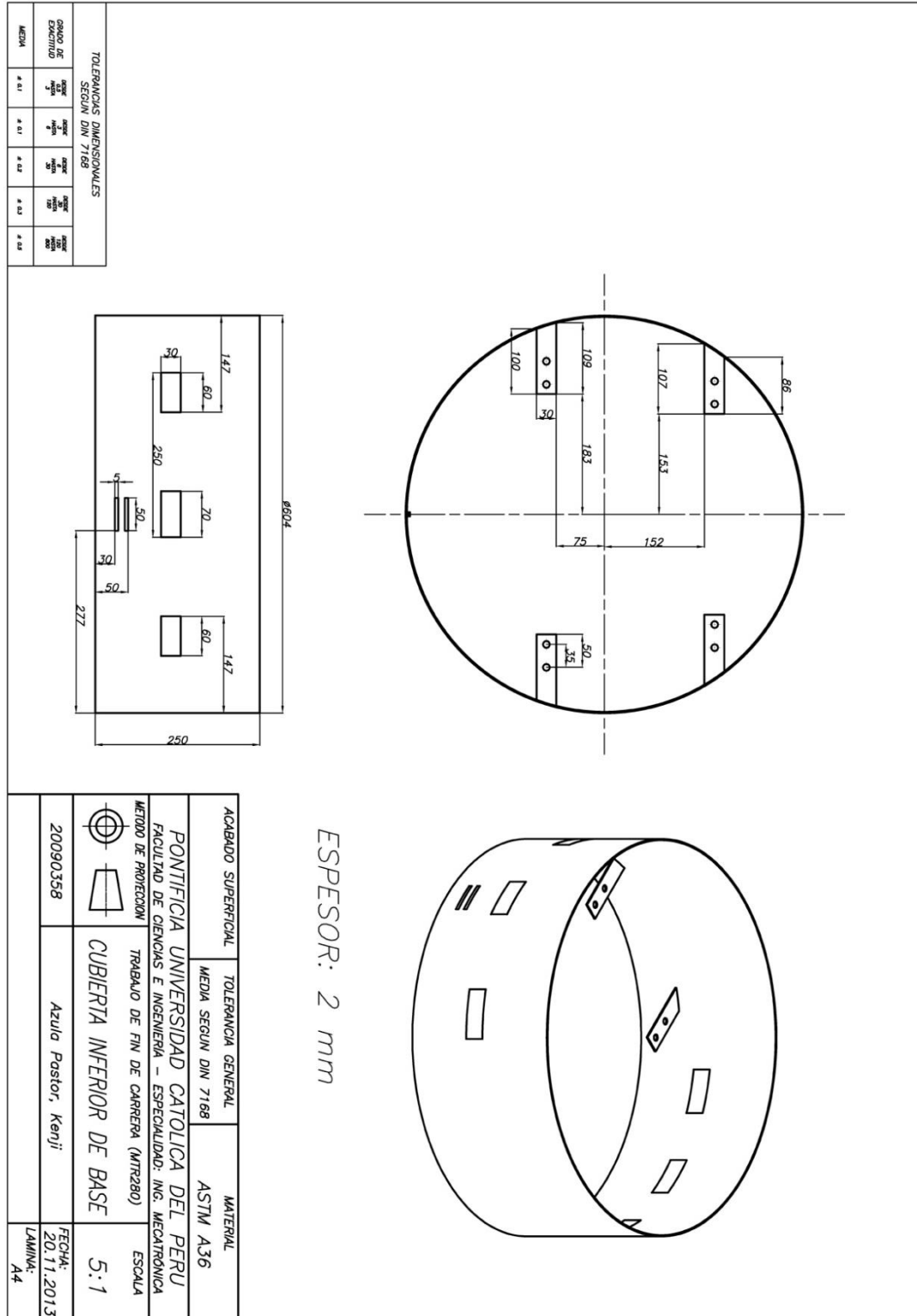
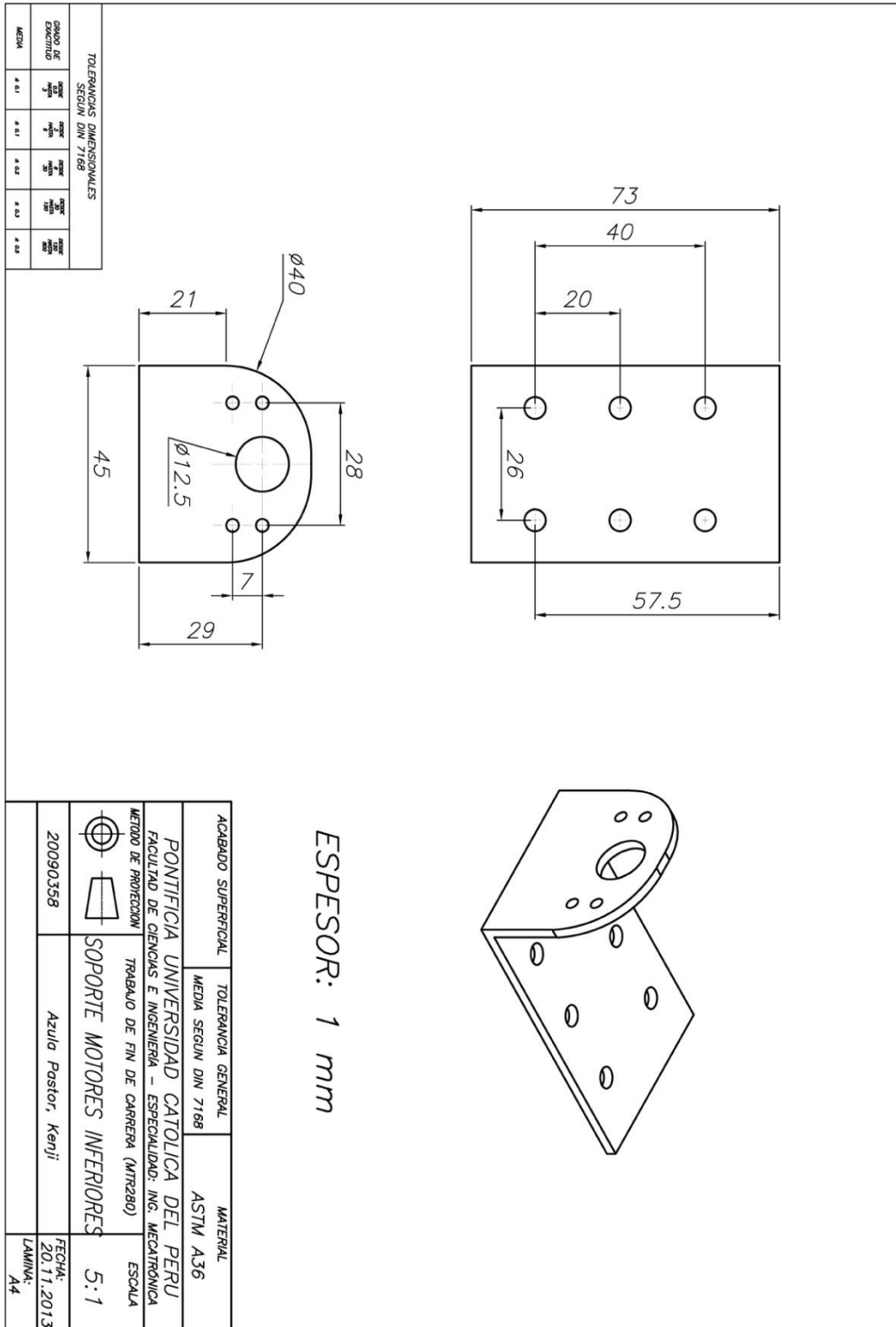


Figura 3.3.5: Plano de despiece de la cubierta inferior de la base

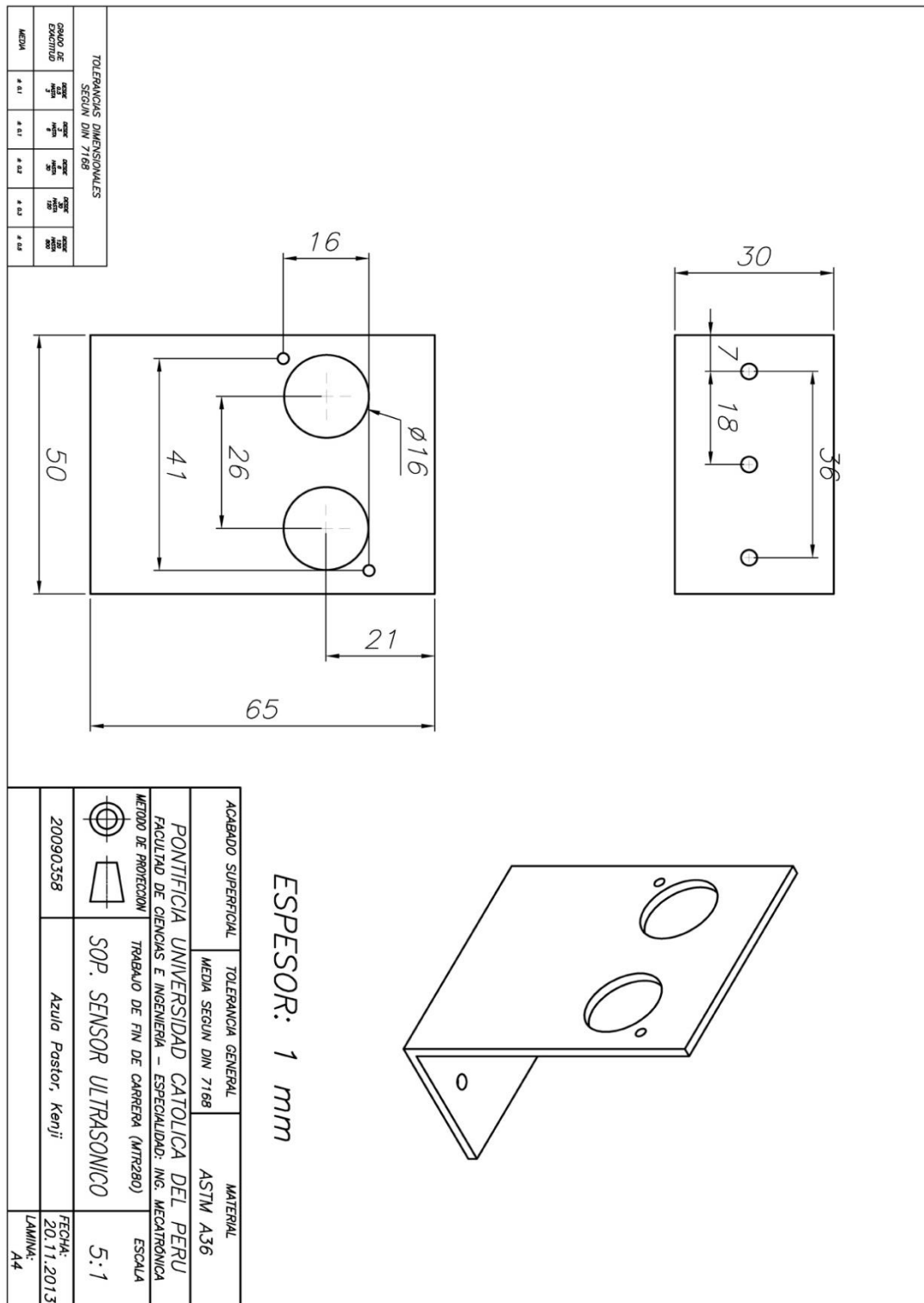
Esta pieza está diseñada para unir el cuerpo estilizado con la base del robot anfitrión por medio de 4 soportes horizontales internos. Asimismo, contará con ranuras para los sensores ultrasónicos y para el conector que servirá para cargar la batería. Será hecho en chapa metálica de 0.5 mm de espesor.





**Figura 3.3.6: Plano de despiece del soporte de los motores inferiores**

Su función será la de mantener fijos los motores de la base por medio de 6 tornillos que irán en la base del robot anfitrión. Se fabricarán dos piezas (uno por cada motor) de chapa metálica hecha de acero al carbono.



**Figura 3.3.7: Plano de despiece del soporte del sensor ultrasónico**

Su función será la de mantener fijos los sensores ultrasónicos distribuidos alrededor de la base del robot anfitrión por medio de 2 tornillos de sujeción. Se fabricarán ocho piezas (uno por cada sensor) de chapa metálica hecha de acero al carbono.

### 3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

#### SUBSISTEMA DE ALIMENTACION ELECTRICICA

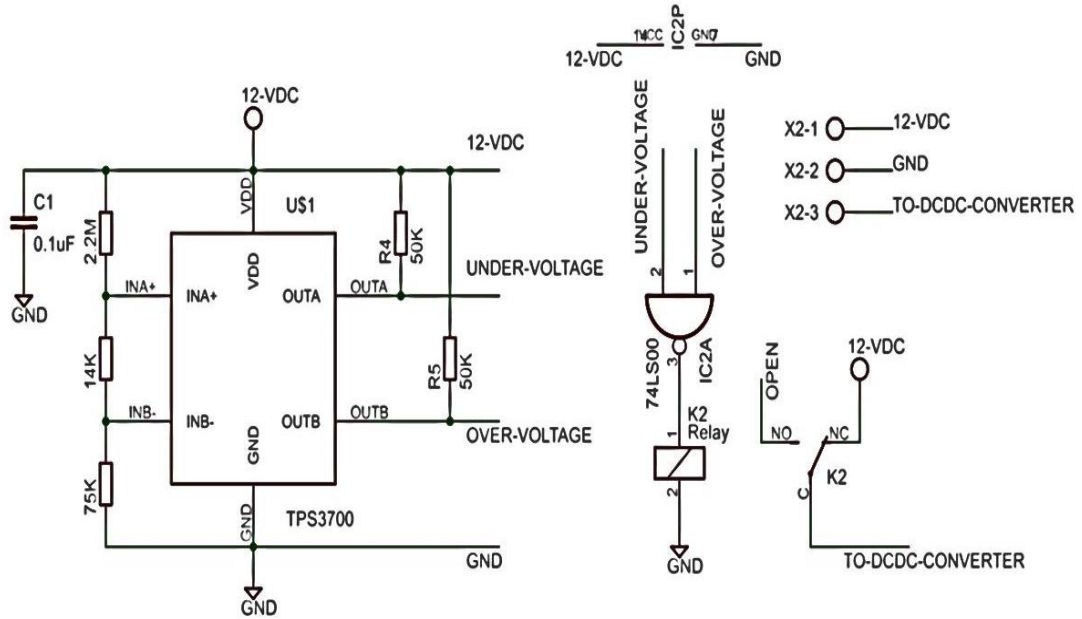


Figura 3.4.1: Diagrama Específico: Esquemático de detectora de batería baja. Extraído de: <http://www.ti.com/lit/ds/sbvs187c/sbvs187c.pdf>

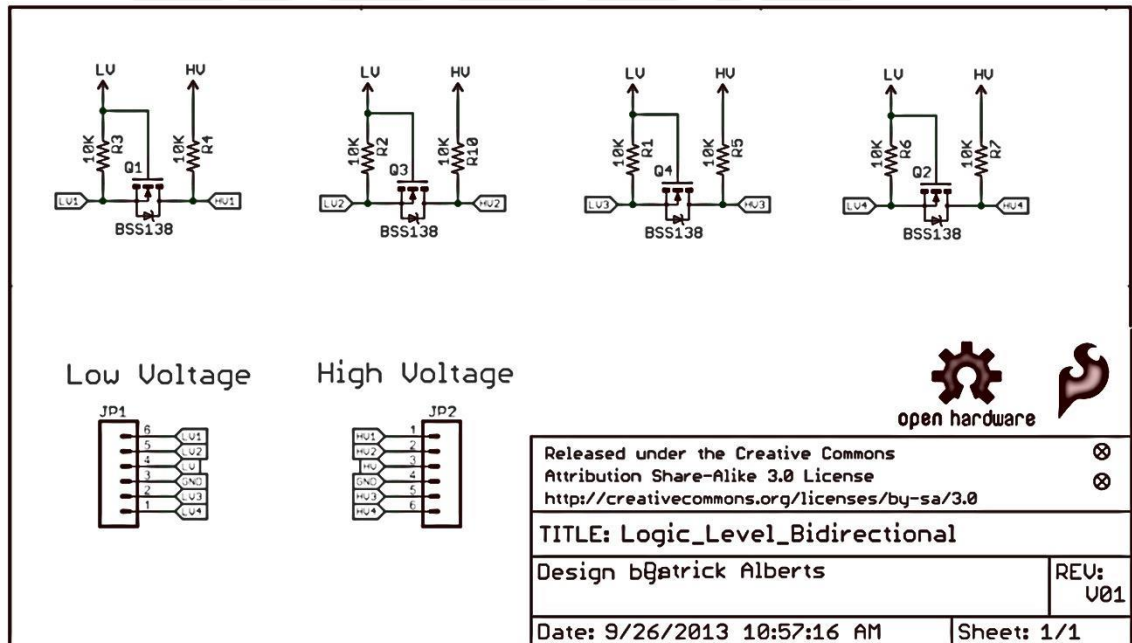


Figura 3.4.2: Convertidor bidireccional 5V a 3.3V / 3.3V a 5V. Extraído de: [http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/BreakoutBoards/Logic\\_Level\\_Bidirectional.pdf](http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/BreakoutBoards/Logic_Level_Bidirectional.pdf)

SUBSISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE ROSTROS

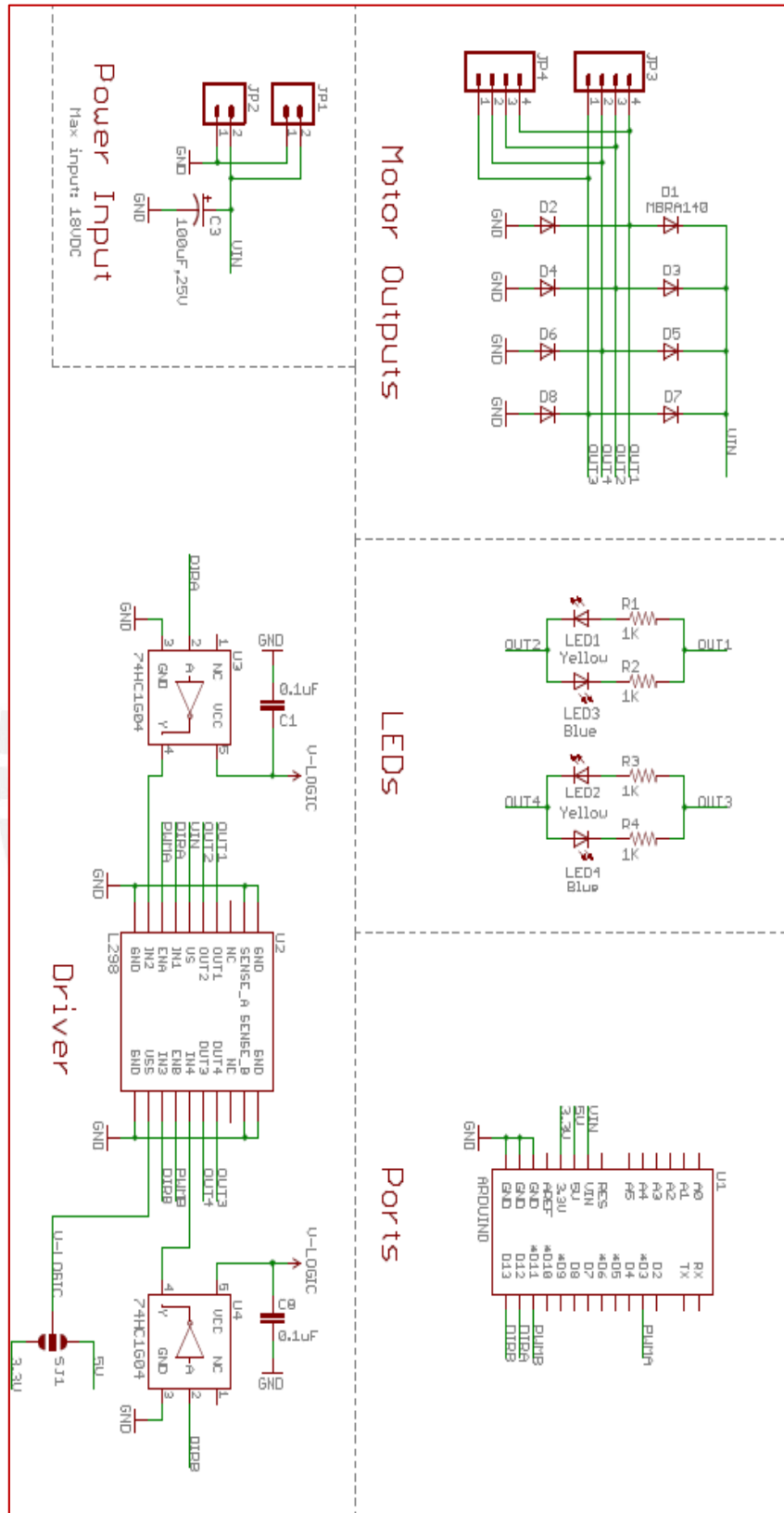


Figura 3.4.3: Esquemático de la tarjeta que controla el motor de la cabeza. Extraído de: [http://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/ArduMoto\\_v13.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/ArduMoto_v13.pdf)

SUBSISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

- Diagramas Específicos

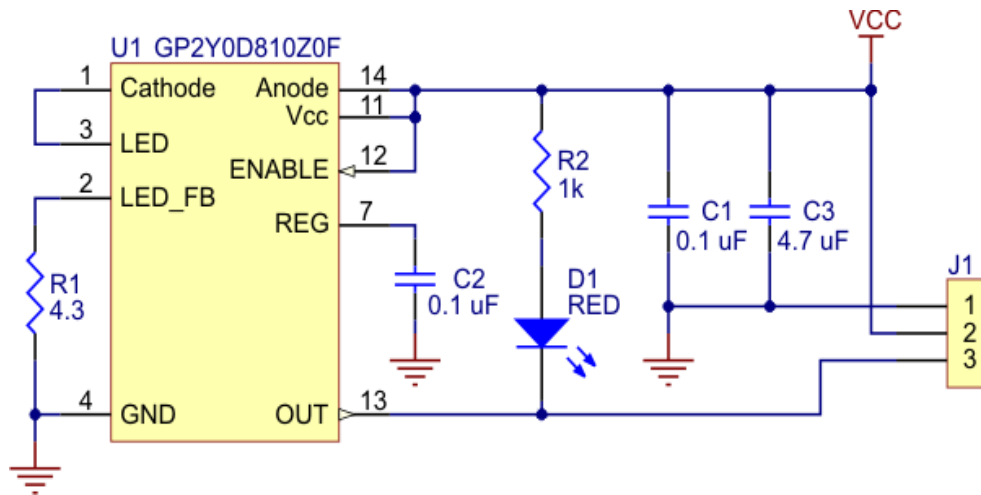


Figura 3.4.4: Esquemático del sensor infrarrojo. Extraído de: <http://www.pololu.com/product/1132/>

SUBSISTEMA DE INTERACCION HUMANO – ROBOT

- Diagramas Específicos

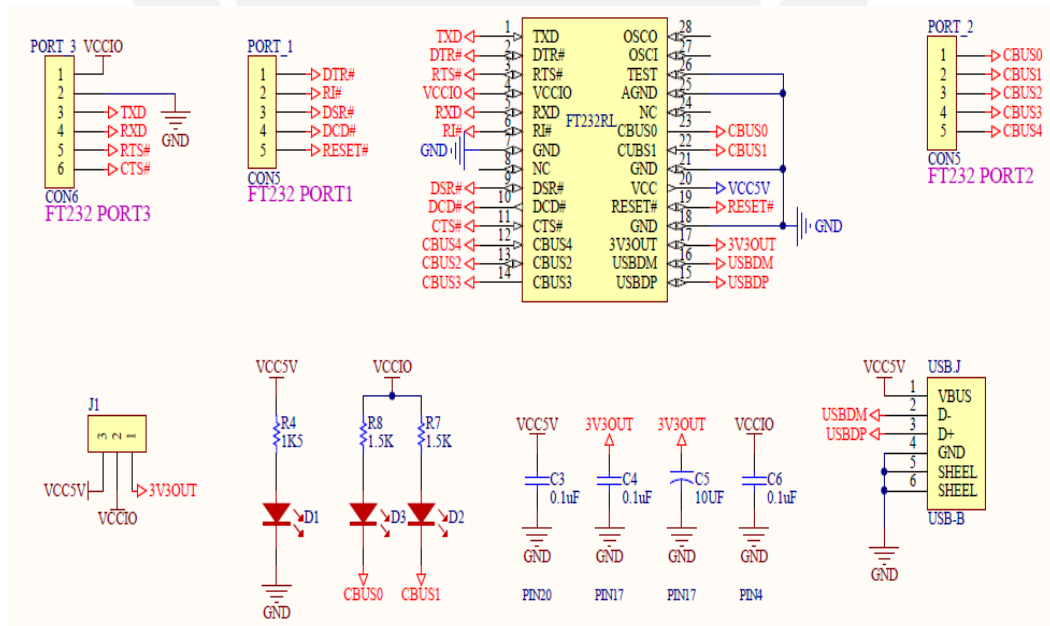


Figura 3.4.5: Esquemático de tarjeta convertidora UART to USB. Extraído de: <http://www.wvshare.com/product/FT232-USB-UART-Board-type-.htm>

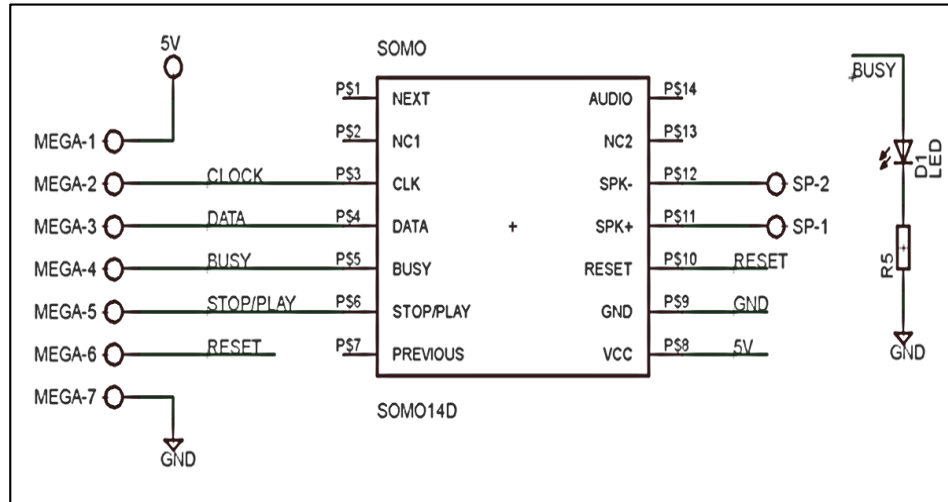


Figura 3.4.6: Esquemático del circuito reproductor de audio

### 3.5 Diagramas eléctricos de los circuitos del sistema mecatrónico

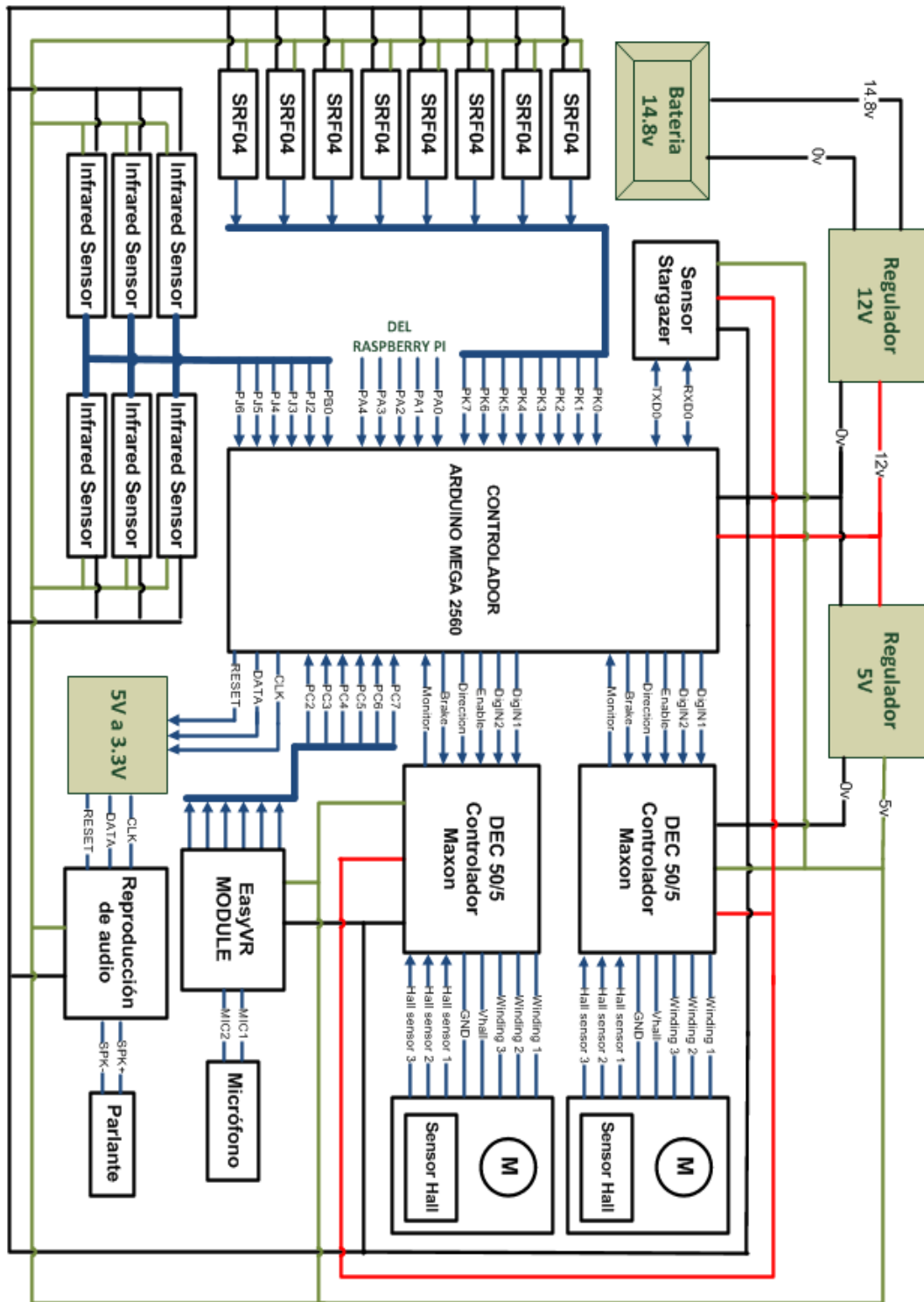


Figura 3.5.1: Diagrama eléctrico del controlador Arduino Mega 2560

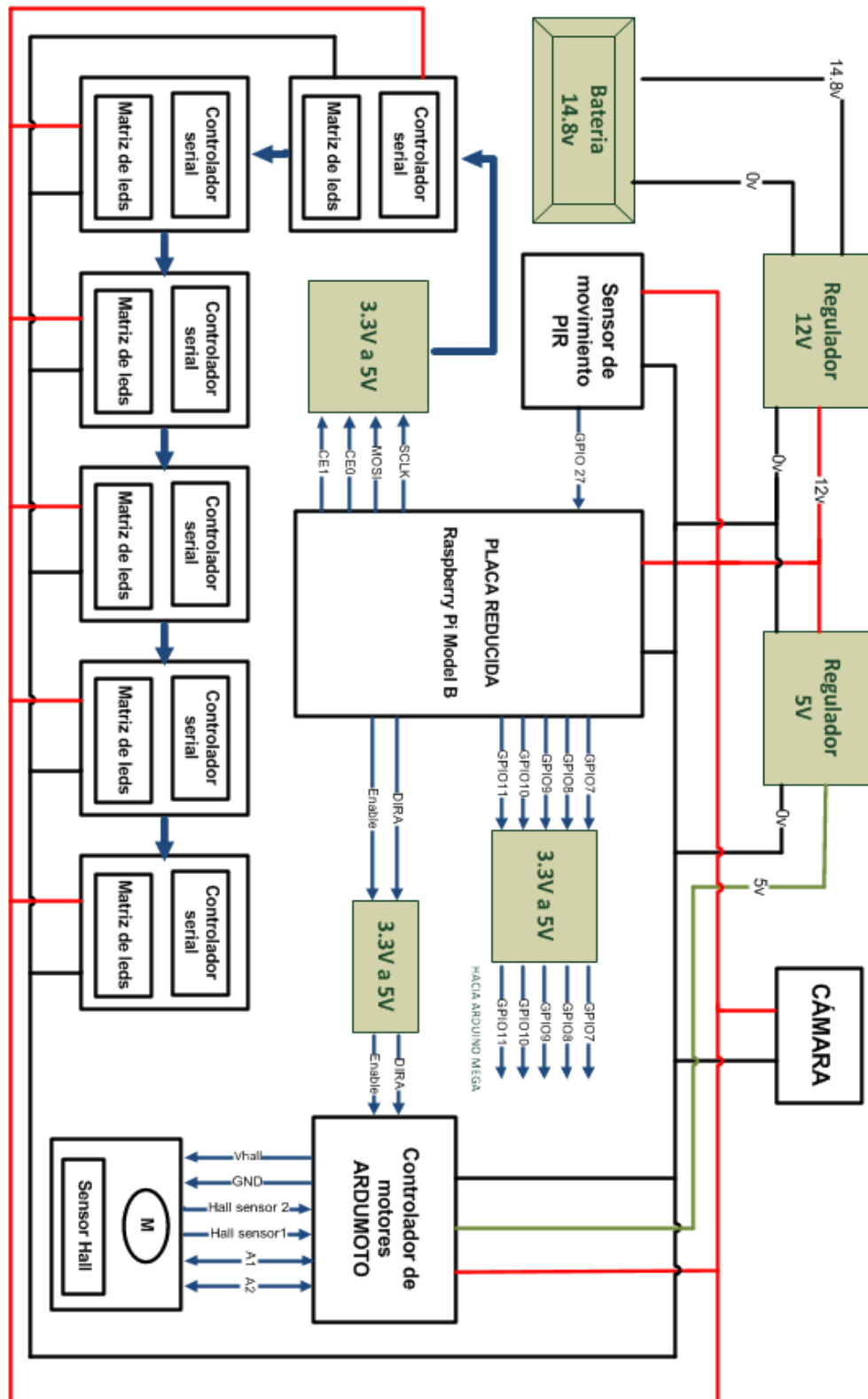


Figura 3.5.2: Diagrama eléctrico de la placa reducida Raspberry Pi

### 3.6 Diagrama de flujo del programa de control



## DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROLADOR RASPBERRY PI (Reconocimiento de rostros)

Variable	Pin del Raspberry Pi
DirA	GPIO 2
Enable	GPIO3
Persona	GPIO 7, 8, 9, 10 y 11

Tabla 3.6.1: Pines asignados a las variables del Raspberry Pi

### Especificaciones:

- **DirA:** 1 si la cabeza gira en sentido horario y 0 si gira en sentido antihorario. Esta variable será enviada al controlador de motores.
- **Enable:** Esta variable controlará la velocidad de giro del motor de la cabeza del robot usando una onda PWM.
- **Rostro:** 0 si no se detectó la cara de una persona y 1 en caso contrario.
- **Persona:** El valor de la variable indica cuál de los 31 rostros pregrabados es reconocido por el Subsistema de Reconocimiento de Rostros. Si el valor es 0, significa que el rostro no está en la base de datos del robot. Si el valor es distinto de 0, entonces esta variable indicará que persona fue reconocida. Estos 5 pines se conectarán con 5 pines en el controlador Arduino Mega 2560 para comunicar ambos controladores.

### Funciones principales:

- **Interrupción externa por movimiento:** Esta interrupción será activada cuando el sensor PIR detecte un movimiento en el lugar de trabajo del robot. La detección del rostro y el giro de la cabeza del robot se ejecutarán en simultáneo.
- **Girar motor de la cabeza:** La variable Enable se seteará en un valor bajo para que la imagen que capte la cámara no se torne borrosa. La cabeza girará 3 veces de lado a lado y, si no detecta un rostro, entonces se detendrá y acabará la subrutina.
- **Detección y reconocimiento de rostros:** Esta subrutina incluye las funciones desarrolladas en OpenCV necesarias para detectar la imagen de un rostro proveniente de una cámara. En el Anexo 9 se explica detalladamente los pasos a seguir para detectar y reconocer un rostro.

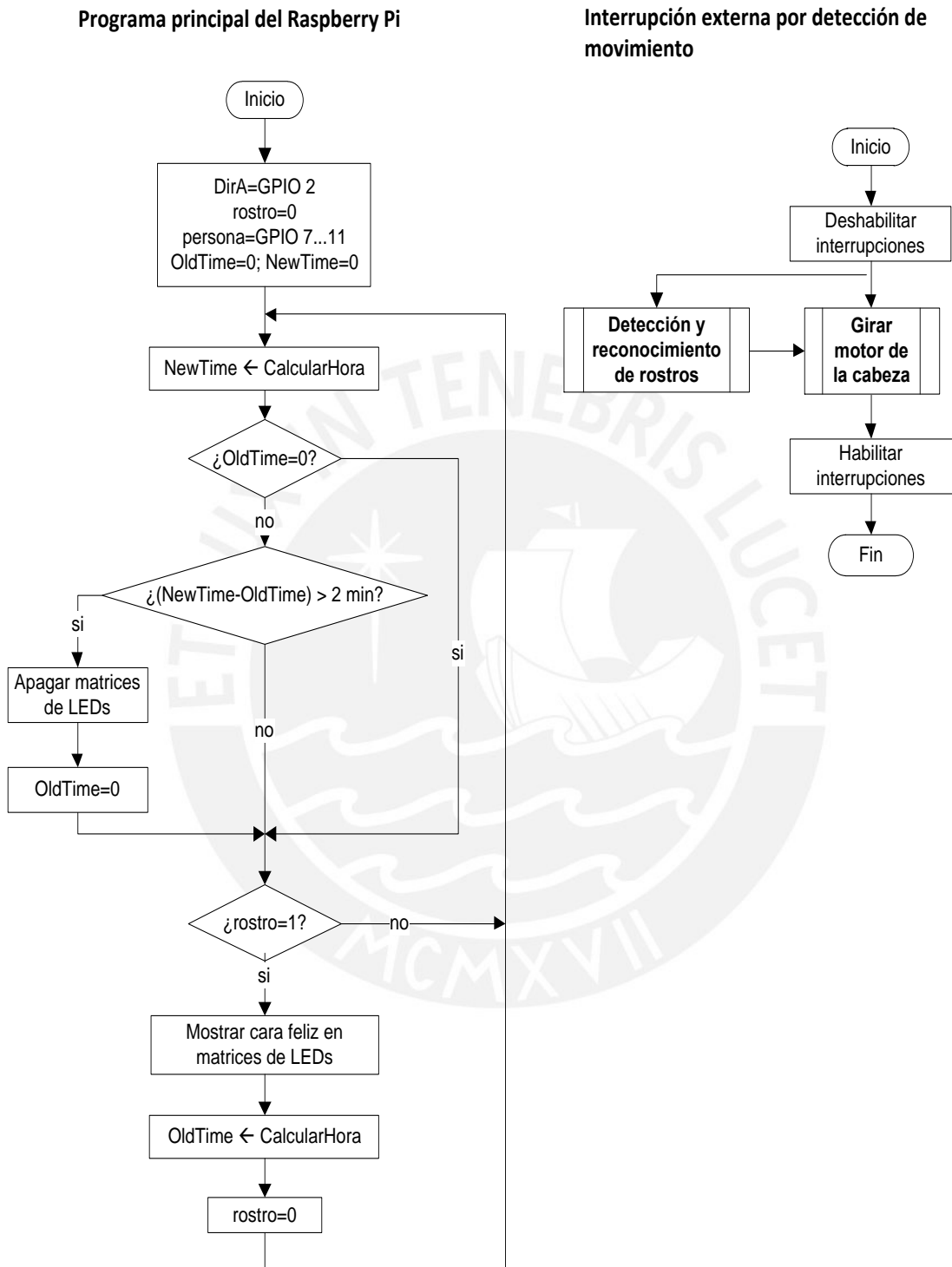
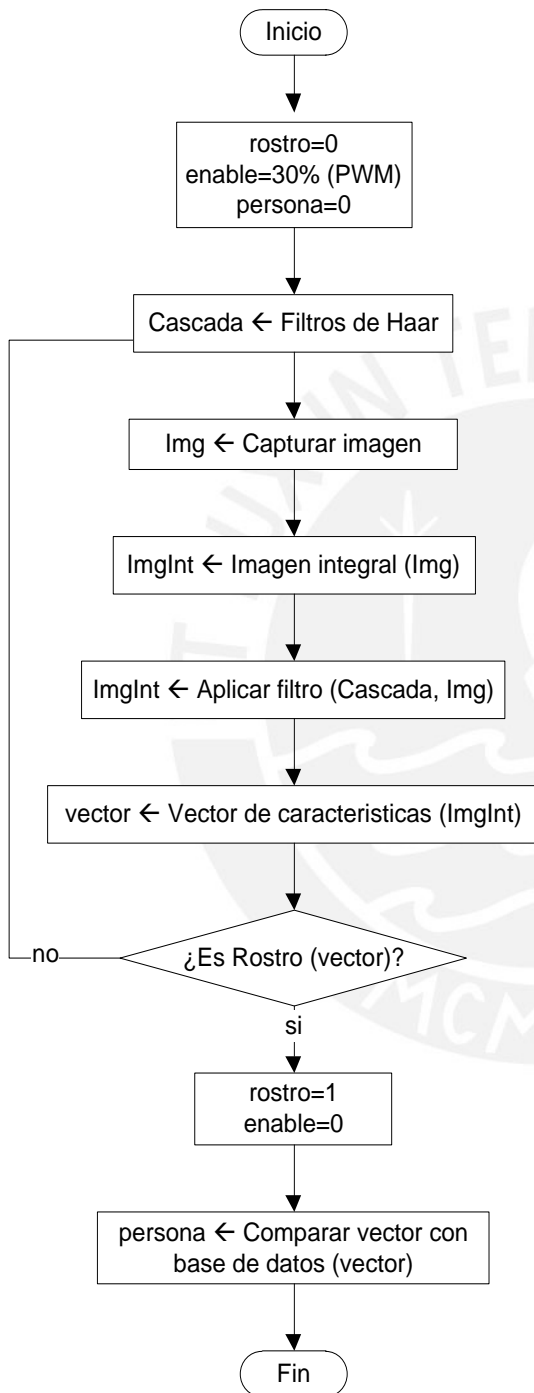
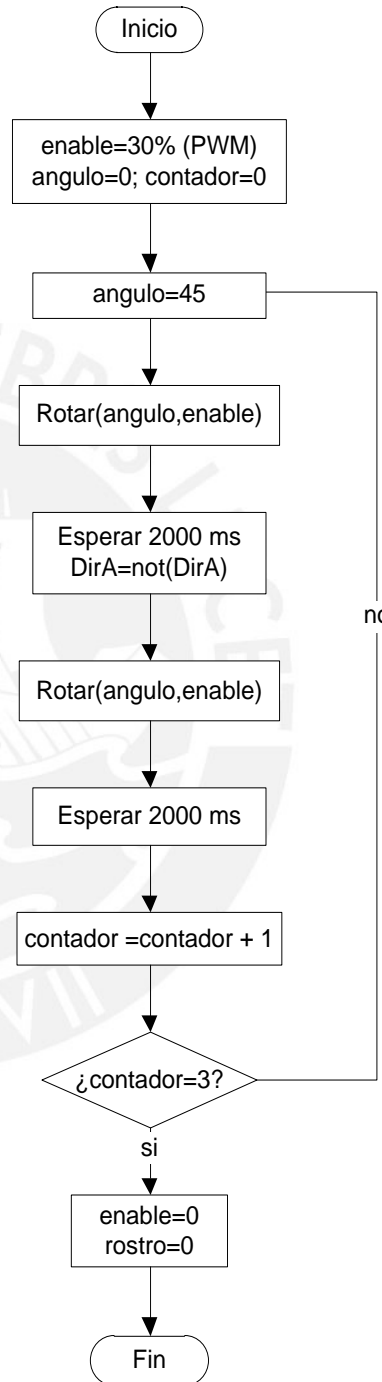


Figura 3.6.1: Se muestra el programa principal y la interrupción externa por detección de movimiento

**Subrutina: Detección y reconocimiento de rostros**



**Subrutina: Girar motor de la cabeza**



**Figura 3.6.2: Se muestra la subrutina “Detección y reconocimiento de rostros” y la subrutina “Girar motor de la cabeza”**

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROLADOR ARDUINO MEGA 2560 (Desplazamiento del robot)

Variable	Pin del Arduino Mega 2560
DirectionA / DirectionB	PF2 y PF3
EnableA / EnableB	PE3 y PE4
BrakeA / BrakeB	PF0 y PF1
DigIN1A / DigIN2A	PC0 y PC1
DigIN1B / DigIN2B	PA5 y PA6
Persona	PA0, PA1, PA2, PA3 y PA4
Índice	PC2, PC3, PC 4, PC 5, PC 6 y PC 7

Tabla 3.6.2: Pines asignados a las variables del Arduino Mega 2560

### Especificaciones:

- **DirectionA/DirectionB:** 1 si los motores A o B giran en sentido horario y 0 si giran en sentido antihorario. Estas variables están asociadas a dos salidas digitales del microcontrolador.
- **EnableA/EnableB:** Esta variable controlará la velocidad de giro de los motores de la base del robot usando ondas PWM.
- **BrakeA/BrakeB:** 1 si se desea frenar forzosamente el motor y 0 si no se desea frenar el motor.
- **DigIN1A/DigIN2A/DigIN1B/DigIN2B:** Estas variables se usarán para setear el rango de la velocidad de operación de los motores A y B (Anexo 23). Con los motores y reductores planetarios usados el valor de estas variables serán: DigIN1A=1 DigIN2A=0 y DigIN1B=1 DigIN2B=0
- **Persona:** El valor de la variable indica cuál de los 31 rostros pregrabados es reconocido por el Subsistema de Reconocimiento de Rostros. Si el valor es 0, significa que el rostro no está en la base de datos del robot. Si el valor es distinto de 0, entonces esta variable indicará que persona fue reconocida.
- **Índice:** El valor de la variable indica cuál de las 63 frases pregrabadas es reconocida por módulo de reconocimiento de voz EasyVR. Si el valor es 0, significa que no se reconoció la frase o que no se mencionó alguna palabra por parte del visitante. Si el valor es distinto de 0, entonces esta variable indicará cuál de las 63 frases fue reconocida.

### Funciones principales:

- **Interrupción externa por sensor infrarrojo (SI):** Cuando un sensor infrarrojo (de los 6 que posee el robot) es activado, entonces el robot se detiene y, antes de retroceder, analiza si una persona está detrás del robot. Esto lo realiza usando los sensores ultrasónicos (SU) opuestos al sensor infrarrojo que fue activado, por ejemplo: Si se activa el SI 2 (Figura 3.5.3), entonces se obtendrá la distancia de los SU 6, 7 y 8 para determinar si hay o no una persona detrás. Finalmente, se emite un sonido de alerta indicando que va a retroceder para que las personas que estén cerca al robot estén al tanto.

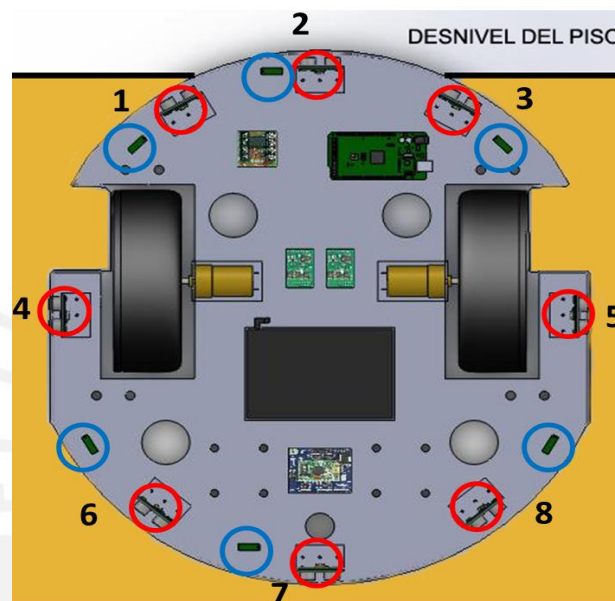


Figura 3.6.3: Esquema de distribución de los SI y de los SU

- **Módulo de audio:** Esta subrutina tendrá como parámetro de entrada a la variable 'Persona'. Esta variable será usada para que el robot anfitrión reproduzca un audio personalizado para el visitante, por ejemplo, "Hola José, ¿A qué lugar te diriges?". La respuesta del visitante será procesada por el módulo EasyVR (se reconocerá solo una palabra clave) y la asignará a la variable 'Índice', por ejemplo, "Estoy buscando el Laboratorio de Sensores y Actuadores" (cuya palabra clave es 'Sensores'). Finalmente, el robot reproducirá una frase que está relacionada a la variable 'Índice', por ejemplo, "Sígueme por favor, iremos al Laboratorio de Sensores y Actuadores".
- **Algoritmo de evasión y localización:** Esta subrutina tendrá como parámetro de entrada a la variable 'Índice'. El principio de funcionamiento del algoritmo se basa en la información recibida por el sensor StarGazer, la cual usaremos para orientar al robot en la dirección de la referencia pasiva (Figura 3.5.4). De esta manera, el robot solo tendrá que avanzar en la dirección 'Y'.

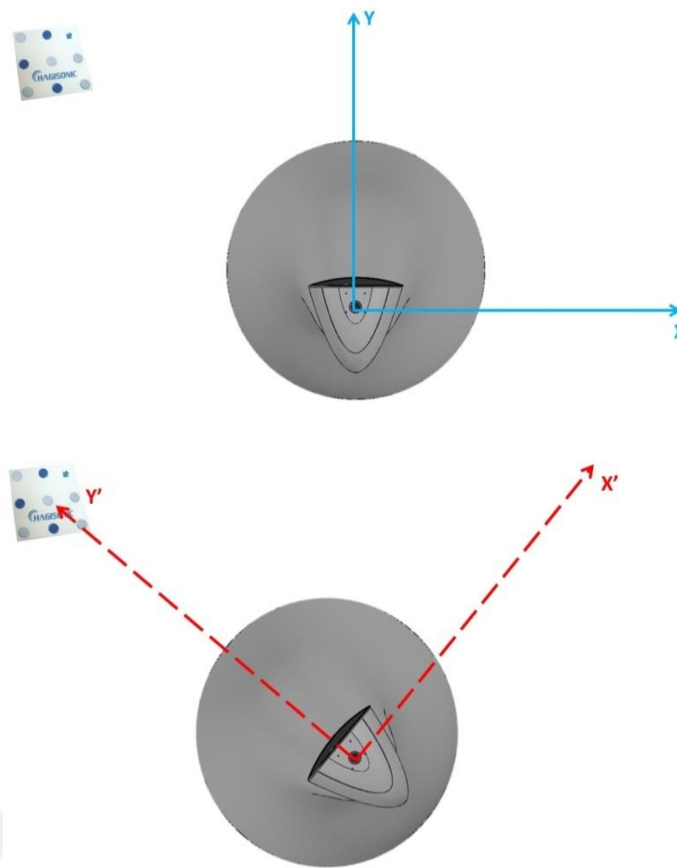


Figura 3.6.4: Orientación del robot haciendo la referencia pasiva.

Para la evasión de obstáculos, el controlador Arduino del robot usará la señal de los sensores ultrasónicos 1, 2 y 3; dependiendo de esta lectura, decidirá si gira a la derecha o a la izquierda para evadir el obstáculo (Figura 3.5.5). Finalmente, el robot se orientará en dirección de la referencia pasiva y avanzará hacia llegar a su destino.

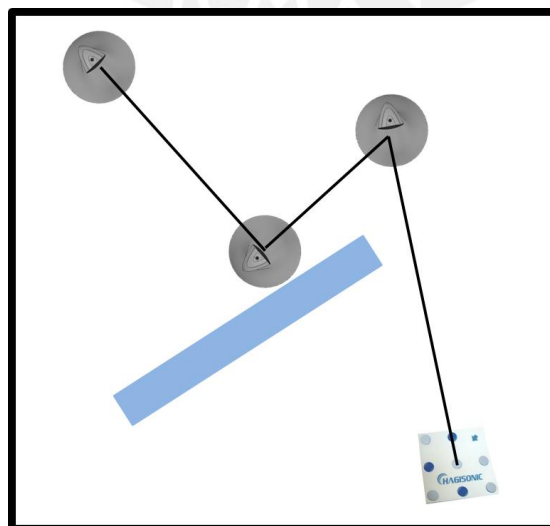
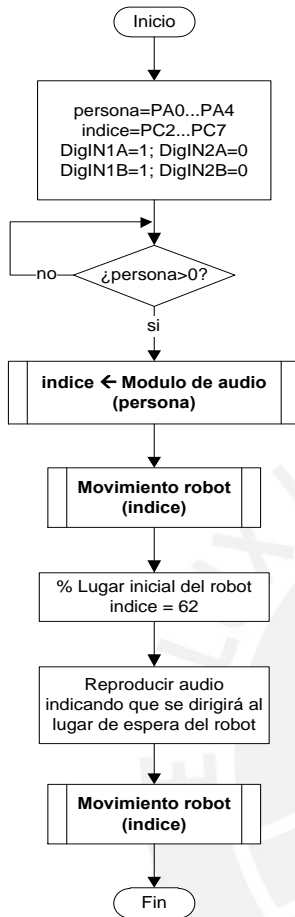


Figura 3.6.5: Recorrido generado por el algoritmo de evasión y localización

Subrutina: Programa principal del Arduino Mega 2560



Subrutina: Algoritmo de evasión y localización

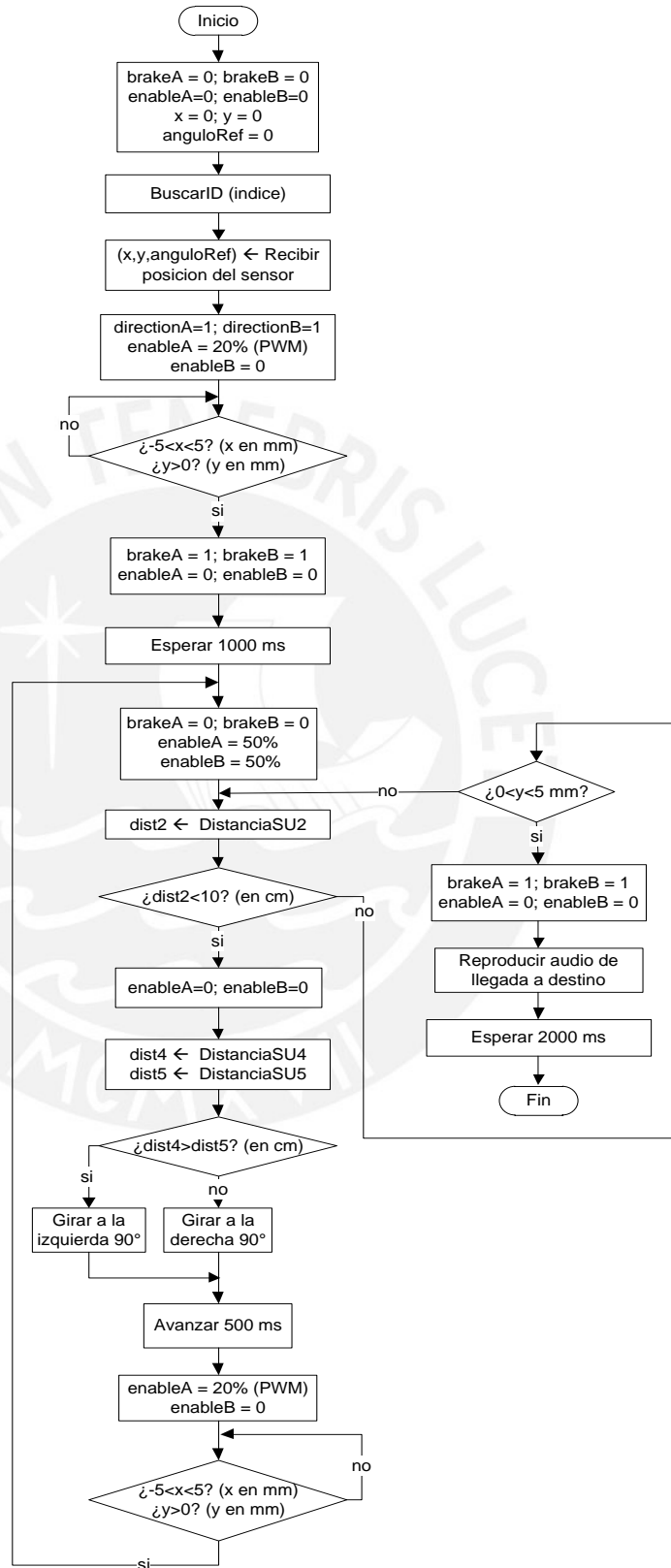
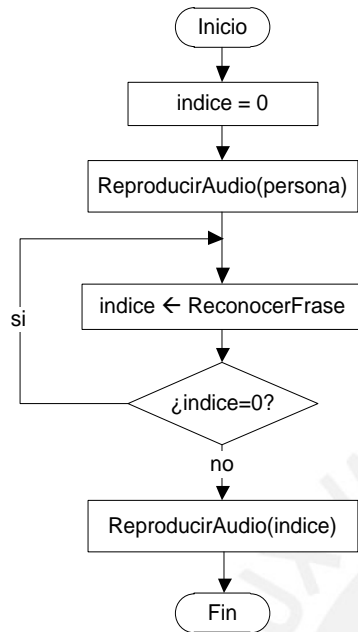


Figura 3.6.6: Se muestra el programa principal de Arduino Mega y la subrutina “Algoritmo de evasión y localización”

Subrutina: Modulo de audio



Interrupción externa: Sensor infrarrojo 'n'

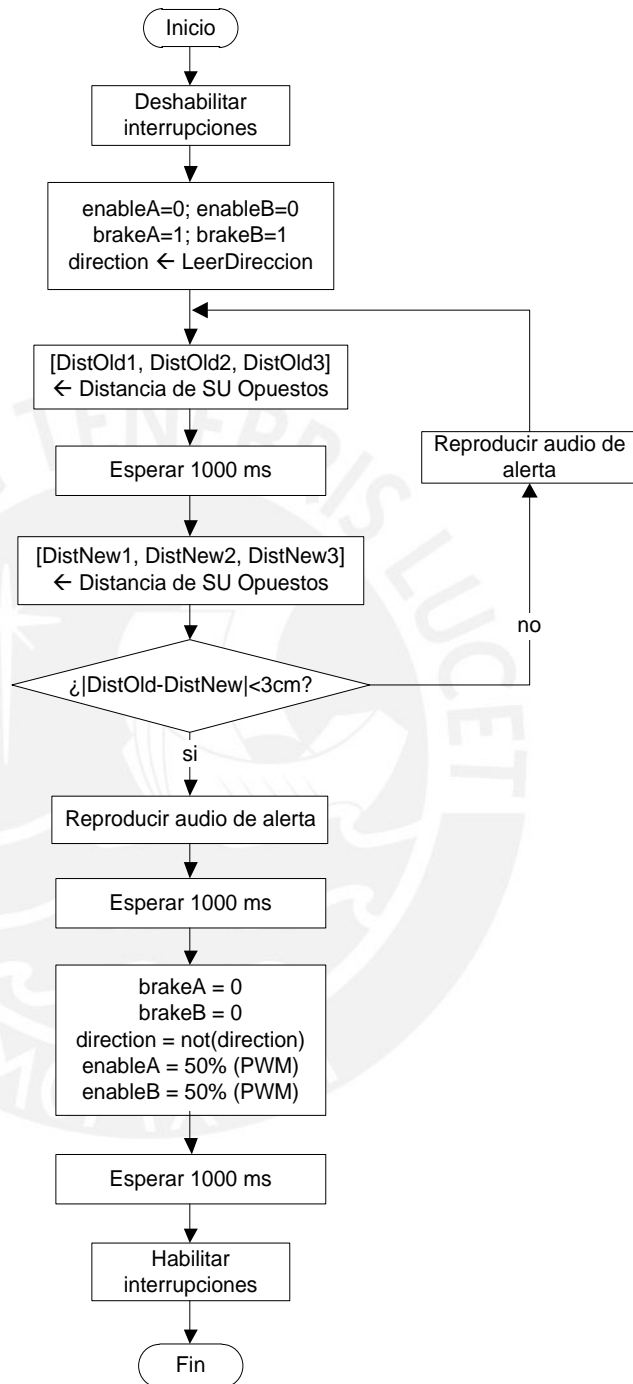


Figura 3.6.7: Se muestra la subrutina “Detección y reconocimiento de rostros” y la subrutina “Girar motor de la cabeza”



# Capítulo 4

## Presupuesto

<u>Subsistema de Reconocimiento de Rostros</u>	<u>Código</u>	<u>Proveedor</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Total</u>
<b>1) Obtención de imagen del rostro</b>					
Cámara Raspberry Pi	1367	AdaFruit Industries	1	29.95	29.95
Montaje ajustable para la cámara	1434	AdaFruit Industries	1	4.95	4.95
<b>2) Movimiento de la cabeza</b>					
Motor DC SPG30E-30K	RB-Cyt-82	RobotShop	1	22.58	22.58
Acople del motor	1999	Pololu	1	7.95	7.95
Controlador de motor DC	DEV-09815	SparkFun	1	24.95	24.95
Bastones separadores	1942	Pololu	1	1.29	1.29
<b>3) Detección de movimiento</b>					
Sensor de movimiento PIR	RB-Plx-75	RobotShop	1	9.95	9.95
Soporte sensor de movimiento	No tiene	Chapa metálica	1	15.00	15.00
<b>Subtotal 1 (USD)</b>					<b>116.62</b>

Tabla 1. Subtotal 1 del presupuesto del Subsistema de Reconocimiento de Rostros.

<u>Subsistema de Localización Infrarroja</u>	<u>Código</u>	<u>Proveedor</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Total</u>
Sensor de localización StarGazer	RB-Hag-06	RobotShop	1	1280.00	1280.00
Bastones separadores	1942	Pololu	1	1.29	1.29
Referencias pasivas Hagisonic	RB-Hag-02	RobotShop	6	1.74	10.44
<b>Subtotal 2 (USD)</b>					<b>1291.73</b>

Tabla 2. Subtotal 2 del presupuesto del Subsistema de Localización Infrarroja

<u>Controladores del robot anfitrión</u>	<u>Código</u>	<u>Proveedor</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Total</u>
<b>1) Controlador Arduino Mega</b>					
Arduino Mega 2560	RB-Ard-33	RobotShop	1	54.95	54.95
Bastones separadores	1942	Pololu	1	1.29	1.29
<b>2) Controlador Raspberry Pi</b>					
Placa Raspberry Pi Modelo B	998	AdaFruit Industries	1	39.95	39.95
Memoria SD 4GB	102	AdaFruit Industries	1	7.95	7.95
Cubierta de plástico	859	AdaFruit Industries	1	14.95	14.95
Convertidor de voltaje bidireccional	12009	SparkFun	2	2.95	5.90
Bastones separadores	1942	Pololu	1	1.29	1.29
<b>Subtotal 3 (USD)</b>					<b>123.33</b>

Tabla 3. Subtotal 3 del presupuesto de los Controladores del robot anfitrión

<u>Subsistema de Desplazamiento</u>	<u>Código</u>	<u>Proveedor</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Total</u>
Base de robot anfitrión	No tiene	INSEGE	1	65.7	65.7
Cubierta de la base	No tiene	INSEGE	1	65.7	65.7
<b>1) Desplazamiento del robot anfitrión</b>					
Motores de la base	272762	Maxon	2	264.63	529.26
Reductor planetario	406767	Maxon	2	145.65	291.30
Controlador de motor	380200	Maxon	2	75.26	150.52
Bastones separadores	1941	Pololu	2	1.29	2.58
Acople motor – rueda	No tiene	Mecanizado	2	15.00	30.00
Soporte del motor	No tiene	Chapa metálica	2	15.00	30.00
Ruedas motrices	TD-110-006	SuperDroid Robots	2	6.95	13.90
Ruedas de soporte	RB-All-66	RobotShop	2	8.74	17.48

<b>2) Detección de obstáculos y desnivel</b>					
Sensor ultrasónico	RB-Dev-01	RobotShop	8	29.17	233.36
Soporte sensor ultrasónico	No tiene	Chapa metálica	8	10.00	80.00
Sensor infrarrojo	1132	Pololu	6	6.95	41.70
<b>Subtotal 4 (USD)</b>					<b>1551.50</b>

Tabla 4. Subtotal 4 del presupuesto del Subsistema de Desplazamiento

<u>Subsistema de Interacción Humano - Robot</u>	<u>Código</u>	<u>Proveedor</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Total</u>
Cuerpo del robot anfitrión	No tiene	INSEGE	1	150.0	150.0
<b>1) Proyección de gestos con matrices de LED</b>					
Controlador serial para matrices	com-00759	SparkFun	6	34.95	209.7
Matrices de LEDs	com-00682	SparkFun	6	6.95	41.7
Soporte de tarjetas	No tiene	Chapa metálica	6	15.00	90.00
<b>2) Modulo de reconocimiento de voz</b>					
Módulo EasyVR	RB-Tig-01	RobotShop	1	49.95	49.95
Soporte micrófono	No tiene	Chapa metálica	1	15.00	15.00
Bastones separadores	1942	Pololu	1	1.29	1.29
Convertidor USB a UART	RB-Cyt-43	RobotShop	1	15.45	15.45
<b>3) Modulo de reproducción de audio</b>					
Circuito de reproducción de audio	RB-Fds-14	RobotShop	1	24.19	24.19
Memoria SD 4GB	102	AdaFruit Industries	1	7.95	7.95
Convertidor de voltaje bidireccional	12009	SparkFun	1	2.95	2.95
Parlante	1261	Pololu	1	1.99	1.99
<b>Subtotal 5 (USD)</b>					<b>616.71</b>

Tabla 5. Subtotal 5 del presupuesto del Subsistema de Interacción Humano - Robot

<u>Subsistema de Alimentación Eléctrica</u>	<u>Código</u>	<u>Proveedor</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Total</u>
<b>1) Batería recargable</b>					
Batería 14.8 V	CU-J369	AA Portable Power	1	322.95	322.95
Convertidor 12V a 5V	SD2020	Current Logic	1	17.50	17.50
Terminal de carga	CN-TMML	AA Portable Power	1	1.50	1.50
Terminal de descarga	CN-TTFML	AA Portable Power	1	5.95	5.95
<b>2) Circuito detector de batería baja</b>					
TSP3700	296-30395-1	Digikey	1	2.01	2.01
Relé	Z2254-ND	Digikey	1	1.34	1.34
Borneras	A98482-ND	Digikey	1	1.80	1.80
<b>3) Cargador de batería</b>					
Cargador	PR-CU-R218	AA Portable Power	1	79.95	79.95
Caja del cargador	No tiene	Chapa metálica	1	62.50	62.50
Sensor de contacto (Limit Switch)	SW706-ND	Digikey	2	2.96	5.92
Terminales de carga	No tiene	Mecanizado	2	5.00	10.00
Enchufe	No tiene	-	1	10.00	10.00
<b>Subtotal 6 (USD)</b>					<b>449.42</b>

Tabla 6. Subtotal 6 del presupuesto del Subsistema de Alimentación Eléctrica

<b><u>Empresa</u></b>	<b><u>Precio (USD)</u></b>
Maxon	60.21
Digikey	50.00
SparkFun	0.00
Pololu	17.95
AA Portable Power Corp	17.53
AdaFruit Industries	32.99
SuperDroid Robots	6.00
RobotShop	48.47
Current Logic	27.78
<b>Subtotal 7 (\$)</b>	<b>260.93</b>

Tabla 7. Precios de transporte y envío de diversos componentes

Subtotal 1	116.62
Subtotal 2	1291.73
Subtotal 3	123.33
Subtotal 4	1551.50
Subtotal 5	616.71
Subtotal 6	449.42
Subtotal 7	260.93
<b>Total sin impuestos(USD)</b>	<b>4360.24</b>
Impuestos (30%)	1308.07
<b>Total con impuestos (USD)</b>	<b>5668.31</b>
<b>Total con impuestos (S/.) (Tasa de cambio S/. 2.80)</b>	<b>15871.27</b>

Tabla 8. Costo Total (USD)

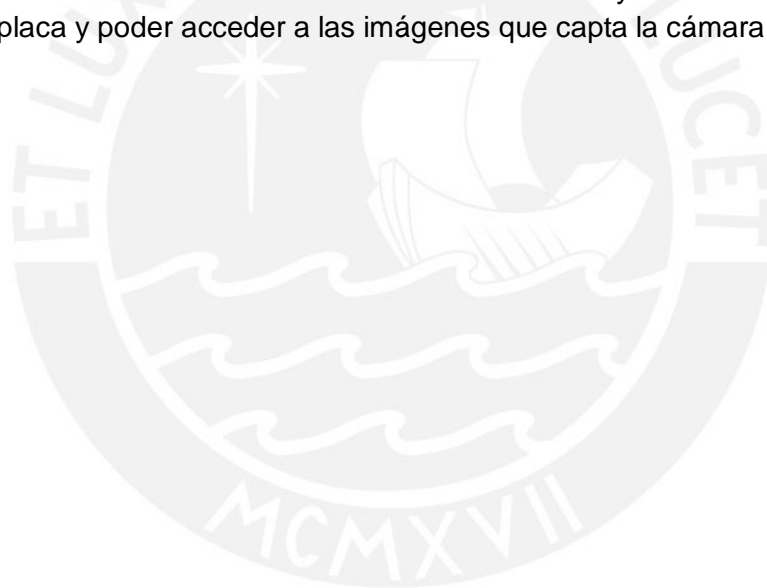
Las boletas, páginas web y cotizaciones se encuentran en el anexo 49.

## Capítulo 5

### Conclusiones

- Es posible diseñar y realizar un robot anfitrión con los requerimientos planteados en un inicio. Se han acoplado distintos subsistemas especializados que le permiten al robot interactuar con las personas y desplazarse en ambientes interiores que posean obstáculos.
- Con respecto al subsistema de reconocimientos de rostros se logró implementar un algoritmo bastante robusto usando las librerías de OpenCV, el cual es capaz de detectar y reconocer el rostro de una persona bajo distintas condiciones de iluminación y expresiones faciales. Sin embargo, debido a que el algoritmo solo detecta rostros de frente, aún existe la posibilidad de mejorarlo para la detección de rostros de perfil. Asimismo, se podría reducir el tiempo de detección de rostros usando otro tipo de algoritmo.
- Para saber si una persona está presente en el ambiente donde opera el robot, este cuenta con un sensor pasivo infrarrojo (PIR). Sin embargo, estos sensores, de tipo pasivo, no son capaces de “ver” a través de obstáculos, incluyendo cristal, y poseen una sensibilidad baja, por lo que no se recomienda para pequeños movimientos. Si se desea lograr una mejor sensibilidad, una solución sería usar detectores duales de movimiento que combinan la tecnología de los sensores infrarrojos y ultrasónicos. De esta manera se evitarían falsos encendidos, aumentaría la sensibilidad del sensor y la superficie cubierta. Dado que el área de trabajo del robot anfitrión es el CETAM, no es necesario aplicar esta tecnología ya que es un espacio reducido y posee un flujo medio de personas.
- Con respecto al subsistema de interacción humano – robot se utilizó un módulo de reconocimiento de voz capaz de ser entrenado hasta con 64 frases y realizar una determinada acción al reconocer cada una de ellas. No obstante, el módulo necesita desarrollarse aún más para contrarrestar factores externos tales como el ruido de los carros, el ambiente, entre otros.

- El robot anfitrión solo brindará información durante las horas en la que la universidad esté abierta. Por esta razón, se puede aprovechar su capacidad de detección de movimiento y reconocimiento de rostros para servir como robot de seguridad. Para ello, se necesitaría implementar dispositivos transmisores de información hacia una central que pueda ser notificada ante cualquier evento inusual en el área de trabajo del robot.
- El robot diseñado cuenta con 6 matrices de LEDs interconectadas que pueden proyectar diversos gestos de rostros (tristeza o felicidad). Sin embargo, si se desea proyectar imágenes reales es necesario utilizar una pantalla LCD y rediseñar el circuito de control para acoplar este dispositivo.
- La placa reducida Raspberry Pi usada en el robot tiene la capacidad de conectarse a internet usando un módulo WiFi conectado a uno de sus puertos USB. Si bien es cierto que esta función no está siendo usada en este proyecto, tiene el potencial de que un usuario externo pueda conectarse al robot usando una dirección IP y contraseña única de cada placa y poder acceder a las imágenes que capta la cámara del robot.



## Bibliografía

- [1] MAAS, Jan y Thorsten SPEXARD  
2006 *Biron? What's the topic? A Multi-Modal Topic Tracker for improved Human-Robot Interaction*. IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. Páginas: 26 - 32
- [2] JULIA, the Household Entertainment Robot. Ubergizmo. Consulta: 23 de octubre del 2013.  
< <http://www.ubergizmo.com/2010/05/julia-the-household-entertainment-robot>>
- [3] MURAI, Ryosuke, Tatsuo SAKAI y Yukio HONDA  
2012 *A Novel Visible Light Communication System for Enhanced Control of Autonomous Delivery Robots in a Hospital*. IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). Páginas: 510 - 516
- [4] SHAMSUDDIN, Syamimi et ál  
2011 *Humanoid Robot NAO: Review of Control and Motion Exploration*. IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering. Páginas: 511 - 516
- [5] UAIBOT será el anfitrión de un congreso de innovación tecnológica. Universidad Abierta Interamericana. Consulta: 20 de octubre del 2013.  
< <http://www.noticias.uai.edu.ar/profile/FacultaddeTecnologiaInformatica>>
- [6] HANSON, David, Jung KIM y Ill PARK  
2006 *Design of Android type Humanoid Robot Albert HUBO*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Páginas: 1428 - 1433
- [7] BOREN, Jonathan et ál  
2011 *Towards Autonomous Robotic Butlers: Lessons Learned with the PR2*. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Páginas: 5568 - 5575
- [8] ONISHI, Masaki et ál  
2007 *Generation of Human Care Behaviors by Human-Interactive Robot RI-MAN*. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Páginas: 3128 - 3130
- [9] FURO robot, capable of emotional interactions, unveiled at The 7th Korea Communications Conference Press Party. Consulta: 22 de octubre del 2013.  
< [http://newlaunches.com/archives/furo\\_robot\\_at\\_the\\_7th\\_korea\\_conference.php](http://newlaunches.com/archives/furo_robot_at_the_7th_korea_conference.php)>
- [10] CHANG, Keun y Beom PARK



- 2007 *Face Recognition based on variant 2DPCA-based approaches in robot environments*. IEEE International Conference on Control, Automation and Systems. Páginas: 650 - 653
- [11] Aedi welcomes everyone to the Mind Museum with a brief message. Rappler. Consulta: 22 de octubre del 2013.  
< <http://www.rappler.com/life-and-style/3852-an-open-mind>>
- [12] YAMAZAKI, Kimitoshi et ál  
2012 *Home-Assistant Robot for an Aging Society*. IEEE Journals & Conference Proceedings. Páginas: 2429 - 2441
- [13] TELLEZ, Ricardo et ál  
2008 *Reem-B: an autonomous lightweight human-size humanoid robot*. IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. Páginas: 462 - 468
- [14] ISHIDA, Tatsuzo  
2012 *Development of a Small Biped Entertainment Robot QRIO*. IEEE Micro-Nanomechatronics and Human Science and The Fourth Symposium Micro-Nanomechatronics for Information-Based Society. Páginas: 23 – 28
- [15] Ubiko robot interact with people. Taipei Times. Consulta: 18 de octubre del 2013.  
< <http://www.taipeitimes.com/News/worldbiz/archives/2006/11/23/2003337584>>
- [16] TAKEMURA, Hiroshi et ál  
2009 *Development of Vision Based Person Following Module for Mobile Robots In/Out Door Environment*. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Páginas: 1675 – 1680
- [17] MITSUNAGA, Noriaki et ál  
2006 *Robovie-IV: A Communication Robot Interacting with People Daily in an Office*. Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Páginas: 5066 – 5072
- [18] HU, Jwu-Sheng et ál  
2012 *A Model-based Human Walking Speed Estimation Using Body Acceleration Data*. Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Páginas: 1985 – 1990
- [19] Obama Budget Calls for Cuts in Spending for U.S. Technology. Bloomberg. Consulta: 23 de octubre del 2013.  
<<http://www.bloomberg.com/news/2012-02-13/technology-spending-shrinks-in-obama-budget-as-deficit-reduction-promoted.html>>
- [20] China's budget backs science. Nature: International Weekly Journal of Science. Consulta: 18 de octubre del 2013.  
<http://www.nature.com/news/china-s-budget-backs-science-1.10209>>
- [21] BID: Inversión en tecnología se duplicó en 2012. Diario Oficial El Peruano. Consulta: 20 de octubre del 2013.

- <<http://www.elperuano.pe/edicion/noticia-bid-inversion-tecnologia-se-duplico-2012-8820.aspx>>
- [22] Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB). El Banco Mundial. Consulta: 20 de octubre del 2013.  
< <http://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.GD.ZS/countries?display=map>>
- [23] Cifras de Presupuestos operativos. Pontificia Universidad Católica del Perú. Consulta: 21 de octubre del 2013.  
<<http://vicerrectorado.pucp.edu.pe/administrativo/vrad-en-cifras/ver-cifras-en-presupuestos-operativos/?anio=2012>>
- [24] The Yale Face Database. Yale School of Engineering & Applied Science. Consulta: 10 de octubre del 2013.  
< <http://cvc.yale.edu/projects/yalefaces/yalefaces.html>>
- [25] VIOLA, Paulet y Michael JONES  
2001 *Robust Real-time Face Detection*. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition. Páginas: 741 – 747
- [26] Detección de rostros en imágenes digitales usando clasificadores en cascada. Universidad Tecnológica de Pereira. Consulta: 30 de octubre del 2013.  
< <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/119/Deteccion%de%rostros.pdf>>
- [27] ZHAO, Li et ál  
2004 *Face Recognition using two novel Nearest Neighbor Classifiers*. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Páginas: 725 – 728
- [28] COLMENARES, Antonio y Thomas HUANG  
2001 *Face detection with information-based maximum discrimination*. IEEE Computer Society Conference on Digital Object Identifier. Páginas: 782 – 787
- [29] SAMAD, Abdul y Lawang KHAN  
2006 *Introduction to Face Detection Using Eigenfaces*. IEEE International Conference on Emerging Technologies. Páginas: 128 – 132
- [30] Unofficial guide to getting up and running with the Raspberry Pi Camera. MCM Electronics. Consulta: 11 de octubre del 2013.  
< <http://www.mcmelectronics.com/content/ProductData/Manuals/28-17733.pdf>>
- [31] Raspberry Pi Camera Module Diagram. Raspberry Pi Foundation. Consulta: 11 de octubre del 2013.  
<<http://www.raspberrypi-spy.co.uk/wp-content/uploads/2013/05/Raspberry-Pi-Camera-Module-Diagram.pdf>>
- [32] KINCH, Richard  
2013 “Raspberry Pi Camera Module: Applications and Engineering”. Consulta: 21 de octubre del 2013  
< <http://www.truetex.com/raspberrypi>>