

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### DISEÑO MECATRÓNICO DE UN ROBOT PARA GUÍA DE BIBLIOTECA

Tesis para optar el Título de Ingeniera Mecatrónica, que presenta la bachiller:

**Ana Cristina Midori Sánchez Sifuentes**

**ASESOR: Francisco Fabián Cuéllar Córdova**

Lima, diciembre del 2014

# Resumen

Con el crecimiento exponencial de la tecnología en los últimos años se ha optado por aplicar soluciones robóticas a diferentes problemas que el mundo real presenta. Algunas de estas soluciones se ven reflejadas en robots dedicados a brindar ayuda o entretenimiento a las personas. Dichos robots deben cumplir con su tarea y además tener las características externas necesarias para tener la aceptación del público objetivo. Es decir como tienen una interacción directa con el usuario no deben solo cumplir con la parte de máquina funcional, sino también las características necesarias para obtener una buena interacción humano robot.

En la actualidad, esta clase de robots se encuentran en laboratorios, centros comerciales, museos e incluso en fábricas, dispuestos a brindar información o dar servicio de guía. Sin embargo aún no se encuentran en una biblioteca y ahora con la construcción de bibliotecas más tecnológicas, que cuentan con nuevos servicios como áreas de videoconferencias, áreas de impresión 3D y de manufactura digital, estantes de libros abiertos o cubículos con recursos multimedia, se debe informar al público para que éste conozca las nuevas posibilidades a la hora de acudir a la biblioteca.

Para brindar información en algunos lugares se ha optado por utilizar paneles led o pantallas táctiles, lo cual no es eficiente, puesto que con las primeras no se tiene una interacción, sólo brinda información de manera cíclica y por otro lado las segundas se deterioran con el uso constante, en especial cuando no las usan de manera adecuada. Esto se podría mejorar con la utilización de un robot, puesto que la información la puede brindar de manera no sólo táctil sino también acústica. Además esta clase de robots motiva la curiosidad de las personas, logrando captar mejor su atención y atrayendo más usuarios a un área donde podrán adquirir conocimientos.

Por tales motivos, en la presente tesis se desarrollará un diseño mecatrónico de un robot para guía de biblioteca que pueda brindar la información necesaria para dar a conocer los servicios con los que cuenta una biblioteca de una manera amena y agradable al usuario. Asimismo es una forma más eficiente que las otras soluciones no tienen, pues interactúa con las personas y no se desgasta fácilmente con el tiempo.

# Índice

1. Presentación de la problemática.....	2
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto.....	3
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	3
2.2 Concepto del sistema mecatrónico.....	4
3. Sistema mecatrónico.....	6
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	6
3.2 Sensores y actuadores.....	8
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	12
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	16
3.5 Diagramas de flujo del programa de control.....	27
4. Presupuesto.....	34
5. Conclusiones.....	36
Bibliografía.....	37

# Lista de Acrónimos

**ADC:** Analog to Digital Convert (Conversor analógico digital)

**ADK:** Accessory Development Kit (Paquete de Desarrollo de Accesorios)

**AN :** Analog Pin (Pin analógico)

**BB:** Beaglebone

**DOF :** Degrees of freedom (Grados de Libertad)

**DTMF :** Dual Tone Multi Frequency (Sistema Multifrecuencial)

**GND :** Ground (Tierra)

**I2C :** Inter-Integrated Circuit (Inter-Circuitos Integrados)

**IMU :** Inertial Measurement Unit (Unidad de Medición Inercial)

**RAM :** Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)

**RPM :** Revoluciones Por Minuto

**SPI :** Serial Peripheral Interface (Interfaz de Periféricos Serial o Bus)

**TTL :** Transistor Transistor Logic (Lógica Transistor Transistor)

**UART :** Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

(Transmisor-Receptor Asíncrono Universal)

**USB :** Universal Serial Bus

**VCC :** Voltaje Corriente Continua

# Capítulo 1

## Presentación de la problemática

Según el proyecto de investigación “Pew Internet and American Life Project” [1], solamente el 22% de personas en una universidad conoce todos los servicios que brinda la biblioteca de su casa de estudios y solo al 19% de personas jóvenes que asisten a una biblioteca pública les ocasionaría un gran impacto la desaparición de la misma. Con estos porcentajes es notoria la falta de asistentes a una biblioteca y a los servicios que éstas proporcionan, lo cual lleva a concluir que no cuentan con una eficiente comunicación hacia los usuarios.

Frente a este problema algunos centros han optado por colocar paneles con propagandas e información o con una interfaz en computadora o en una página web y como también pantallas táctiles con información sobre los servicios, pero a pesar de esto no se tiene el resultado deseado. Pues el problema de estos medios de comunicación es que no capta la atención de las personas de manera eficiente y cuando lo logra el sistema no posee la capacidad de interactuar de manera óptima con el usuario. Por ende la información se pierde y estos dispositivos se desgastan sin cumplir su función. Dichos dispositivos necesitan realizar su función de manera atractiva a la vista brindando una interacción eficiente y evitando el rechazo del usuario.

Por lo tanto, en la presente tesis se desarrollará el diseño de un robot humanoide guía de biblioteca, el cual se encargará de difundir los servicios con los que cuenta una biblioteca y además lo realizará de una manera aceptada socialmente para brindar una buena interacción humano robot y así captar de manera efectiva la atención del usuario e incentivar el uso de las instalaciones.

# Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

## 2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

El humanoide guía de biblioteca que se desarrollará en este documento presenta una solución a la falta de información de los servicios con los que cuenta una biblioteca, hacia el público objetivo de una manera eficiente y eficaz. Entre las propiedades y características que debe poseer se encuentran:

- El dispositivo Mecatrónico está enfocado en servir de apoyo en la nueva biblioteca de Ciencias e Ingeniería, brindando información sobre los servicios que en esta se pueden encontrar, como por ejemplo: visitas guiadas, nuevas adquisiciones, los libros ubicados en los estantes libres, reserva de áreas de videoconferencia, reserva de cubículos, alquiler de impresoras 3D y servicios de manufactura digital.
- La información se brindará mediante voz o una interfaz intuitiva en una Tablet anexa al robot.
- Se extrajeron las características comunes de los siguientes robots como base en el diseño del sistema mecatrónico planteado: Wakamaru [2] y Luna [3], los cuales son ayudantes en el hogar, por otro lado a Robina [4], Furo- S[5] y Robovie-R3 [6] que son guías en centros comerciales y fábricas. Dirigirse al anexo 1 para mayor información.
- El dispositivo requiere tener forma orgánica, es decir, formas curvas y agradables a la vista o humanística [7] pues permitirán evaluar qué tipo de reacción tienen las personas cuando interactúan con el robot.
- Los movimientos que realiza deben ser suaves y conforme a los de las personas [7]. En este caso se ha omitido el movimiento en el codo, pues este movimiento se obtendrá con la forma del brazo y con solo dos servomotores en el hombro (revisar anexo 2, para revisar la forma del brazo).
- Contará con una matriz de LEDs en cada ojo para representar emociones y resultar más amigable.
- Con el objetivo de mejorar la comunicación entre el usuario y el robot se utilizará reconocimiento de voz, para algunos comandos y así poder realizar movimientos y gestos predeterminados, también emitirá las respuestas.
- Poseerá una cámara para poder visualizar y operar de manera remota.
- Necesitará contar con una fuente de alimentación que permita usar toda la electrónica, entre ella los motores del Pioneer P3 (ver anexo 3) que servirá de plataforma móvil y los servomotores de los hombros y cuello.
- El robot tendrá dos modos de utilización. La primera es teleoperado con un radio máximo de 1 km y la otra es por comandos simples de voz en conjunto con la interfaz en la Tablet. Dichos modos servirán para el estudio de la percepción del usuario con respecto a tener un robot de ayudante en la biblioteca.

- 2.2 Concepto de la solución



Fig. 2-1: Vista Frontal del Sistema Mecatrónico (exterior e interior) (Fuente: Propia)

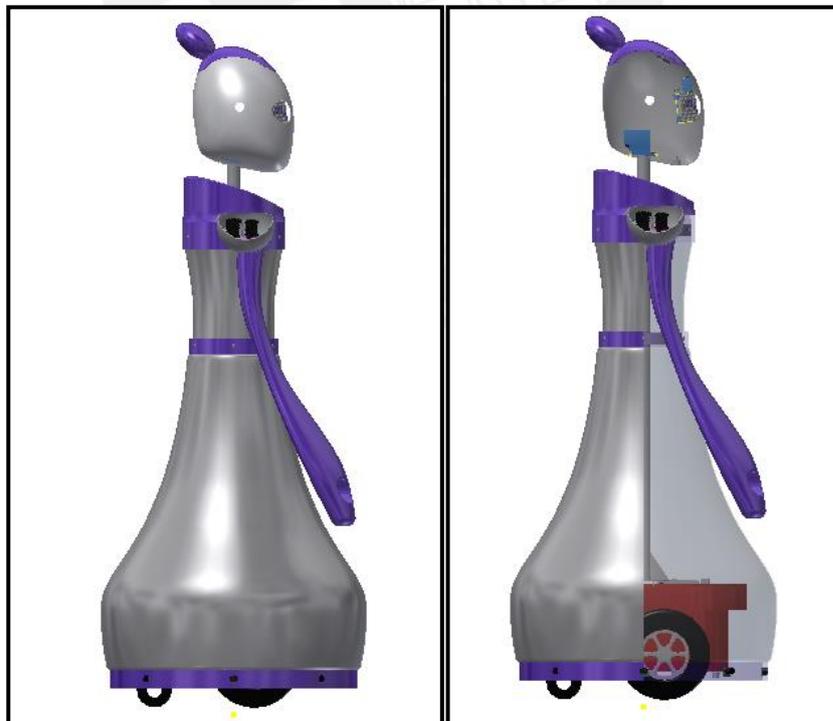


Fig. 2-2: Vista Lateral del Sistema Mecatrónico (exterior e interior) (Fuente: Propia)

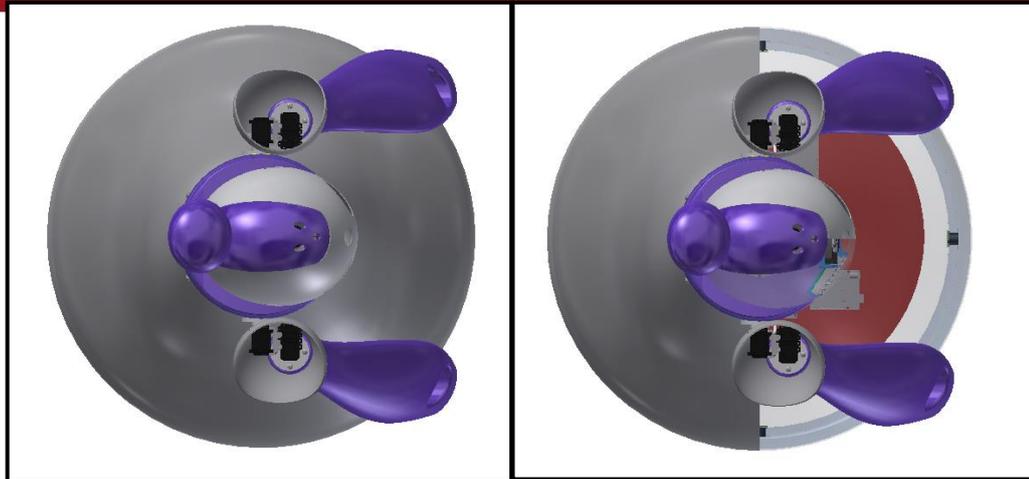


Fig. 2-3: Vista Superior del Sistema Mecatrónico (exterior e interior) (Fuente: Propia)

El robot humanoide que se observa en las figuras 2-1, 2-2 y 2-3 es una guía de biblioteca que está diseñada para brindar la información necesaria de los servicios que se encuentran en una biblioteca y motivar de manera eficiente al entendimiento de los mismos. Esto se obtendrá siguiendo las bases de HRI [8] para así lograr los mejores resultados se tienen que tomar en cuenta los aspectos como por ejemplo lo físico, la forma y la estética. También se eligió el género del robot, que es femenino, ya que según un estudio realizado en el Museo de Ciencias de Boston [9], en el cual las personas interactuaban con robots de géneros variados, se obtuvo como conclusión que el lazo de confianza más fuerte se lograba entre las personas de género masculino y los robots de género femenino, seguidos por la combinación de femenino-femenino.

Luego, la primera interacción son los gestos que otorga con los ojos, los cuales son minimalistas pero se podrá apreciar claramente expresiones diferentes. Esto se acompaña con la voz que emitirá tratando de captar la atención de personas y buscando que interactuar con ellas, pues para brindar información es mejor contar con un robot extrovertido [10]. Cuando las personas contesten a este llamado y le hablen contará con dos formas de respuesta, con la primera responderá ciertas preguntas mediante el uso de la tarjeta reconocedora de voz EasyVR y la otra manera es invitar al usuario a buscar la información en la Tablet que tiene conectada en la parte frontal.

Para la interacción extrovertida del agente activo se utilizará una cámara frontal, que con la ayuda de algoritmos de visión por computadora permitirá reconocer a las personas e invitarlas a otorgar ayuda (información). Para dar direcciones puede utilizar sus brazos los cuales se mueven en dos grados de libertad, mediante dos servomotores y cuando requiera movilizarse, utilizará la cámara frontal y los ultrasonidos colocados en el borde inferior (en forma de anillo) del robot, para evadir obstáculos y dos motores DC pertenecientes a una plataforma robótica llamada Pioneer P3-DX, sobre esta se colocará un sensor que contiene acelerómetro, compás y giroscopio para un mejor desenvolvimiento al trasladarse.

# Capítulo 3

## Sistema mecatrónico

### 3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

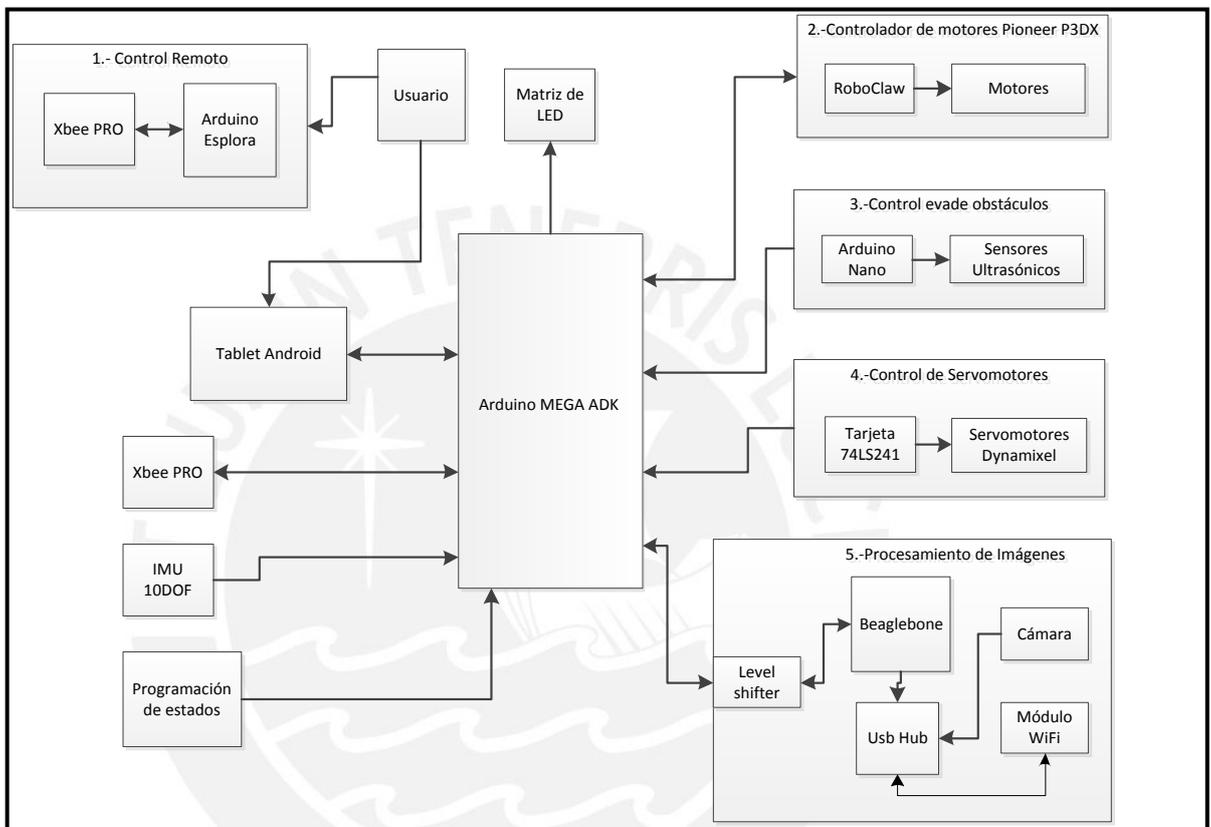


Fig. 3-1: Diagrama de funcionamiento (Fuente: Propia)

La figura 3-1 muestra el diagrama de bloques del funcionamiento del sistema mecatrónico diseñado. Presenta cinco bloques principales, el primero es el Control Remoto, que cuenta con un Módulo Xbee Pro para transmitir datos con una distancia de hasta 1 km. Está conectado a un Arduino Esplora, tarjeta que permite aplicar el control necesario y además posee botones para un uso fácil de mando para teleoperación realizado por el usuario.

El segundo bloque es el Control de los 2 Motores de la Plataforma móvil Pioneer P3 que se encargará de trasladar el robot, estos estarán controlados por un RoboClaw (tarjeta controladora de motores) el cual se conectará a la tarjeta microcontroladora Arduino Mega ADK.

El tercer bloque es el Control evade obstáculos, que tendrá la característica de evitar los obstáculos, ya sea en el modo autónomo o teleoperado, este bloque contará con 8 sensores de ultrasonido alrededor de la parte inferior y dos sensores apuntando en dirección al suelo, para poder notar los desniveles en el piso y evitar la caída del robot, todos los sensores se conectarán a un Arduino Nano, tarjeta microcontroladora pequeña, que trabajará como esclavo del Arduino MEGA ADK (se comunicarán a través del protocolo serial).

El cuarto bloque se dedica al Control de los servomotores, los cuales son cinco: uno en el cuello y dos en cada hombro. Estos estarán controlados por una tarjeta con un buffer tri state (74LS241) el cual sirve para convertir la señal emitida por una línea a través del Arduino MEGA ADK en 3 líneas que ingresan a los servomotores.

El último bloque es de Procesamiento de Imágenes el cual se hará con una cámara web Logitech C615 conectada al BeagleBone (tarjeta microprocesadora, con capacidad de realizar procesamiento de imágenes, ya que se le puede instalar un sistema operativo como Linux) por medio de un USB hub de dos salidas, para poder conectar a este un módulo WiFi, otorgando la posibilidad de crear una red a la cual se podrá conectar la tablet, por otro lado el Beaglebone y el Arduino MEGA ADK se comunican con protocolo serial pero antes se tendrá una tarjeta level shifter, que se encarga de convertir el voltaje de 5V a 3.3V y viceversa, pues son los voltajes de trabajo del Arduino y BB, respectivamente.

Asimismo se tendrán conectados directamente al Arduino MEGA ADK dos matrices LED para transmitir gestos del robot, un Xbee PRO para la comunicación con el control remoto, un sensor IMU 10 DOF que cuenta en su interior con un compás, un acelerómetro, un giroscopio y un sensor de presión barométrica, y por último por el USB host se conectará una Tablet con sistema operativo Android para brindar una interfaz amigable al usuario donde podrá seleccionar diferentes opciones para interactuar con el robot.



### 3.2 Sensores y actuadores

#### Sensor Ultrasónico MB1000 LV-MaxSonar-EZ0

Sensor de ultrasonido (figura 3-2) especializado en detectar personas en movimiento, pues tiene una frecuencia rápida de 20Hz para la toma de datos. Para leer la señal se conectará el PIN AN a una entrada analógica del Arduino Nano, la cual tiene implementada un ADC de 10 bits (0-1023) el sensor entrega como máximo la mitad del voltaje de suministro (en este caso de 5 V) lo cual se corresponde al valor del ADC de 512 aquí el rango será el máximo (254inch) entonces el factor de conversión de ADC a distancia será de 2.

Por el ángulo de sensado del sensor (revisar anexo 4) se ubicarán 8 sensores equidistantes alrededor de la parte inferior de la falda del robot (figura 3-7).



Rango Máximo	254 inch
Frecuencia de Trabajo	20Hz
Rango Muerto	0
Voltaje de Trabajo	2.5 - 5V

Tabla 3-1: Especificaciones Sensor Ultrasónico

Fig. 3-2: Sensor Ultrasónico MB 1000  
(Fuente: www.maxbotix.com)

#### Sensor Ultrasónico HC-SR04

Este sensor (figura 3-3). Cuenta con 4 pines VCC, GND TRIG (se conectará a un pin digital para el envío del pulso ultrasónico) y ECHO (al pin de entrada digital que recibirá el eco del pulso emitido).

La distancia será calculada con la fórmula  $d=v*t$ , donde  $v$  es la velocidad del sonido (340m/s) el tiempo es el que se obtiene con el eco, pero como este tiempo es de ida y vuelta se dividirá entre 2 y se obtiene " $d=0.017* t$ " (ver anexo 5) Se utilizarán 2 de estos sensores ubicados con dirección al piso (figura 3-7) para notar algún desnivel y así evitar la caída del robot.



Voltaje de Trabajo	0-5V
Ángulo de Trabajo	15°
Rango de Operación	2-450cm
Precisión	3mm

Fig. 3-3: Sensor Ultrasónico HC-SR04  
(Fuente: www.dx.com)

Tabla 3-2: Especificaciones Sensor Ultrasónico

### Sensor Inercial IMU 10 DOF

Sensor (figura 3-4) que proporciona medidas como la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales utilizando diferentes tipos de sensores: un acelerómetro (ADXL 345), un giroscopio (ITG-3205), un compás (HMC5883L) y un barómetro (BMP085). (Ver anexo 6)

Trabaja de 3-8 V será alimentado por el Arduino MEGA ADK, contiene un regulador de ruido, tiene 4 pines: VCC, GND, SCL y SDA. Los dos últimos son para proporcionar la comunicación I2C la cual es compatible con las librerías de Arduino.

El sensor se ubicará sobre la plataforma Pioneer P3DX para estar paralelo a la línea horizontal, sobre una superficie rígida y así no variar el punto de referencia de las mediciones.

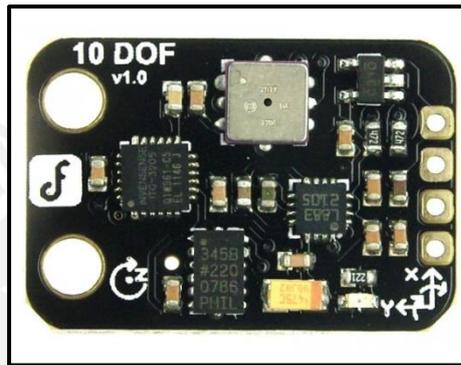


Fig. 3-4: Sensor Inercial IMU 10 DOF (Fuente: [www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com))

### EasyVR 2.0

Esta tarjeta (figura 3-5) realiza un reconocimiento de voz multipropósito para Arduino, es decir, tiene librerías compatibles. También cuenta con las siguientes características: reconocimiento de 28 comandos predeterminados en varios idiomas, sonidos DTMF, opción de grabar nuevos comandos, comunicación serial UART, alimentación de 3.3 – 5V (conectado al Arduino), salida para un parlante de 8 ohm y conexión para una entrada de micrófono (revisar anexo 7). Cuenta con 13 pines de los cuales se usarán un par para el micrófono, un par para el parlante, VCC, GND, TX y RX. Los dos últimos para la comunicación con el Arduino MEGA ADK. El módulo Easy VR se colocará en el Pioneer P3 junto a toda la electrónica del robot, el micrófono se colocará por el cuello para una mejor recepción del sonido y el parlante tendrá sitio en la parte superior de la cabeza (figura 3-7).



Fig. 3-5: EasyVR (Fuente: [www.veear.eu](http://www.veear.eu))

### Logitech HD Webcam C615

Cámara full HD (figura 3-6) 1080p (1920x1080 píxeles), cuenta con autofocus, alta velocidad, diseñada para reconocimiento de rostro, detección de movimiento. Estas características ayudarán en el procesamiento de imágenes, pero sufrirán un ligero decremento en cuanto a calidad pues el BB puede procesar imágenes 720p. La cámara será colocada en la frente del robot con un ángulo adecuado para tener un buen acceso al rostro del usuario en este caso será con una elevación de  $10^\circ$  con respect a la horizontal (ver anexo 8)



Fig. 3-6: Logitech HD Webcam C615 (Fuente: [www.logitech.com](http://www.logitech.com))

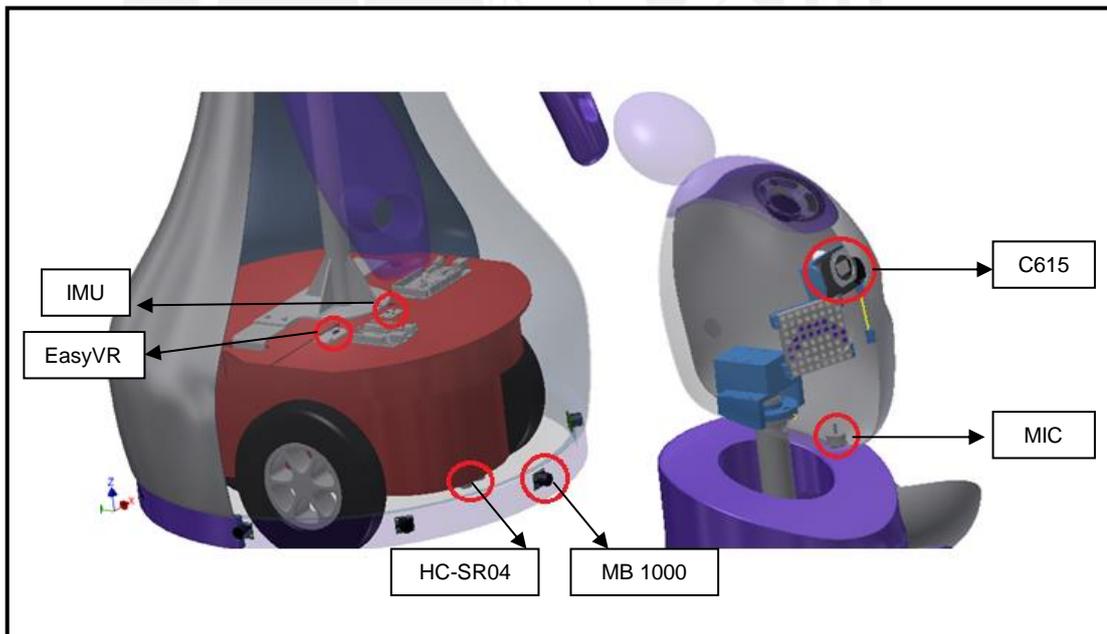


Fig. 3-7: Ubicación de los sensores: a la izquierda se muestra la Base y a la derecha el rostro del robot (Fuente:Propia)

### Servomotor Dynamixel AX-12A

Estos servomotores (figura 3-8) pueden controlar su velocidad, posición, tensión, temperatura interna y carga soportada. Dicho motor tiene un microcontrolador Atmega 8 que entiende 50 comandos y cuenta con un control retroalimentado, que le permite trabajar como un actuador profesional por los sensores internos. Se comunica a través de Half Duplex UART-TTL (8 bit, 1 stop, no parity) con un ID de 0-253. Su voltaje de operación es de 12V, otorgando un torque de 1.5Nm, con el pin de GND compartido con el Arduino, para utilizar las bibliotecas de Arduino para la programación es necesario un chip tri-estado 74LS241 para la comunicación del servo y el Arduino. Tiene un giro de hasta 300°, una velocidad de 59 RPM sin carga. Estos servomotores se encontrarán en los hombros (2 en cada uno) y uno en el cuello para permitir girar la cabeza. (figura 3-9) Para mayor información del motor revisar anexo 9.



Fig. 3-8: Dynamixel AX-12A  
(Fuente: [www.robotis.us](http://www.robotis.us))



Fig. 3-9: Ubicación de servomotores (Fuente: Propia)

### Pioneer P3-DX

Esta plataforma de estudio para ambientes controlados (figura 3-10) nos proporciona dos motores que trabajan a 12V y 2.5A, con esto se obtiene una velocidad máxima de 2m/s y soporta una carga máxima de 23Kg. Esta plataforma servirá de base para el sistema Mecatrónico (figura 3-7) soportando la estructura y además sobre ella se ubicará la parte electrónica. (ver anexo 3)



Fig. 3-10: Pioneer P3-DX (Fuente: <http://www.mobilerobots.com>)

\*Revisar anexo 10 para la descripción de la selección de actuadores.

### 3.3 Planos del sistema mecatrónico

El Sistema Mecatrónico cuenta con una estructura central, (Revisar Anexo 11 para el análisis de la Estructura Central) que se encargará de sostener la estructura del robot y sobre esta se hallarán las piezas de resina de la carcasa. El robot cuenta con 2 brazos, una cabeza y todo el cuerpo.

A continuación se presentarán los ensambles de las partes del robot. (Para ver los planos de despiece dirigirse al anexo 11).

#### Vista del exterior del Robot

La figura muestra la disposición de las piezas elaboradas en resina, las cuales cubrirán la estructura central, la electrónica y los motores.

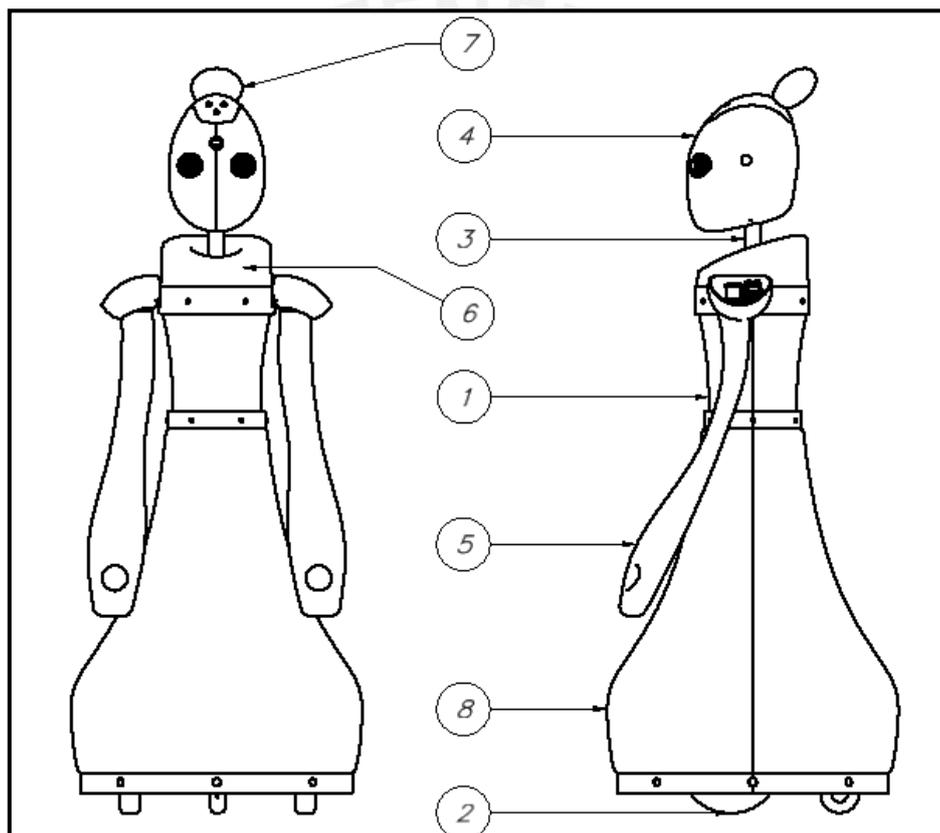


Fig. 3-11: Vista externa del sistema Mecatrónico (Fuente: Propia)

En la Figura 3-11 presenta las formas orgánicas de la carcasa realizada con resina y moldes de madera. Comenzando por la cabeza la cual tiene dos partes: la cabeza superior (7) que representa un moño, dándole género femenino al robot y el rostro (4) que por cuestión de ahorro de costos se parte a la mitad. Luego sobresale un fragmento de la estructura interna (3) que se detallará más adelante. A continuación se encuentra el cuello (6) y el torso (1) también partido a la mitad. A los costados se ubican las extremidades (5) y para concluir las piezas de resina se muestra la falda (8) que por su forma le dará mayor estabilidad al robot, pues le otorga un centro de gravedad ubicado en el eje. En la parte inferior se ubican las llantas del Pioneer P3-DX (2).

### Estructura Central

En este ensamble se muestra la estructura la cual servirá de apoyo principal, ésta se ubicará en el centro de gravedad de todo el sistema para proporcionar estabilidad.

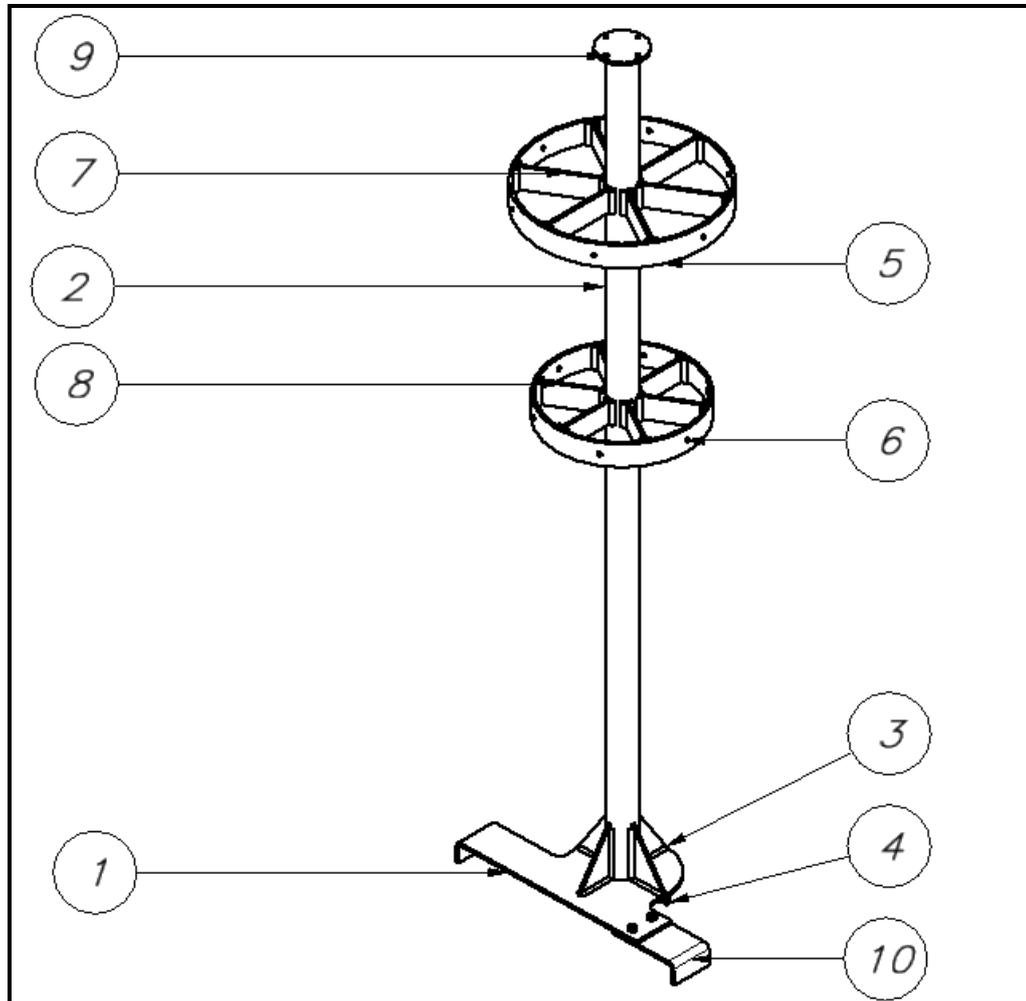


Fig. 3-12: Vista de la Estructura Central (Fuente: Propia)

En la figura 3-12 se tiene la estructura central hecha de aluminio de 3mm de grosor para optimizar el peso y además brinde la resistencia necesaria para soportar la carcasa y la electrónica, como los motores. Se observa de arriba hacia abajo la placa que soportará el motor del cuello (9), luego está ubicado el primer anillo (5) que se atornillará al torso hecho de resina mediante 6 tornillos cabeza redonda M4 x 20, al igual que el anillo de la cintura (6) con la carcasa de la falda. En medio se enumera el tubo de 30 mm de diámetro y 1.95 mm de grosor; para unir los anillos al tubo central se sueldan 2 diferentes tamaños de placas (7) y (8). Por último se muestra la parte que se sujeta en el Pioneer P3-DX, esta consta de una placa principal (1) que está soldada al tubo mediante 4 nervios (3) y en la parte inferior una placa (4), esto se atornillará con el sujetador derecho (10) mediante 2 tornillos DIN933 M5X7 y tuercas DIN935.

## Brazos

Aquí se muestra el ensamble de cada brazo, que contienen los dos servomotores dedicados a proporcionar el movimiento.

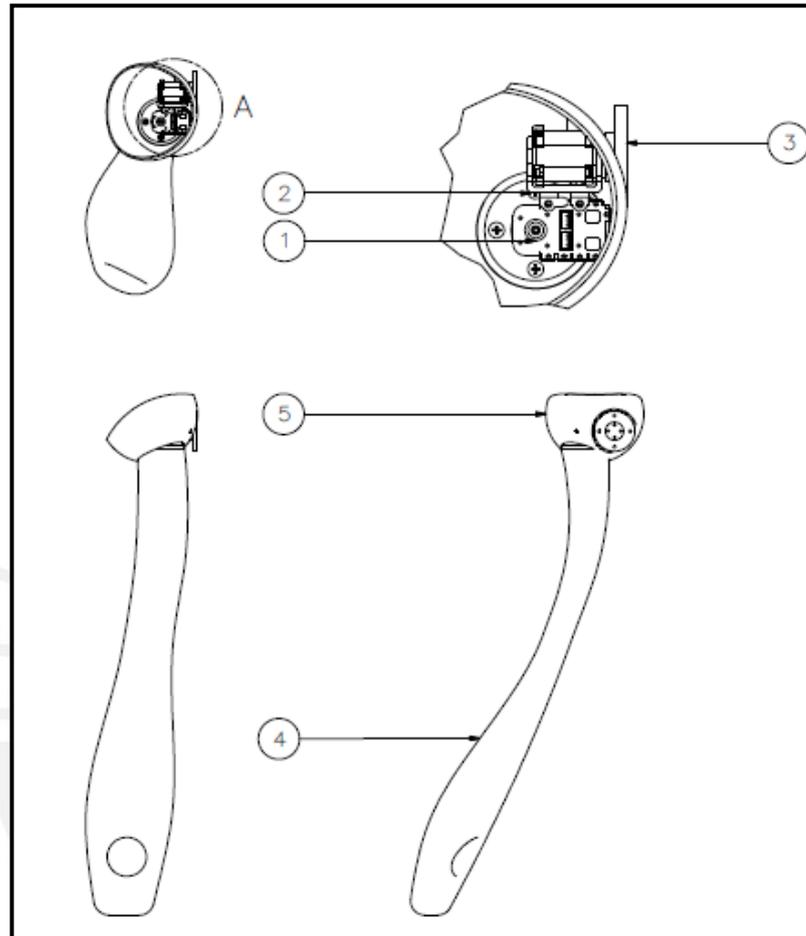


Fig. 3-13: Ensamble del Brazo Derecho (Fuente: Propia)

En la figura 3-13 se observa el montaje de un brazo el cual tiene una forma personalizada, puesto que no se colocará un motor en el codo sino que el movimiento de este ha sido reemplazado por la forma del brazo, otorgando así la presencia de un codo (4). Tendrá un movimiento de arriba hacia abajo y uno de rotación cada uno realizado por un servomotor Dynamixel AX-12A (1) con sus respectivos acoples (3) que serán de plástico ABS impresos en 3D, los motores están sujetos entre ellos por su propio acople Dynamixel (2) y para cubrir los motores se tiene el hombro (5) elaborado en resina también.

En la figura 3-14 se muestra una vista isométrica del ensamble del brazo sin el hombro para poder apreciar la disposición de los motores.

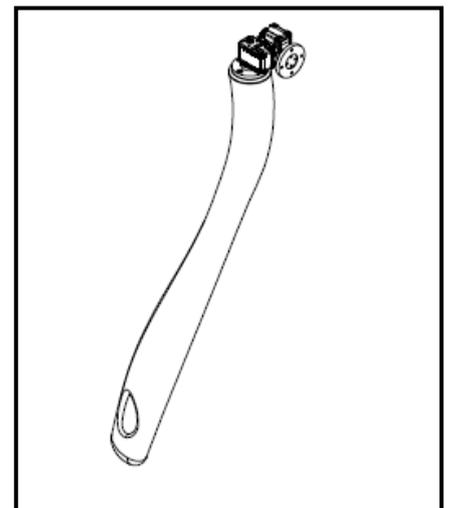


Fig. 3-14: Vista isométrica del Brazo (Fuente: Propia)

## Cabeza

Siguiendo con los ensambles se detallará el interior de la cabeza.

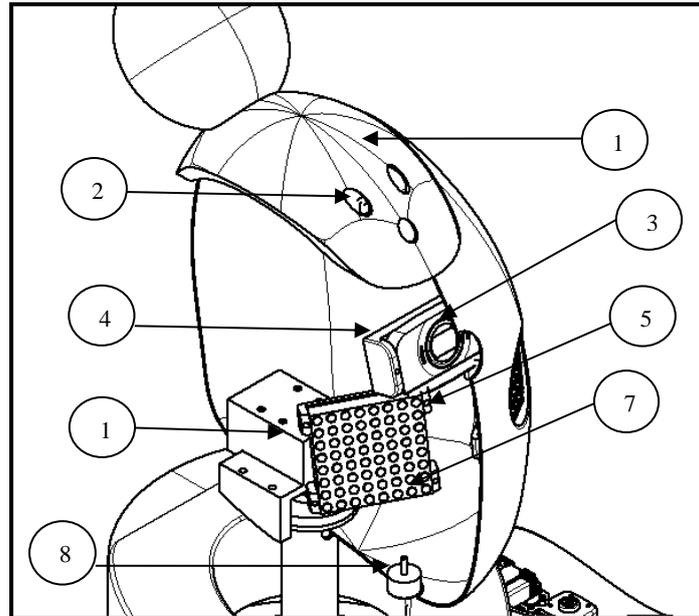


Fig. 3-15: Vista isométrica del interior de la Cabeza del robot (Fuente: Propia)

En la figura 3-15 se tiene la cabeza, en la que se puede observar la parte superior que contiene el moño (1) para dar el género, aquí se coloca el parlante (2) para que el robot pueda interactuar, luego se encuentra la cámara Logitech C615 (3) para desarrollar el análisis de imágenes y poder controlar el robot remotamente, la cámara está colocada en el rostro mediante un acople (4) impreso en ABS. En cada ojo se le colocará una matriz de LEDs (7) para así poder demostrar emociones, estos se sostienen con un soporte (5) impreso en ABS. Debajo de la barbilla se encuentra el micrófono (8) que es parte de la tarjeta de reconocimiento de voz EasyVR. Por último se ha diseñado un acople (6) para el motor del cuello y se adhiera a la cabeza para otorgarle movimiento.

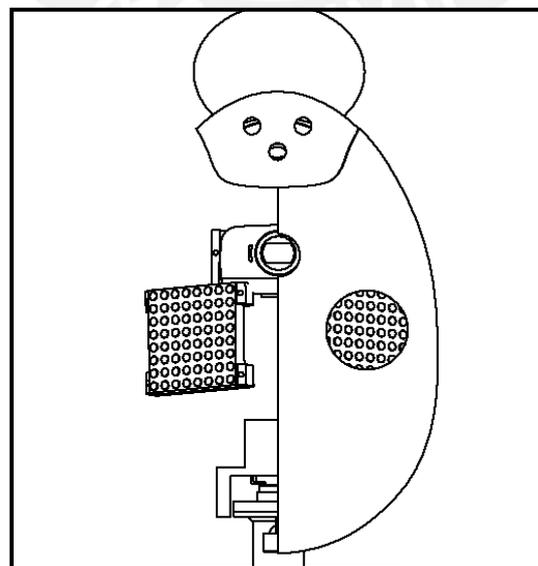


Fig. 3-16: Vista frontal de la cabeza del robot con medio lado expuesto (Fuente: Propia)

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

#### Arduino MEGA ADK

El sistema tendrá como controlador central un Arduino MEGA ADK (figura 3-17) ya que la cantidad de pines de control analógico y digital son los suficientes para el sistema, se necesitan 14 pines digitales, además del puerto USB host necesario para conectar una Tablet Android y comunicarse por protocolo serial, a este Arduino se conectarán también un Arduino Nano y un BeagleBone. Ver anexo 12 para hoja de datos del Arduino Mega ADK



Fig. 3-17: Arduino MEGA ADK (Fuente:www.arduino.cc)

Tabla 3-3 Especificaciones del Arduino MEGA ADK

Voltaje de operación	5V
Digital I/O Pins	54 (15 salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
Clock Speed	16 MHz
USB Host Chip	MAX3421E

**Arduino Nano**

Este Arduino (figura 3-18) servirá para realizar el control de los sensores ultrasónicos y transmitir los datos de las distancias al ADK mediante comunicación serial TX RX, para así ahorrar pines del Arduino MEGA ADK, tener mejor control de los sensores y evitar que el robot choque. A la derecha de la figura 3-18 se encuentra un esquemático con los pines que se usarán. Ver anexo 13 para hoja de datos del Arduino Nano

Especificaciones:

Tabla 3-4: Especificaciones Arduino Nano.

Voltaje de operación	5 V
Digital I/O Pins	14 ( 6 salidasPWM)
Pines de entrada analógica	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Clock Speed	16 MHz

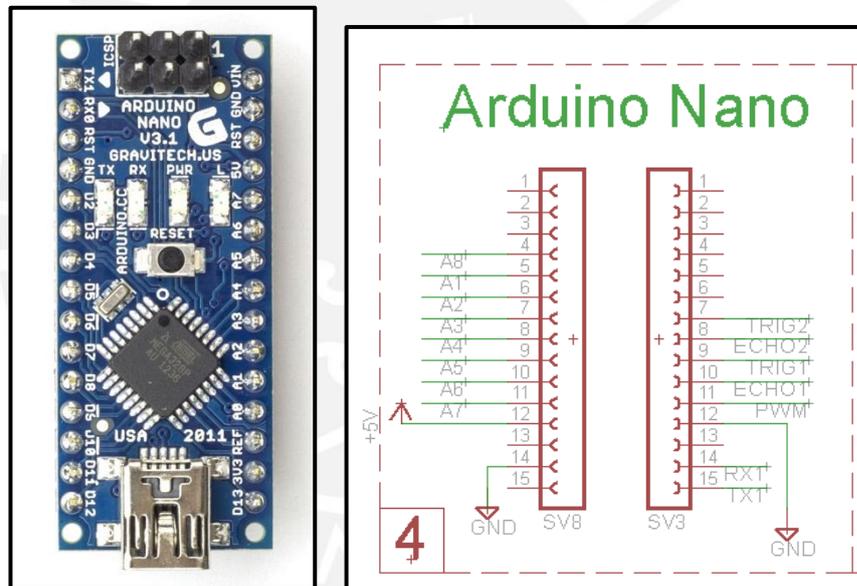


Fig. 3-18: Arduino Nano (Fuente: www.arduino.cc)

**BeagleBone**

Esta tarjeta (figura 3-19) es una mini computadora que tiene la capacidad de procesamiento de imágenes puesto que se le puede instalar un sistema operativo como Linux y consta con un USB host donde se conectará un USB hub para tener dos salidas, donde se conectará la cámara Logitech C615 ya antes nombrada y un módulo wifi (figura 3-19a) que tiene un radio de 300m y se utilizará para emitir la señal de la cámara web. Se procesarán las imágenes capturadas para reconocer movimiento y personas con lo cual se puede lograr una interacción entre el robot y el usuario. También la cámara dará la posibilidad de operar el robot remotamente. El BB y el Arduino MEGA ADK se comunicarán mediante comunicación serial.(Revisar anexo14)



Fig. 3-19a: Módulo WIFI (Fuente:www.adafruit.com)

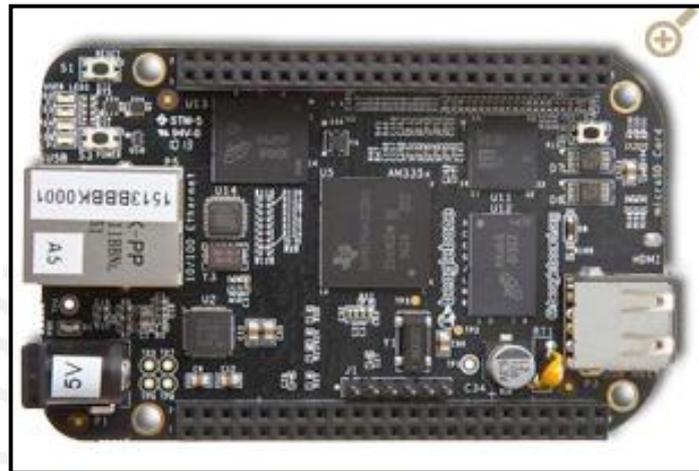


Fig. 3-19: BeagleBone Black (Fuente:www.beagleboard.org)

### Arduino Esplora

Para tener un manejo de la movilidad del robot de manera remota se tendrá el Arduino Esplora (figura 3-20) que cuenta con 4 botones y un joystick. Este se conectará al Módulo Xbee Pro (figura 3-21) para obtener un mando de controlador de remoto con un radio de 1 km. Ver anexo 15 para hoja de datos del Arduino Esplora.

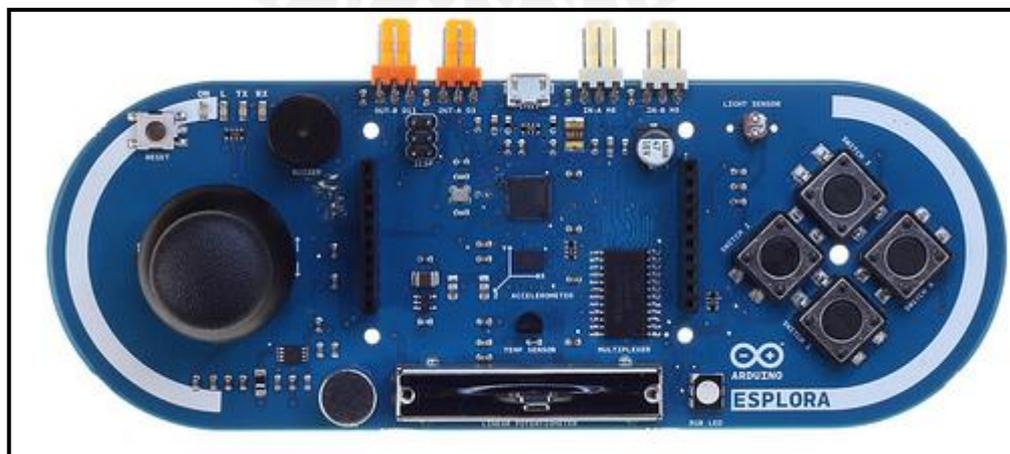


Fig. 3-20: Arduino esplora (Fuente: www.arduino.cc)

Tabla 3-4: Especificaciones Arduino Esplora

Microcontrolador	ATmega32u4
Voltaje de trabajo	5V
Flash Memory	32Kb
SRAM	2.5 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

### Control de Motores del Pioneer 3-DX

Esto se realizará mediante un Roboclaw (figura 3-22), el cual puede controlar dos motores con un voltaje de 6- 30V y una corriente de 5A con pico de 10 A, los motores necesitan 2.5A y 12V por lo que el controlador funcionará correctamente. Tiene 4 pines de control que van conectados al Arduino MEGA ADK: VCC, GND, TX y RX. El controlador Roboclaw estará comunicado al Arduino Mega ADK por medio del protocolo Serial. Ver anexo 16 para hoja de datos del Roboclaw.

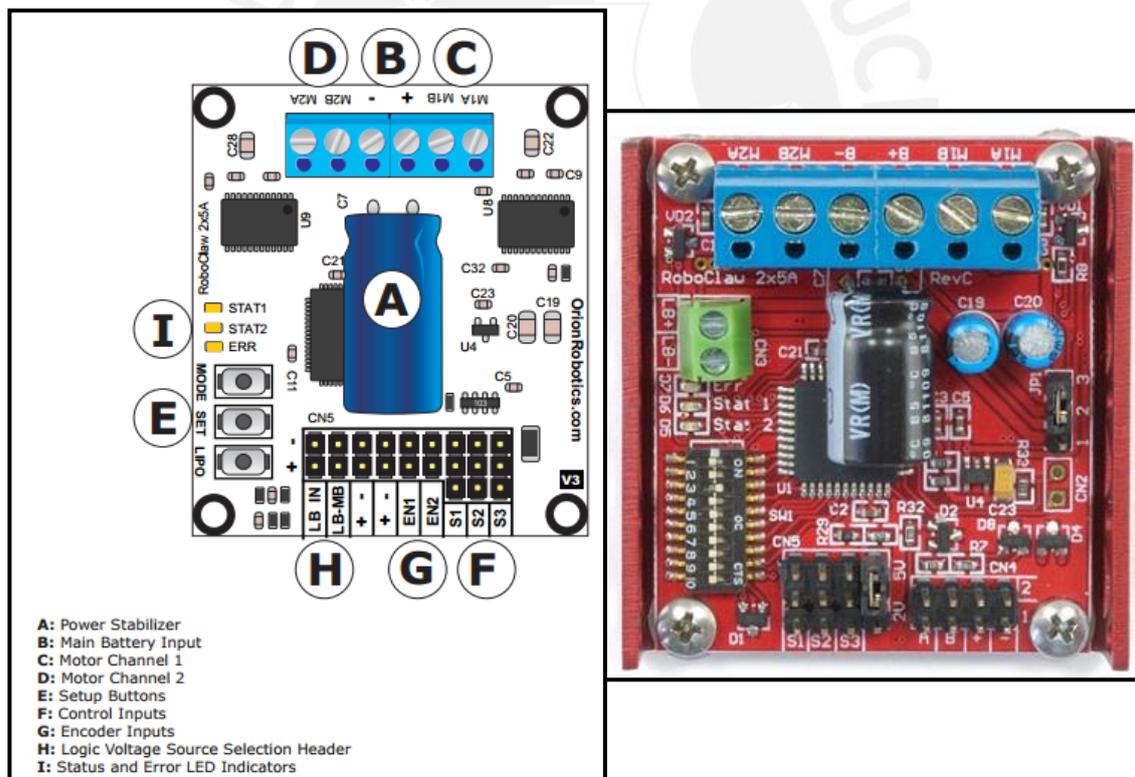


Fig. 3-22: Roboclaw 2x5A (Fuente:www.pololu.com)

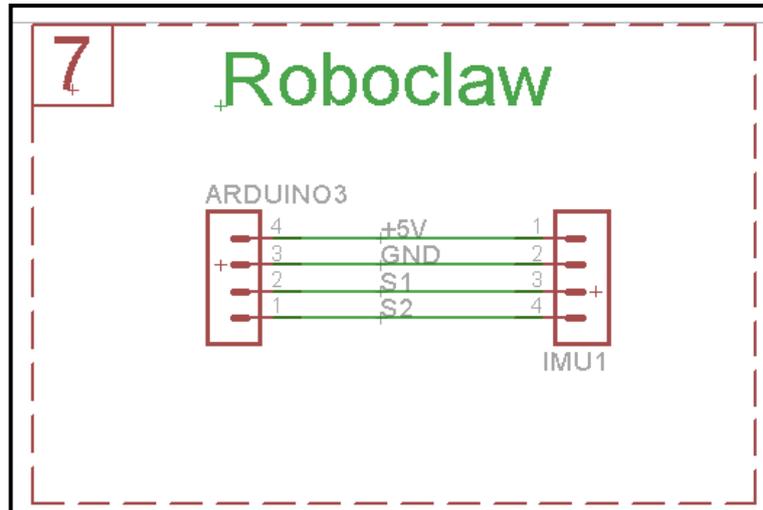


Fig. 3-23: conexión Arduino MEGA ADK + Roboclaw 2x5A (Fuente:Propia)

### Control de Servomotores

Los servomotores Dynamixel se comunican por Half Duplex UART por lo que para que se comuniquen correctamente al Arduino se debe tener un chip tri state buffer para convertir las tres líneas de motor en una sola, en este caso se usará el 74LS241 (ver anexo 17 para visualizar hoja de datos). En la figura 3-24 se muestra el esquemático de las conexiones.

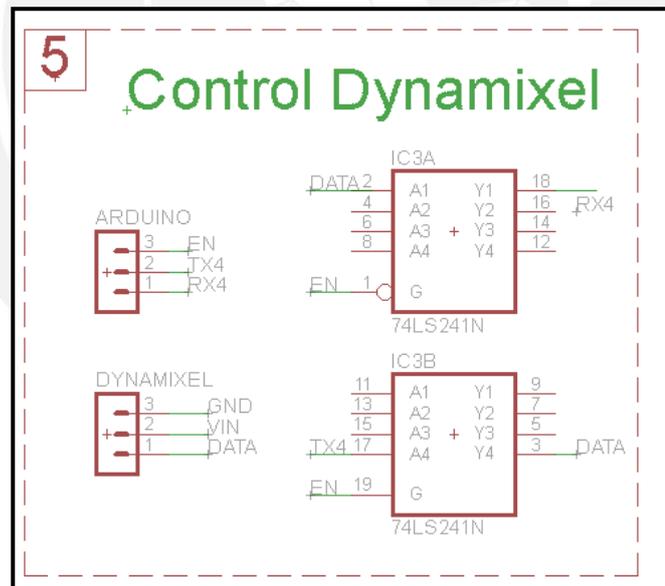


Fig. 3-24: Tarjeta diseñada para controlar servomotores (Fuente: Propia)

### Matriz de LED

Esta matriz (figura 3-25) de 8x8 tri-color trabaja a 5V y 120 mA óptimamente, entonces se alimentará con una fuente en base al regulador de voltaje LM7805, posee un Serial Backpack Controller el cual contiene un microcontrolador AVR y se comunica por medio del protocolo SPI con el Arduino MEGA ADK. La Matriz cuenta con 6 entradas VCC, GND, MOSI, SCLK, CS.

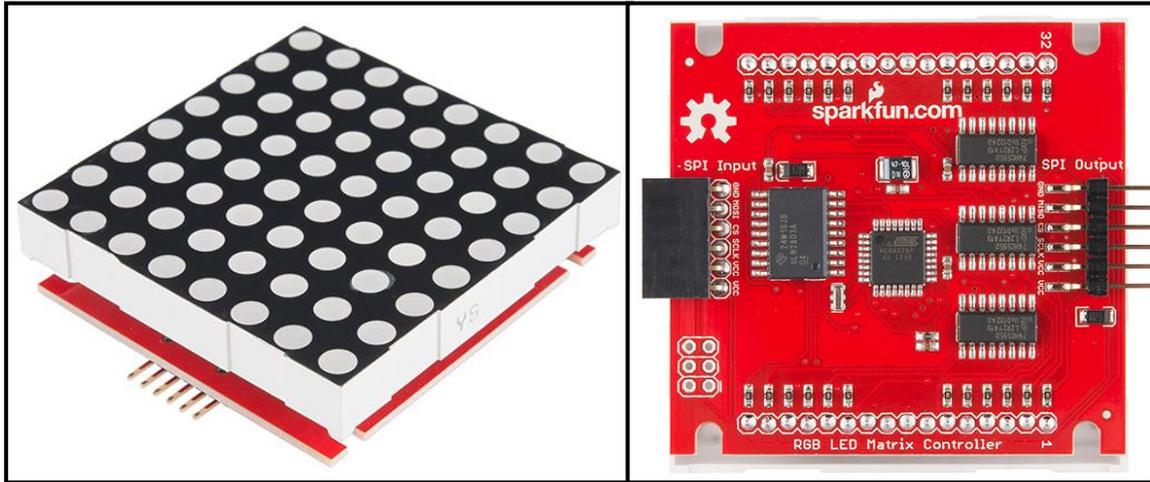


Fig. 3-25: Matriz Led 8x8 (Fuente: [www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com))

Esto nos permite poder controlar dos matrices conectando solo estos 6 pines, como se muestra en la figura 3-26 (ver anexo 18 para mayor información).

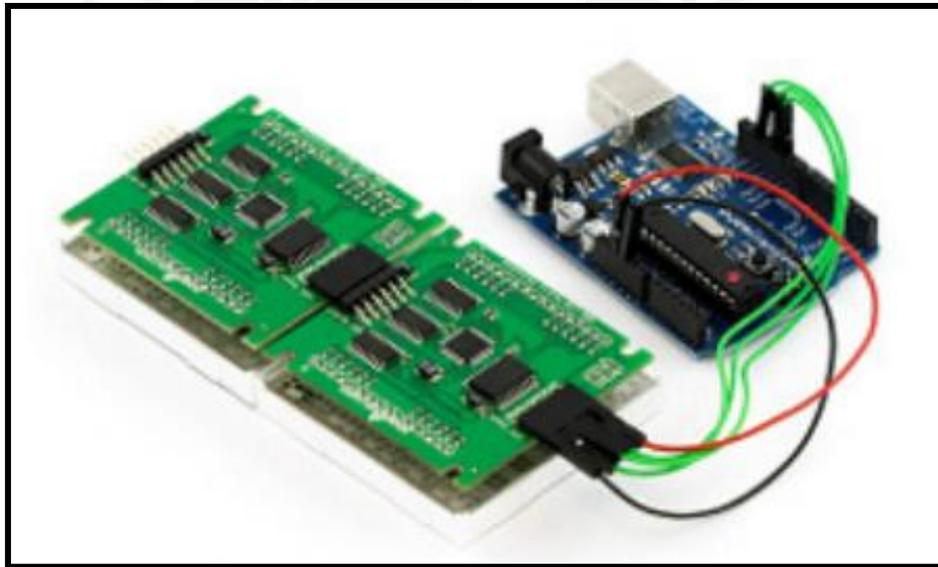


Fig. 3-26: 2 Matriz Led 8x8 conectados a un Arduino (Fuente: [www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com))

### Conexiones al Arduino

El módulo Xbee Pro (ver anexo 19) se conectará al Arduino por medio de un Shield de la manera que se muestra en la figura 3-27

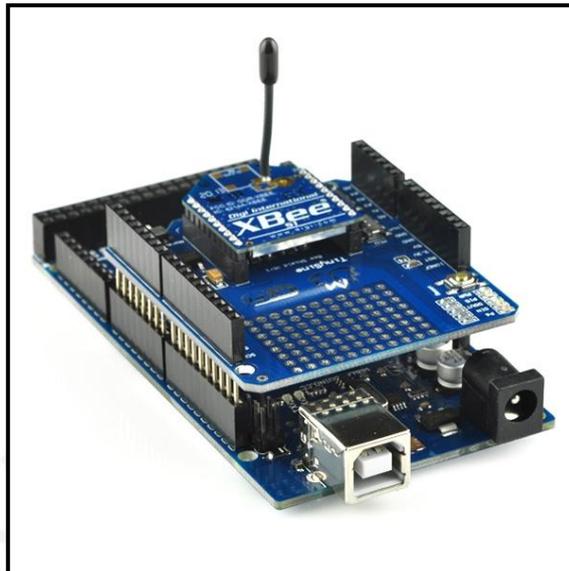


Fig. 3-27: Arduino+ Shield+XbeePro (Fuente: www.ebay.com)

En la figura 3-28 se muestran las conexiones necesarias entre el Arduino MEGA ADK y las diferentes tarjetas utilizadas: EasyVR, Matriz de Led e IMU 10 DOF.

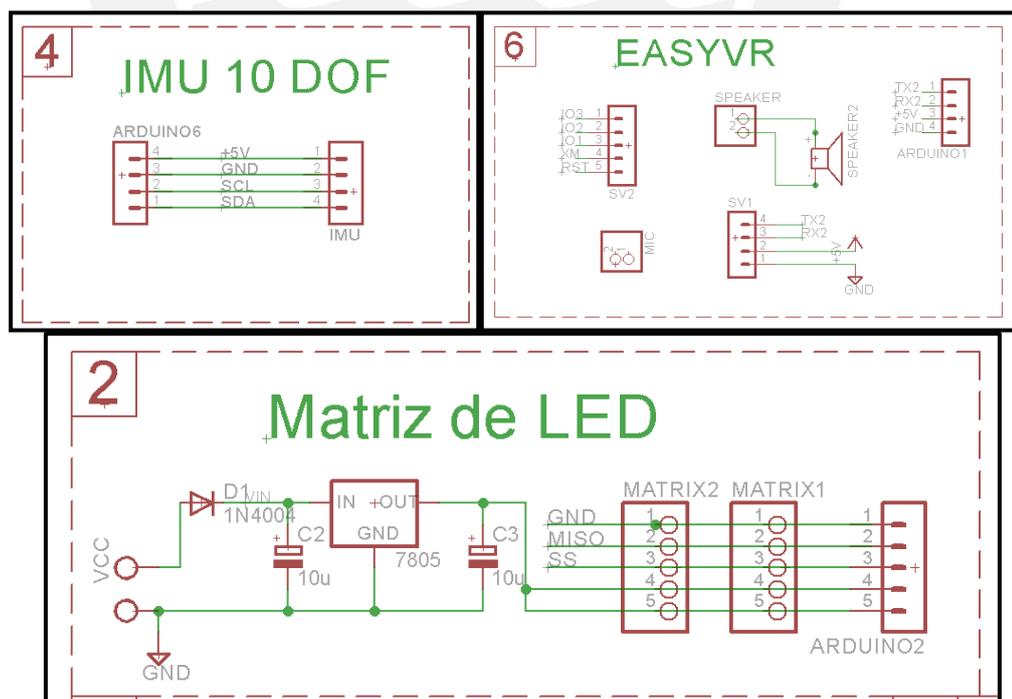


Fig. 3-28: Conexiones al Arduino MEGA ADK (Fuente: Propia)



### Tablet con Sistema Operativo Android

La Tablet se conectará al puerto USB host del Arduino MEGA ADK por medio de su propio cable USB, con lo que se comunicará por el protocolo serial (TX0, RX0) como se muestra en la figura 3-31 para poder controlar los movimientos del Robot y tener gestos predeterminados en una interfaz amigable, en la que se podrá añadir la información de los servicios de la biblioteca.(Dirigirse al anexo 20 )



Fig. 3-31: Tablet+ArduinoMEGA ADK (Fuente: [www.adafruit.com](http://www.adafruit.com))

## Batería

La batería YUASA mostrada en la figura 3-32 de ácido Pb, su voltaje nominal es de 12V con 7Ah, un peso de 2 kg, el sistema contará con 2 de estas baterías de alimentación, encargadas de proporcionar energía a sensores, actuadores, Tablet y controladores. Estas baterías se ubicarán en el Pioneer 3-DX que soporta hasta 23kg por lo que no hay problema con el peso de las baterías. (Revisar Anexo 21 para mayor información de la batería y consumo de energía).

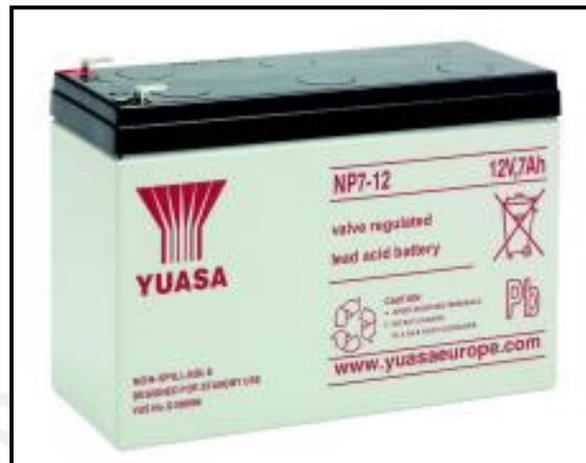


Fig. 3-32: Batería Yuasa 12V 7Ah (Fuente: [www.yuasaeurope.com](http://www.yuasaeurope.com))

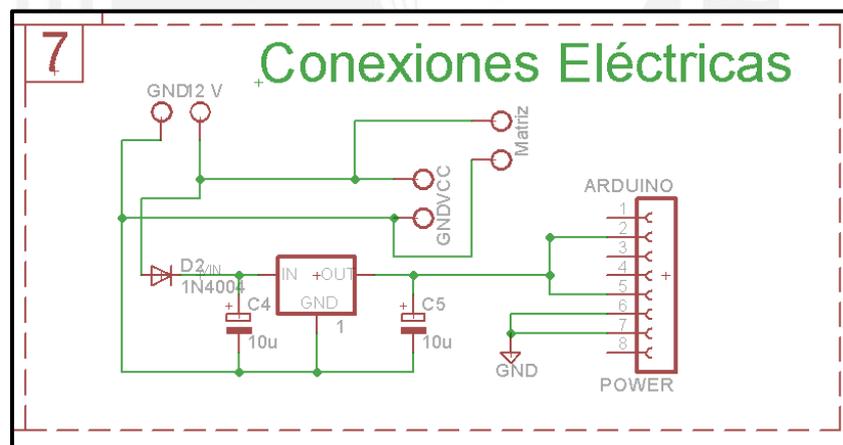
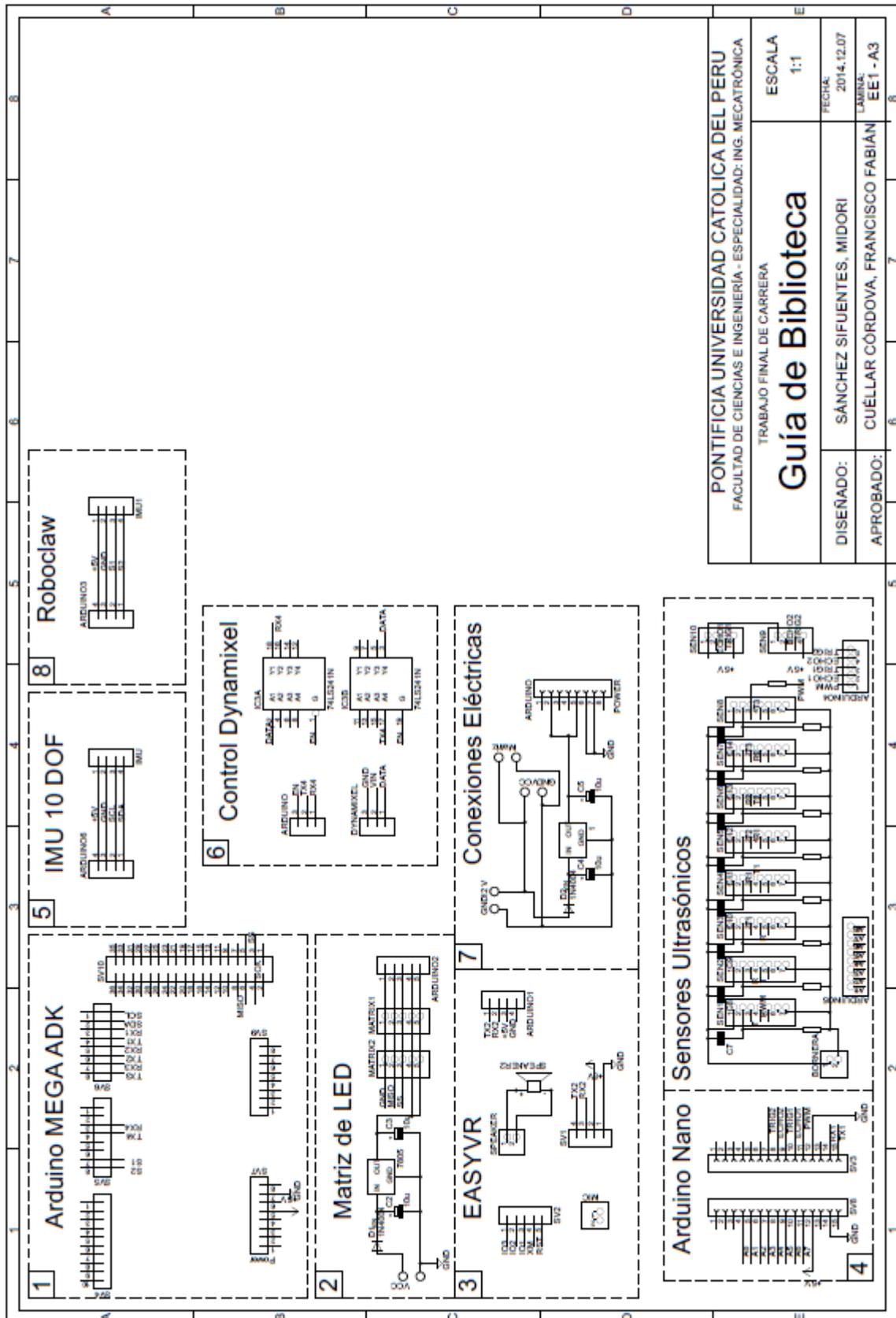


Fig. 3-32: Batería Yuasa 12V 7Ah (Fuente: [www.yuasaeurope.com](http://www.yuasaeurope.com))

En la figura 3-32 se encuentran las conexiones de todo el sistema, en 12V se conectarán las baterías en paralelo, de aquí se sacan las entradas de la matriz de Leds la cual tiene su propio regulador de voltaje, la conexión directa hacia los Roboclaw y la alimentación de los dos Arduinos utilizados y el BB.

Esquemático general



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		ESCALA 1:1
TRABAJO FINAL DE CARRERA		FECHA: 2014.12.07
<b>Guía de Biblioteca</b>		LÁMINA: EET - A3
DISEÑADO:	SÁNCHEZ SIFUENTES, MIDORI	
APROBADO:	CUÉLLAR CÓRDOVA, FRANCISCO FABIAN	

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

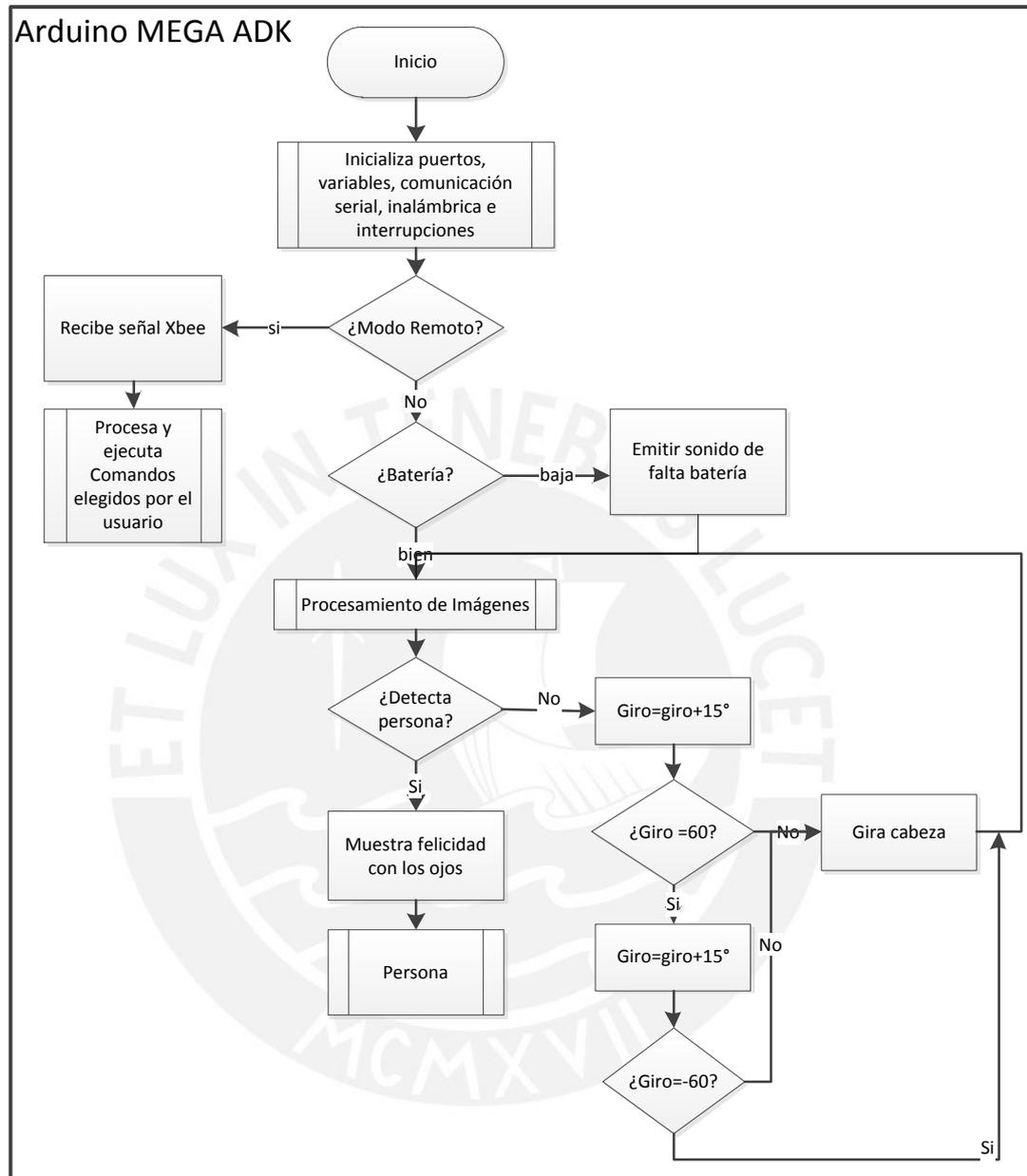


Fig. 3-33: Diagrama de Flujo del Programa Principal (Fuente: Propia)

En la figura 3-33 se muestra el diagrama de flujo del programa principal el cual comienza inicializando los componentes necesarios, configura la comunicación serial de los diversos módulos y las interrupciones. El sistema cuenta con dos modos de funcionamiento, modo remoto o interacción directa, si se desea manejar manualmente se cuenta con el Arduino Esplora y el módulo Xbee, entonces el programa tiene que leer la señal del Xbee y luego procesar y ejecutar los comandos elegidos por el usuario. Por otro lado en el modo automático el robot verifica su batería y si ésta tiene un buen nivel (9V en adelante) procede a buscar personas con las cuales interactuar ( lo cual realizará mediante la BB, será explicado más adelante), su cabeza gira con incrementos de 15° hasta alcanzar los 60° donde comenzará a decrecer en pasos de 15°, donde 0° en el centro mirando al frente,

cuando encuentra a una persona entra en la subrutina Persona, luego de contentarse de encontrar un usuario.

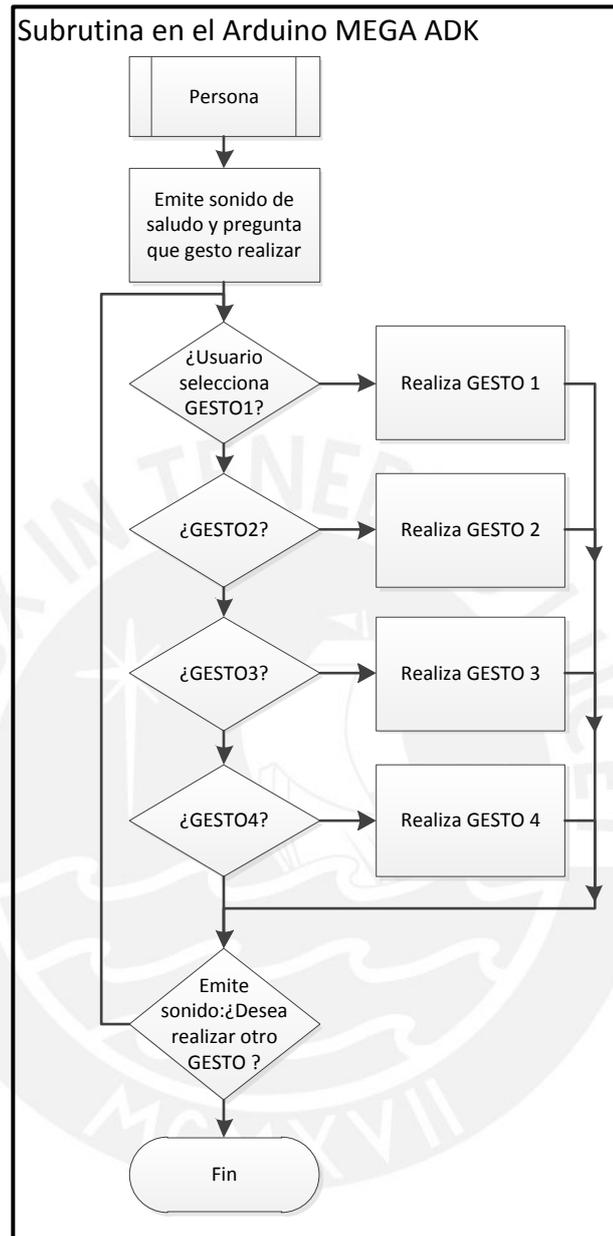


Fig. 3-34: Diagrama de Flujo de la subrutina PERSONA (Fuente: Propia)

Esta figura 3-34 muestra la subrutina que inicia cuando el programa principal detecta una persona. Primero el robot de forma amable saluda e invita al usuario a señalar algún gesto para que ella lo realice luego de que el usuario elija el gesto preguntará si desea seguir escogiendo gestos o salir de la interfaz de la Tablet, donde se despedirá amablemente. Los sonidos son grabados en la tarjeta EASY VR que cuenta con la característica de tener sonidos predeterminados, pero también cuenta con la posibilidad de grabar comandos nuevos.

Los gestos son movimientos de brazos y cambios en los ojos (Revisar Anexo 22 para visualizar)

GESTO 1: brazos levantados y ojos molestos rojos.

GESTO 2: brazo izquierdo levantado y ojos azules contentos.

GESTO 3: brazo derecho levantado invitando a pasar con los ojos verdes redondos.  
GESTO 4: brazos abajo ojos contentos color azul.

Estos gestos serán mostrados a los usuarios para recopilar información sobre el efecto que causa un robot y su comportamiento.

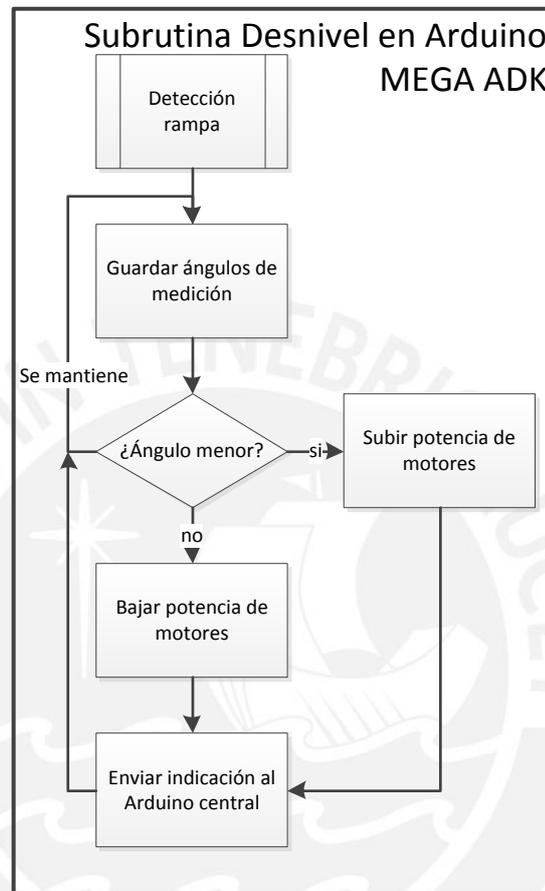


Fig. 3-35: Diagrama de Flujo de Detección de desnivel (Fuente: Propia)

En la figura 3-35 se muestra el diagrama de una interrupción realizada por el Arduino central para detección de desniveles grandes sensados con el IMU 10 DOF, esto para poder tener una buena performance al movilizarse, pues si el ángulo de medición es menor significa que la rampa está inclinada en contra lo cual implica darle más potencia a los motores para su funcionamiento, en caso contrario la potencia se reduce pues ganará más velocidad por efecto de la energía potencial gravitatoria. En el caso que se mantenga no habrá cambio.

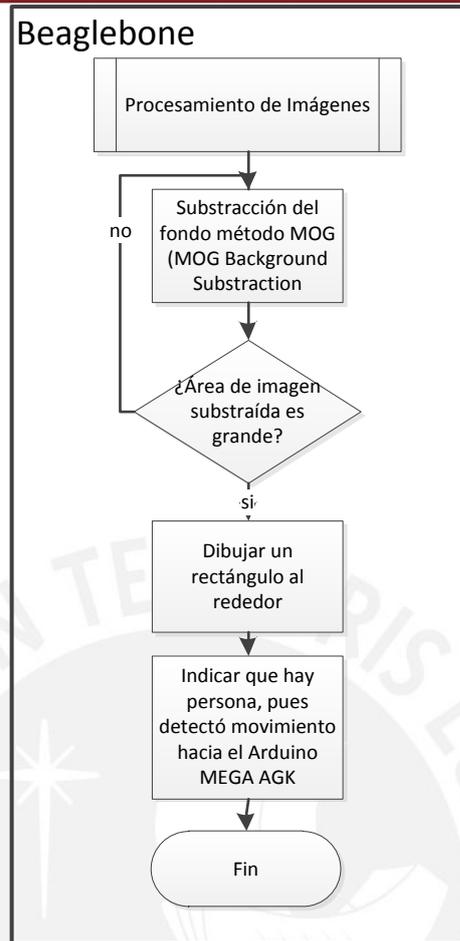


Fig. 3-36: Diagrama de Flujo de la Detección de personas en el BB (Fuente: Propia)

En la figura 3-36 se encuentra el diagrama de flujo de cómo se implementará el código en el Beaglebone para el procesamiento de Imágenes, de este modo poder reconocer si ha habido movimiento y si se tiene una persona.

Comenzará por realizar la substracción del fondo, para obtener la imagen umbralizada, luego se halla el área de la imagen, esto para no reconocer errores, pues si el área es muy pequeña, se puede detectar movimiento muy lejano o algún cambio en el fondo, pero no necesariamente una persona con la que se pueda interactuar. Cuando detecte el movimiento de una persona lo indicará al controlador central, para que el programa principal siga avanzando. (Revisar Anexo 23 para ver un ejemplo)

Paralelamente se tiene una interrupción (figura 3-37), en el Arduino Nano donde se tienen conectados los sensores de ultrasonido, en entradas analógicas, para evitar los obstáculos. Cuando se encuentre algún obstáculo se guardará una variable que significa algún comando de movimientos de motores para el Arduino Mega ADK, se envía la información y el controlador central se encargará de realizar los diferentes movimientos dependiendo del sensor en el que se captó la presencia. Los sensores del 1-8 son los MB 1000 de alrededor de la falda, sensando si hay personas y obstáculos en cambio los sensores 9 y 10 están dirigidos a evitar orificios en el piso o desniveles.

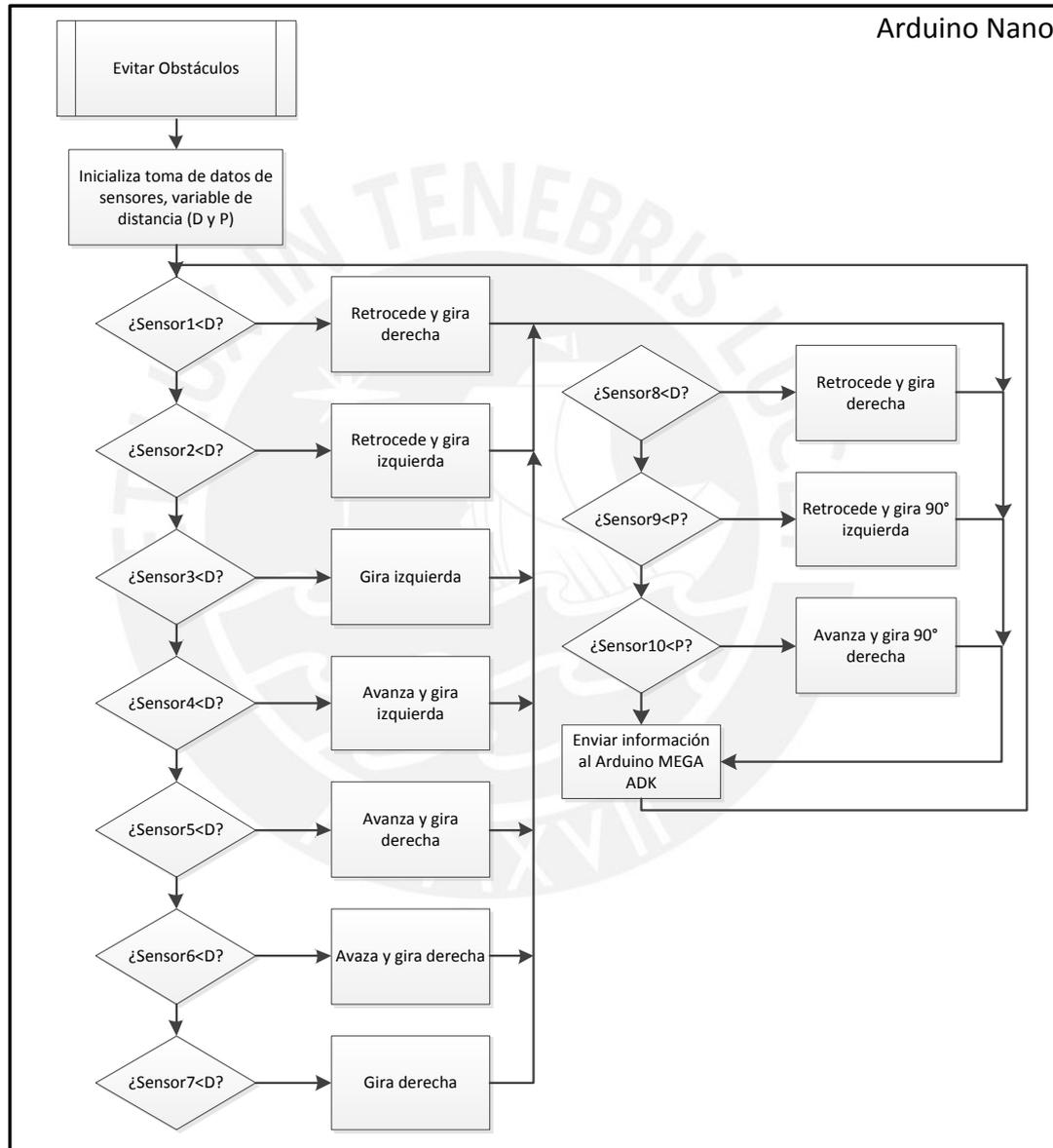


Fig. 3-37: Diagrama de Flujo de la interrupción que evita obstáculos (Fuente: Propia)

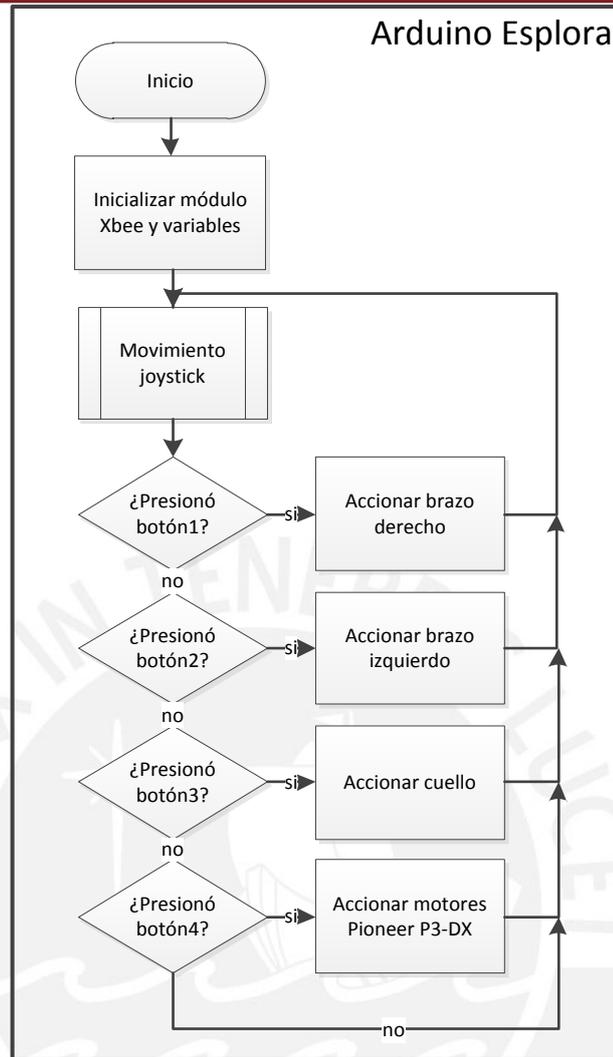


Fig. 3-38: Diagrama de Flujo de modo remoto programado en el Arduino Esplora(Fuente: Propia)

En la figura 3-38 muestra el diagrama de flujo cuando se selecciona el modo remoto. Por defecto se comenzará a accionar los motores del robot móvil base con el joystick el cual da movimiento de desplazamiento hacia adelante, atrás, izquierda y derecha. Pero cuando algún botón se presione se accionarán diferentes opciones, es decir, con el botón 1 (figura 3-39) se podrá mover el brazo derecho hacia arriba, abajo y rotar horario y antihorario. De la misma manera para el brazo izquierdo y luego el botón 3 será para accionar el cuello el cual solo girará horario o antihorario y por último el botón 4 para regresar a dar movimiento a la plataforma base.

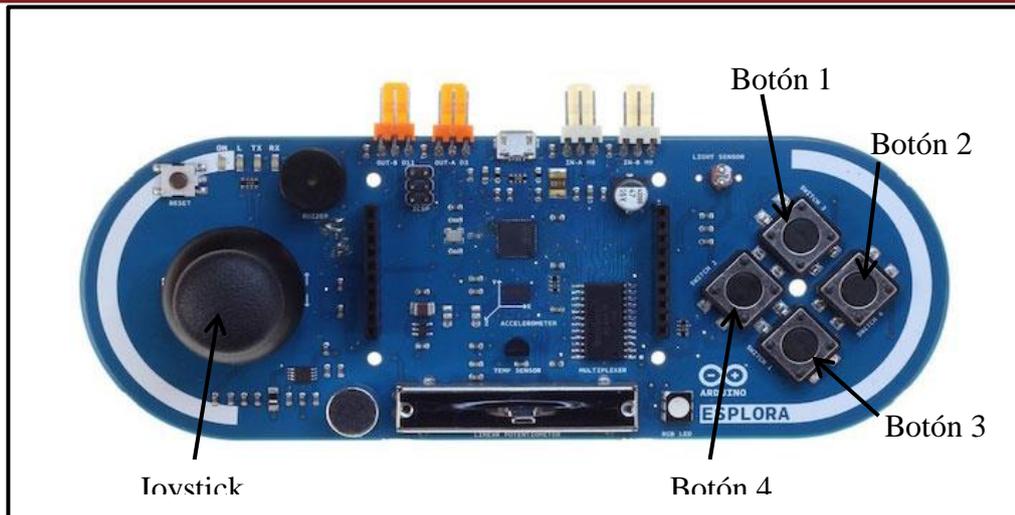


Fig. 3-39: Arduino Esplora con el nombre de los botones (Fuente:www.arduino.cc)

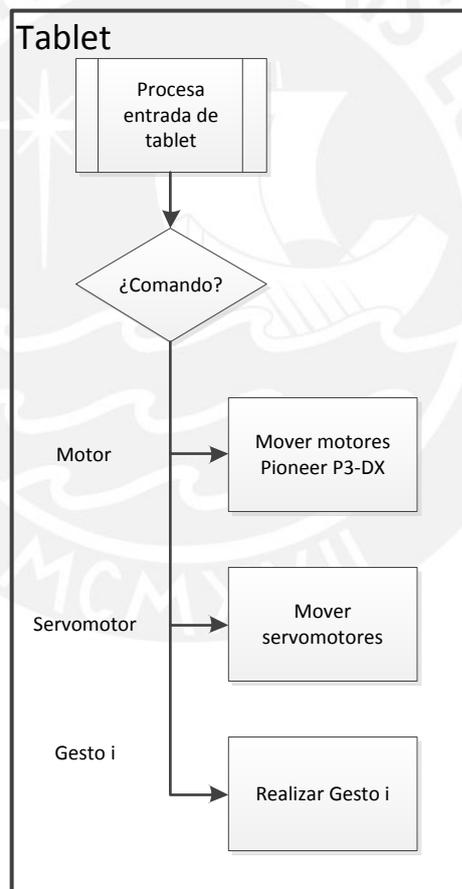


Fig. 3-40: Interrupción de la Tablet (Fuente:Propia)

En la figura 3-40 se muestra la interrupción ocasionada por la Tablet cuando el usuario selecciona una opción. Gesto i se refiere a uno de los 4 gesto explicados con anterioridad. Cuando selecciona motor procederá a mover los motores de la plataforma base, servomotor moverá un servomotor a la vez dependiendo de cuál se elija.

## Capítulo 4

### Presupuesto

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
2	Matriz Led 8x8	\$115.00	\$230.00
8	Max Sonar MB 1000	\$39.00	\$312.00
1	Placa Beaglebone	\$190.00	\$190.00
1	Roboclaw 2x 15A	\$159.00	\$159.00
1	Level Shifter	\$25.00	\$25.00
1	Adaptador ethernet-AC	\$75.00	\$75.00
		<b>TOTAL</b>	\$991.00
		<b>IGV(18%)</b>	\$178.38
		<b>PRECIO</b>	\$1,169.38

Tabla 4-1: Presupuesto parte electrónica importada, la cotización la realizó la empresa FADIPESA

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Speaker 8 ohm	S/. 10.00	S/. 10.00
1	IMU 10 DOF	S/. 155.00	S/. 155.00
1	Arduino MEGA ADK	S/. 249.00	S/. 249.00
2	Módulo Xbee Pro	S/. 148.00	S/. 296.00
1	Arduino Esplora	S/. 225.00	S/. 225.00
1	Shield Xbee	S/. 89.00	S/. 89.00
2	HC-SR04	S/. 12.00	S/. 24.00
1	EasyVR	S/. 160.00	S/. 160.00
1	buffer tristate 74LS241	S/. 10.00	S/. 10.00
		<b>TOTAL S/.</b>	S/. 1,218.00
		<b>TOTAL \$</b>	\$ 420.00

Tabla 4-2: Presupuesto parte electrónica comprada localmente

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
5	Acople Hombro	S/. 420.00
1	Agarra Cámara	
1	Acople Motor Cuello	
4	Agarra Matriz	
<b>TOTAL \$</b>		\$144.83

Tabla 4-3: Presupuesto Impresión 3D. La cotización fue realizada por VEO 3D

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Estructura Central	\$1990	\$1990
1	Carcasa	\$14300	\$14300
		<b>TOTAL</b>	\$16,290.00
		<b>IGV(18%)</b>	\$2,932.20
		<b>PRECIO</b>	\$19,222.20

Tabla 4-4: Presupuesto componentes mecánicos, cotización por FADIPESA

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
1	Cámara C615	\$75.00
1	Pioneer P3DX	\$3,995.00
1	Dynamixel AX12A	\$225.00
1	Módulo WiFi	\$13.66
		<b>TOTAL</b>
		\$4,308.66

Tabla 4-5: Presupuesto componentes electrónicos por internet

DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
Tabla 4-1	\$ 1,169.38
Tabla 4-2	\$ 420.00
Tabla 4-3	\$ 144.83
Tabla 4-4	\$ 19,222.20
Tabla 4-5	\$4,308.66
<b>TOTAL \$</b>	<b>\$25,265.07</b>

Tabla 4-6: Presupuesto Total

# Capítulo 5

## Conclusiones

- El presente sistema mecatrónico se encargará de solucionar el problema de la falta de información sobre el uso de nuevos servicios implementados por la biblioteca de Ciencias e Ingeniería, para así obtener una óptima utilización de esta área dedicada a incentivar la adquisición de conocimientos para los alumnos.
- El diseño del robot presentado cumple con los requerimientos para realizar investigaciones de interacción humano robot en ambientes controlados.
- La forma del brazo logra simular el movimiento y la presencia de un codo, sin la necesidad de colocar un servomotor más en el codo, esto simplifica el movimiento y la programación con el nuevo concepto de una forma personalizada. Asimismo ayuda a reducir costos y ahorrar energía.
- La forma exterior del robot permitirá realizar encuestas y entrevistas a los usuarios de la biblioteca para determinar el nivel de aceptación del mismo en la sociedad, pues cuenta con una forma humanoide, curvas y suaves lo cual según estudios [11] es más grato para las personas.
- Para futuros desarrollos se propone utilizar el sistema de movimiento de la plataforma Pioneer P3DX pues es muy resistente y se adecúa a diferentes revestimientos de suelos (tapizados, cerámicos, parques, etc) por lo que el robot podrá desplazarse de manera eficiente y eficaz por un ambiente controlado en el interior (indoor).
- El uso del IMU 10 DOF para plataformas móviles en ambientes controlados o no, podría permitir reducir el costo con respecto a la energía gastada, puesto que si este se dirige por una pendiente la potencia de los motores se programaría para que bajara y se tomaría ventaja para el movimiento de la energía potencial gravitatoria.
- El contar con una Tablet Android otorga al programador la facilidad de manejar el Arduino mediante un periférico externo para poder crear una interfaz intuitiva. Al robot le proporciona una fácil interacción con el público a través de diferentes comandos.

## Bibliografía

- [1] K. Zickuhr, L. Rainie, «Younger Americans and Public Libraries », *Pew Internet and American Life Project*, 2014.
- [2] T.Tomonaka, R. Hiura, Y. Koketsu, K. Ohnishi, K Sugimoto, «Computer Vision Technologies for Home-use Robot "Wakamaru" », *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review*, Vol. 42 No. 1, 2005.
- [3] Robodynamics, Luna Robot, [www.robodynamics.com](http://www.robodynamics.com) , [último acceso1 de noviembre del 2014]
- [4] Toyota, Robina, [www.toyota-global.com/innovation/partner\\_robot](http://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot), [último acceso1 de noviembre del 2014]
- [5] Future Robots, Furo-S, [www.futurerobot.co.kr](http://www.futurerobot.co.kr), Service Robot Global Leading Company, [último acceso1 de noviembre del 2014]
- [6] N. Mitsunaga, T. Miyashita, H. Ishigurot, K. Kogure and N. Hagita, «Robovie-IV: A Communication Robot Interacting with People Daily in an Office», *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Beijing, 2006.
- [7] Z.Shanyang , «Humanoid social robots as a medium of communication», *SAGE Publications*, Vol. 8, London, 2006.
- [7] K. Kosuge, Y. Hirata, «Human-Robot Interaction », *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Shenyang, 2004.
- [8]R. Hyejin, D. Kaist; S. Kwak, K. Myung Suk , «A Study on External Form Design Factors for Robots as Elementary School Teaching Assistants», *Robot and Human interactive Communication*, RO-MAN, 2007.
- [9] M. Siegel, C. Breazeal, M. Norton «Persuasive Robotics: The Influence of Robot Gender on Human Behavior», *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, St. Louis, 2009
- [10] M. Lohse, M. Hanheide, B. Wrede, M. Walters, K. Lee Koay, D. Syrdal, A. Green, H.Hüttenrauch, K. Dautenhahn, G.Sagerer, and K.Severinson-Eklundh «Evaluating extrovert and introvert behaviour of a domestic robot a video study», *17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Munich, 2008.
- [11] F.Hegel, C. Muhl, B. Wrede, M. Hielscher-Fastabend, G.Sagerer «Understanding Social Robots», *Advances in Computer-Human Interactions*, Cancun, 2009.
- Anexos:
- [12] Boletín Instituto Nacional de Salud, « Un metro cincuenta y siete centímetros es talla promedio de peruanos a nivel nacional», [www.ins.gob.pe](http://www.ins.gob.pe) [último acceso: 5 diciembre del 2014]
- [13] Mobile Robots, Pioneer P3DX, [www.mobilerobots.com](http://www.mobilerobots.com). [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[14]Maxbotix, Sonar MB1000, [www.maxbotix.com](http://www.maxbotix.com) [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[15]Micropik, Sensor HCSR04, [www.micropik.com](http://www.micropik.com). [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[16]Dfrobot, IMU10DOF, [www.dfrobot.com](http://www.dfrobot.com) . [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[17]Tigal Veear, EasyVR 2.0, [www.tigal.com](http://www.tigal.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[18]Logitech, Webcamera C615, [www.logitech.com](http://www.logitech.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[19] Axis , Instalación de cámaras, [www.axis.com](http://www.axis.com) . , [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[20]Robotis, Dynamixel AX12A, [www.support.robotis.com](http://www.support.robotis.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[21]Arduino, Arduino Nano, MEGA ADK, Esplora, [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[22]BeagleBone, [www.beagleboard.org](http://www.beagleboard.org), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[23] Texas Instruments, Level Shifter, [www.texas.com](http://www.texas.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[24]Adafruit, Módulo mini Wi-Fi, [www.adafruit.com](http://www.adafruit.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[25]Orion Robotics, Roboclaw, [www.orionrobotics](http://www.orionrobotics), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[26]Datasheet Catalog, 74LS241, [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[27]Sparkfun, Matriz de Leds 8x8 con controlador, [www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[28]Digi, Módulo Xbee-PRO, [www.digi.com](http://www.digi.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[29]Ejemplo de interfaz en Android, [www.instructables.com](http://www.instructables.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]

[30]Yuasa, Bateria Pb 12V 7Ah, [www.yuasaeurope.com](http://www.yuasaeurope.com), [último acceso: 5 diciembre del 2014]