

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

Módulo de Sensor 3D Externo para Robots Humanoides y su Aplicación para el mejoramiento de la interacción humano robot

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

José Alexander López Manrique

ASESOR: Christian Isaac Peñaloza Sánchez

Lima, febrero del 2016

RESUMEN

El mundo de la automatización y la robótica va avanzando con el paso del tiempo a un ritmo acelerado en países desarrollados donde desde hace muchos años ya se vienen usando robots en la industria, pero en últimos años los robots han dejado las fábricas para pasar al ámbito social.

El objetivo de los robots sociales es que puedan ayudar a las personas de forma eficaz en diversas actividades y a su vez puedan tener la capacidad de comportarse como las personas y reaccionar ante sus acciones. Para lograr este objetivo es necesario que los robots tengan capacidad de percepción del ambiente y las personas que los rodean. Una de las formas de percepción más comunes es la visión por medio de cámaras que proveen información en 2D y 3D. Aunque diversos investigadores han utilizado cámaras con robots humanoides, todavía existen diversas limitaciones que impiden al robot tener movilidad y evaluar los aspectos sociales de una forma autónoma.

La presente tesis plantea la creación de un dispositivo que permita al robot tener la percepción visual necesaria para que pueda entender y evaluar las conductas sociales de las personas que viven en su entorno. Este sensor puede rastrear la posición de las articulaciones de una persona, con esta información se puede implementar un algoritmo dentro del robot para que pueda aprender las costumbres sociales, estas son diferentes dependiendo en que parte del mundo se ubique. Una vez que el robot ha aprendido de estas conductas sociales, este puede replicar algunas de las acciones como respuesta ante conductas sociales; por ejemplo: saludar con una reverencia, moviendo la mano para saludar o dando la mano a alguien que se acerque con la mano extendida.



TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

Título : Módulo de Sensor 3D Externo para Robots Humanoides y su Aplicación para el mejoramiento de la interacción humano robot

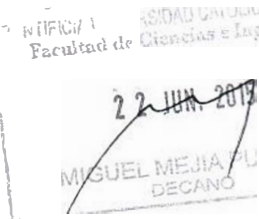
Asesor : Peñaloza Sánchez, Christian Isaac

Alumno : López Manrique, José Alexander

Código : 20092130

Tema N° 91

Fecha 15/06/2015



Descripción y Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo de tesis es desarrollar un módulo de visión externo para un robot humanoide que le permita registrar y aprender conductas sociales en forma de posturas o movimientos de las personas con las que interactúa. De esta forma, el robot podrá reproducir las posturas aprendidas y mejorar la interacción con los humanos. El módulo de visión externo cuenta con un sensor de profundidad, una infraestructura impresa en 3D que se adapta al cuerpo y cabeza del robot donde se monta los circuitos de procesamiento y el sensor 3D, y un sistema mecánico para estabilizar la imagen cuando el robot esta en movimiento. El módulo es diseñado e implementado usando conceptos básicos de procesamiento de imágenes, control, mecánica y electrónica.

Objetivos Específicos:

- Procesamiento de imágenes y almacenamiento de las posturas.
- Contar con un sistema de energía autónomo para el módulo.
- La carcasa del módulo tiene que ser resistente contra las caídas y debe proteger a los componentes electrónicos.
- El módulo debe instalarse de forma fácil e intuitiva en el humanoide sin interferir con las actividades del robot.
- El sensor 3D del módulo debe tener un sistema de estabilización de imágenes.
- El módulo debe tener el tamaño suficiente para almacenar los componentes electrónicos y permitir una buena ventilación.
- El módulo, sus componentes electrónicos y mecánicos deben tener el mínimo peso para no alterar el centro de equilibrio del robot, además el centro de gravedad de los componentes debe estar en el plano que corta al robot por la mitad

MAXIMO : 100





Este trabajo se lo dedico a mi Madre por su apoyo incondicional que ha tenido conmigo a lo largo de mi carrera a pesar de estar lejos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los profesores que pertenecen al laboratorio interdisciplinario de investigación por haberme apoyado con sus conocimientos y consejos a lo largo de mi trabajo de tesis.



ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
TEMÁTICA.....	2
1.1 Presentación de la Problemática	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Objetivos y Alcances	5
1.4 Hipótesis	7
1.5 Metodología y Plan de Trabajo.....	7
SISTEMA MECATRÓNICO	9
2.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico	9
2.2 Evaluación de componentes.....	11
2.3 Presentación de Concepto	14
2.4 Sensores y actuadores.....	15
2.5 Procesadores	19
2.6 Sistema Electrónico.....	21
2.7 Sistema Mecánico	26
2.8 Sistema de control.....	34
PRUEBAS DE CONCEPTO.....	37
3.1 Prueba del software:.....	37
3.2 Prueba de estabilidad:.....	39
3.3 Prueba del estado de la batería:.....	43
PRESUPUESTO.....	47
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2. 1: Especificaciones del sensor 3D Asus Xtion Pro.	16
Tabla 2. 2: Especificaciones del Acelerómetro y giroscopio SparkFun MPU-6050..	17
Tabla 2. 3: Especificaciones del servo Dynamixel XL-320.	18
Tabla 2. 4: Especificaciones de la batería de LiPo Turnigy 4000mAh 2S.....	19
Tabla 2. 5: Especificaciones de la computadora embebida Odroid XU3 Lite.....	20
Tabla 2. 6: Especificaciones de la tarjeta de desarrollo Arduino Nano.....	20
Tabla 2. 7: Propiedades del PLA	33
Tabla 4. 1: Presupuesto total de la parte electrónica.....	47
Tabla 4. 2: Presupuesto total de la parte mecánica.	48
Tabla 4. 3: Presupuesto total del sistema mecatrónico.	48

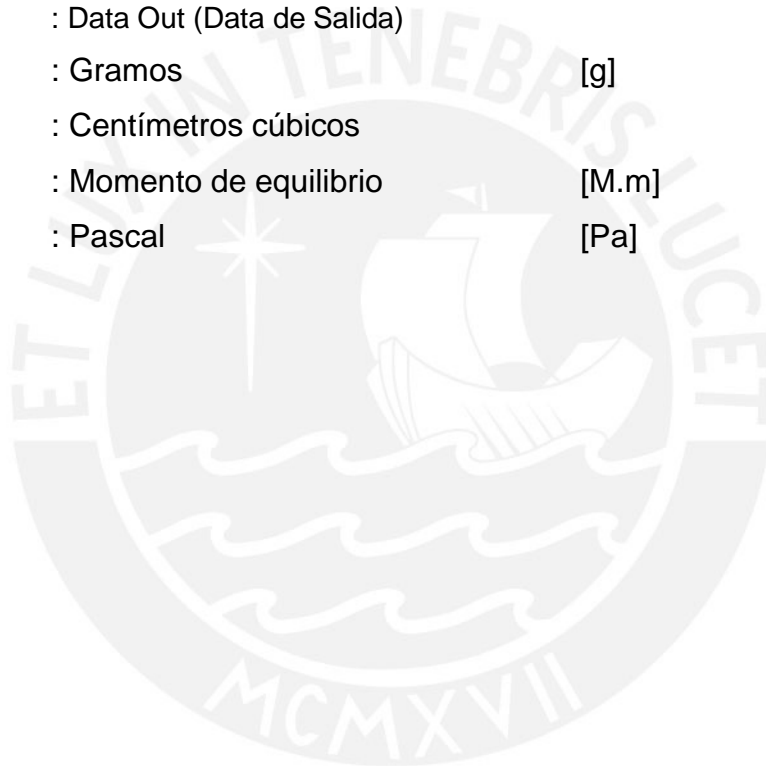
ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. 1: Sensor 3D acoplado al robot.....	4
Figura 2. 1: Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	9
Figura 2. 2: Vista isométrica del accesorio terminado	11
Figura 2. 3: Diseño de propuesta, primera parte.	14
Figura 2. 4: Diseño de propuesta, segunda y tercera parte.....	15
Figura 2. 5: Xtion Pro.	16
Figura 2. 6: Triple Axis Accelerometer and Gyro Breakout.....	16
Figura 2. 7: Servo XL-320 Dynamixel marca Robotis.....	17
Figura 2. 8: Batería de LiPo.	18
Figura 2. 9: Computadora embebida.....	19
Figura 2. 10: Tarjeta de desarrollo	20
Figura 2. 11: Diagrama de comunicación.....	21
Figura 2. 12: Diagrama esquemático	22
Figura 2. 13: Diagrama esquemático de la tarjeta Odroid (1) y la tarjeta Arduino (2).	23
Figura 2. 14: Diagrama esquemático del Giroscopio (3) y la Batería (4).....	23
Figura 2. 15: Diagrama esquemático del Regulador de voltaje (5) y el Led de estado de batería (6)	23
Figura 2. 16: Diagrama esquemático de la Xtion Pro (7)	24
Figura 2. 17: Diagrama esquemático de los Servos Dynamixel (8).	24
Figura 2. 18: Componentes en la estructura de la cabeza.	25
Figura 2. 19: Componentes en la estructura de la espalda	25
Figura 2. 20: Componentes en la estructura del pecho	25
Figura 2. 21: Sistema de sujeción de Xtion para NAO	26
Figura 2. 22: Mecanismo del giro del sensor 3D	27
Figura 2. 23: Vista del mecanismo y soporte del sensor 3D.....	27
Figura 2. 24: Vista de los surcos y soportes que aguantan el peso de la base móvil.	27
Figura 2. 25: Vista desde atrás del módulo.	28
Figura 2. 26: Vista de la union de la carcasa	28
Figura 2. 27: Estructura de protección de los componentes.....	29

Figura 2. 28: Segunda parte del módulo	30
Figura 2. 29: Estructura de la segunda parte del módulo.	30
Figura 2. 30: Tercera parte del módulo	31
Figura 2. 31: Estructura de la tercera parte del módulo.....	31
Figura 2. 32: Soporte	32
Figura 2. 33: Tercera parte del módulo, sujeción	32
Figura 2. 34: Carrete de plástico PLA para impresoras 3D	33
Figura 2. 35: Diagrama de flujo del sistema de estabilización de imágenes.....	35
Figura 2. 36: Diagrama de flujo del sistema embebido.....	36
Figura 3. 1: Reconocimiento de la persona.....	38
Figura 3. 2: La persona y el robot con el brazo levantado.....	38
Figura 3. 3: La persona y el robot con el brazo abajo.....	39
Figura 3. 4: La persona y el robot con el brazo extendida	39
Figura 3. 5: Pesos de los objetos que se utilizaron en la prueba de concepto.....	40
Figura 3. 6: Posición de los pesos en el robot.....	40
Figura 3. 7: Robot descansando de cuclillas.....	41
Figura 3. 8: El robot se levanta a velocidad normal sin ningún inconveniente.	41
Figura 3. 9: El robot está apunto de levantarse.....	42
Figura 3. 10: El robot termina de levantarse con la carga del módulo.	42
Figura 3. 11: El servo gira en sentido anti-horario cuando gira a la izquierda.....	43
Figura 3. 12: El servo gira en sentido horario cuando gira a la derecha	44
Figura 3. 13: El servo gira en sentido horario cuando gira a la derecha	44
Figura 3. 14: El otro servo gira en sentido horario cuando gira a la adelante.	45
Figura 3. 15: La persona se hacer al robot, se ubica a más de un metro del robot. 45	
Figura 3. 16: El robot reconoce el rostro de la persona y enmarca su rostro usando un algoritmo de visión	46
Figura 3. 17: El robot saluda al reconocer el rostro de la persona.....	46

LISTA DE SÍMBOLOS

ADC	: Analog to Digital Converter (Conversor Análogo-Digital)	
F	: Fuerza	[N]
V	: Voltaje	[V]
A	: Amperaje	[A]
VCC	: Voltaje Lógico (5V)	
GND	: Ground (Tierra)	
W	: Watts	[W]
DIN	: Data In (Data de Entrada)	
DOUT	: Data Out (Data de Salida)	
g	: Gramos	[g]
cm ³	: Centímetros cúbicos	
M	: Momento de equilibrio	[M.m]
Pa	: Pascal	[Pa]



INTRODUCCIÓN

En esta tesis se propone un sistema mecatrónico el cual le permite al robot humanoide la capacidad de entender los movimientos de las personas, este humanoide no posee la tecnología de los sensores 3D; lo que se propone es un sistema que permite integrar dichos sensores a los humanoides y así darle a estos la capacidad de saber a qué distancia están los objetos, cuál es su forma y poder diferenciarlos con otros. Este le da al humanoide una nueva forma de observar su entorno, todo a través de la distancia relativa de los objetos al sensor. Usando esta nueva herramienta el humanoide podrá reconocer a la persona y sus movimientos, el módulo le dará la capacidad de copiar y entender nuestros movimientos cuando el usuario se lo indique usando la voz, luego el usuario le dará un nombre representativo a cada postura para poder reconocerlo o replicarlo en el futuro, mejorando así la comunicación corporal entre una persona y un humanoide.

CAPÍTULO 1

TEMÁTICA

1.1 Presentación de la Problemática

Los humanoides son cada vez más comunes, en esta época es sencillo encontrarse con uno de ellos en eventos tecnológicos. En febrero del 2015 salieron a la venta humanoides llamados “Pepper” de la empresa Aldebaran Robotics por \$1900 dólares en Japón, un precio accesible para la mayoría de personas, dicho precio se debe a que dicho robot ha sido producido por millones y pueda llegar a todo el público que quiera tener un ayudante personal en casa [1].

Estos robots son producidos y diseñados en países industrializados como Estados Unidos, Japón, Francia, etc; el comportamiento de estos robots es diferente para cada una de las culturas de estos países, muchos hábitos o costumbre son diferentes y los robots deben comportarse de forma diferente para cada ubicación.

Las entidades que usan estos robots requieren que tenga una rápida acogida por el público del país donde se encuentran, en consecuencia los humanoides están en constante evolución con el objetivo de lograr una mayor aceptación social, ya que los robots a veces pueden causar el disgusto a las personas ya sea por no realizar bien sus funciones o por sus reacciones extrañas ante sucesos inesperados.

Cuando las personas se relacionan unas con otras, esperan tener una respuesta elocuente de parte de otra persona, con el fin de lograr una buena interacción, en

caso la persona no actúe de forma elocuente con la otra persona, la interacción se ve afectada y el entendimiento entre ambas personas no se establece.

Los robots tienen la habilidad ver y reconocer a una persona usando una cámara de video que pueden tener integrada [2], aunque solo usando una cámara no basta para que el robot pueda procesar o entender los movimientos o acciones que realizan las personas que están frente a él.

1.2 Antecedentes

Desde que los humanoides han salido al mercado, se ha buscado formas de que interactúen y se relacionen mejor con las personas [3]. Existen eventos dedicados a este tema como conferencias internacionales de interacción humano-robot que tienen lugar en diferentes lugares del mundo cada año. Las empresas, como Aldebarán [4], han desarrollado humanoides que son atractivos al público y por tanto llaman su atención; pero no es suficiente, las costumbres y el comportamiento de las personas son diferentes dependiendo del lugar de donde viven, estos robots deben comportarse como lo hacen las personas de la parte del mundo donde el robot fue adquirido para que no solo sea un producto que viene de un país desarrollado. Muchos investigadores han creado algoritmos que enseñan a los robots las costumbres y comportamientos de las personas [5], el trabajo más prometedor que se ha logrado hasta ahora es la combinación de aprendizaje reforzado para humanoides [6] y la imitación dinámica de movimientos de una persona por un robot [7], el resultado obtenido ha sido el aprendizaje del modelado del comportamiento social mediante la imitación [8]. Estos trabajos no se habrían logrado sin la ayuda de los sensores 3D. Este sensor puede reconocer la distancia a la que está cada punto dentro de una imagen, el resultado es una imagen en escala de grises donde los puntos más claros son los que están más cerca de la cámara y los puntos de color negro representan los puntos que están fuera del rango de visión. El sensor 3D, con la data adquirida, puede identificar a una persona, una vez reconocida se puede recopilar sus movimientos con la ubicación de la posición que tienen sus articulaciones, el robot es teleoperado sin la necesidad de que la persona que lo controla se vista con indicadores de posición. Actualmente solo algunos robots, los de tamaño mediano, cuentan con sensores de profundidad, usan estos sensores para escanear la distancia de los objetos a su alrededor, pero no para entender el movimiento de las personas. La cámara de

profundidad es externa al robot, por tanto algunas personas la acoplan al robot de forma externa usando mecanismos de sujeción y conectada directamente al procesador del robot el cual se encarga del procesamiento de imágenes, el movimiento del robot, recopilando data de los sensores y el accionamiento de los demás actuadores [9] como se puede observar con más detalle en la figura 1.1.

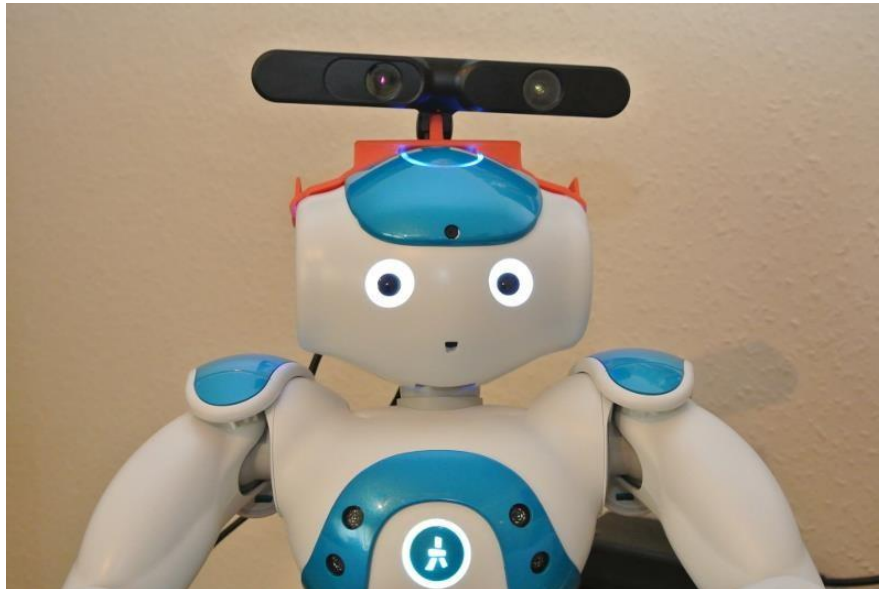


Figura 1. 1: Sensor 3D acoplado al robot (Fuente: www.aldebaran.com)

Los sistemas que se usan tienen algunas desventajas:

- El procesador del robot realiza tantas operaciones a la vez (procesa las imágenes, controlar su movimiento, monitorea los sensores, mide la temperatura, etc.) que termina sobrecargándose de tareas rápidamente.
- Algunos de estos sistemas necesitan de cables para conectarse a una computadora, lo cual limita el movimiento del robot.
- Otros robots envían la data que recopilan sus sensores a un servidor que realiza el procesamiento a través del internet, este proceso es lento ya que depende de la velocidad de su conexión a internet.
- La batería del robot se agota más rápido ya que también tiene que alimentar al sensor 3D.

Existen muchas limitaciones en los sistemas actuales, las cuales pueden ser solucionadas creando un módulo con sensor de profundidad para humanoides, el cual se propone desarrollar en la siguiente tesis. Este dispositivo mejora la

interacción entre humanos y robots, así estos últimos se vuelven más atractivos y útiles para el público, encajando mejor en la sociedad y empezando a ayudar a los humanos en tareas comunes y repetitivas, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas.

1.3 Objetivos y Alcances

El objetivo principal del presente trabajo de tesis es desarrollar un módulo de visión externo al robot Nao, al cual se llamara en adelante humanoide, que permita mejorar la comunicación corporal entre ellos; dotando al robot con la capacidad de registrar las posturas de las personas con tan solo reconocerlas. Las posturas son registradas mediante la capacidad de observación, el robot observa distintas situaciones usando un sensor 3D el cual le da la capacidad de entender lo que está viendo y guardar la información de las posturas y movimientos de las personas usando un algoritmo de visión. El sensor 3D cuenta con un sistema mecánico que mantiene la cámara enfocando el mismo lugar, quiere decir que este sistema estabiliza la imagen aun así esta pudiera desenfocarse ya que el robot podría estar en movimiento. El módulo de visión es externo al robot y cuenta con una batería, así no tenga que abastecerse de energía a través de cables. El módulo es diseñado e implementado usando conceptos básicos de procesamiento de imágenes, control, mecánica y electrónica.

Objetivos Específicos:

- Procesamiento de imágenes y almacenamiento de las posturas para que pueda aprender a reconocer las conductas sociales para un determinado evento.
- Contar con un sistema de energía autónomo que le permita trabajar durante el proceso de aprendizaje y experimentación.
- Capacidad de almacenar la información y evaluarla para obtener los mejores resultados.
- La carcasa del módulo tiene que ser resistente y debe proteger a los componentes electrónicos.
- El módulo debe instalarse de forma fácil e intuitiva en el humanoide sin interferir con ciertos sensores, como las cámaras y los emisores infrarrojos.
- El sensor 3D debe contar con un sistema de estabilización de imágenes.
- El módulo debe tener el tamaño suficiente para almacenar los componentes electrónicos y permitir una buena ventilación.

- El módulo, sus componentes electrónicos y mecánicos deben tener el mínimo peso para no alterar el centro de equilibrio del robot.

Requerimientos (Alcances):

Requerimientos Mecánicos

- La estructura del módulo de visión externo debe proteger a los módulos electrónicos.
- Diseño eficiente del módulo que le permita acoplarse fácilmente al robot.
- El módulo de visión externo no debe alterar de forma considerable al centro de gravedad del robot.
- Contar con actuadores que permitan estabilizar la cámara y el sensor de profundidad del módulo.

Requerimientos Electrónicos

- El sistema del módulo debe ser alimentado con una sola batería y debe tener una autonomía de operación no menor a una hora (tiempo de duración de la batería del robot).
- El módulo debe controlar los actuadores y el sistema de corrección de la imagen para estabilizar las imágenes que se captan con la cámara y el sensor de profundidad.
- Tener una computadora embebida con la capacidad de procesar las imágenes, guardar la data y controlar el sistema de estabilización de imágenes.
- Sistema de regulación de voltaje de la batería que alimenta a la computadora embebida, la cámara, el sensor de profundidad, el sistema de ventilación y el sistema de estabilización de imágenes.

Requerimiento de Control

- El sistema de control del nivel de batería debe ser autónomo.
- El sistema de aprendizaje debe ser controlado por el usuario.
- Establecer un sistema de control para los actuadores que son parte del sistema de estabilización de imágenes.

1.4 Hipótesis

Si se desarrolla el sistema mecatrónico que consta de un módulo con sensor 3D externo el cual se acopla al humanoide, el cual registra la postura de las personas en el momento que el usuario envía una señal al robot, se podría: I) Interpretar el movimiento de la personas mediante puntos en el espacio, con ello podría diferenciar distintos ademanes, II) Identificar y etiquetar las expresiones basadas en los movimientos de las personas, con la final de usarlos como respuesta antes una comunicación no verbal, mejorando el nivel de comunicación con una persona durante una conversación.

1.5 Metodología y Plan de Trabajo

En primer lugar se revisó literatura científica y tecnológica que sustente el desarrollo de un módulo como herramienta de aprendizaje y experimentación para humanoides. Luego se revisó el material bibliográfico sobre todos los accesorios que permiten el aprendizaje del humanoide con el objetivo para evaluar: I) Las principales características para el sistemas de interacción humano robot, sensores, sistema de ventilación, fuentes de alimentación, sistemas de control y comunicaciones, II) mecanismos de estabilización de imágenes, III) características de los materiales de la estructura con el fin de evaluarlos y elegir las mejores opciones para solucionar el problema en cuestión.

En segundo lugar, se seleccionó I) los componentes electrónicos conformados por sistemas de interacción humano robot, sensores, fuentes de alimentación, sistemas de control y comunicaciones, II) mecanismos de estabilización de imágenes con una breve descripción de su funcionamiento, III) sistemas de control para la estabilización de imágenes, IV) evaluación del posible material estructural a utilizar para la carcasa del módulo de visión externo. Los entregables de esta etapa contienen los planos mecánicos, circuitos esquemáticos, diagramas de flujo de programas y lista de materiales.

Finalmente, se presentó las conclusiones obtenidas luego de los resultados experimentales, así como futuras mejoras para el módulo y el accesorio en base a encuestas realizadas a especialistas en electrónica, mecánica y programación para que dichos aparatos sean usados en diferentes partes del continente.

Plan de Trabajo:

1. Revisión de material bibliográfico y de estado del Arte: Abril
2. Diseño del robot a nivel de mecánica, electrónica y programación: Mayo
3. Conclusiones y Recomendaciones: Junio
4. Presentación de Documento de Tesis: Julio

Diagrama de Gantt

Cronograma																	
Objetivos / Semanas:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Busqueda de antecedentes	X																
Análisis y evaluación de fuentes	X	X															
Requerimientos		X	X														
Definición de concepto			X	X	X												
Diseño de los módulos				X	X	X											
Selección de componentes electrónicos					X	X	X										
Selección de actuadores					X	X	X										
Selección de mecanismos						X	X	X									
Selección de materiales estructurales							X	X									
Cálculos de electrónicos (definir la autonomía del sistema)								X									
Cálculos de elementos mecánicos									X	X							
Cálculos de resistencia									X	X							
Definir sistema de control											X	X					
Diagrama de control												X	X				
Planos de ambos módulos												X	X	X			
Documentación de tesis	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X			
Preparación del documento final															X	X	
Entrega de Tesis																X	X

CAPÍTULO 2

SISTEMA MECATRÓNICO

2.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

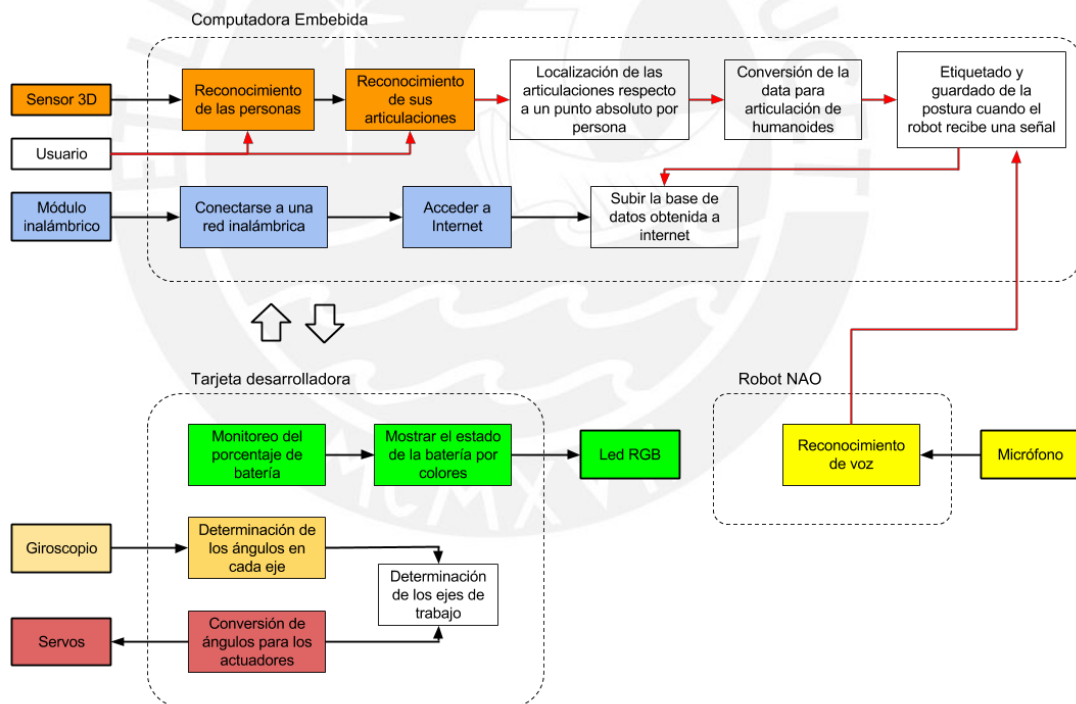


Figura 2. 1: Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico. (Fuente: Propia)

El sistema mecatrónico que se propone es un módulo de sensor 3D externo para humanoides, el cual registra la postura de las personas en el momento que el usuario envía una señal al robot. En la figura 2.1 se muestra el diagrama de funcionamiento, el recorrido de la línea roja determina de la participación del usuario en la utilización del módulo. Este módulo tiene 3 partes: La primera se

coloca sobre la cabeza del robot la cual contiene un sensor de profundidad; la segunda parte se ubica en la espalda del robot, la cual contiene a la computadora embebida y la tarjeta de desarrollo (encargada del estado de la batería y la estabilización de imágenes) y la tercera parte se ubica en el pecho del robot y contiene a la batería.

Las partes se describen con mayor detalle a continuación:

- El primer módulo debe contar con un sistema de estabilización de imágenes, el cual cumple con la función de mantener el campo de visión cuando el sensor vibra ante los movimientos que realiza el robot, funciona accionando actuadores que son controlados por un giroscopio que determina la corrección dependiendo de la vibración que ocasione el robot al moverse, estos se conectan a una tarjeta de desarrollo, la cual se encarga de controlar a los actuadores según sea el factor de corrección que reciba del giroscopio. Esta primera parte del módulo se conecta a la segunda parte mediante cables, los cuales cumplen las siguientes funciones: Conectar el sensor 3D con la computadora embebida, comunicar la tarjeta Arduino (encargada del sistema de estabilización de imágenes) con los actuadores y el giroscopio y por último una línea de alimentar a los componentes electrónicos.
- La segunda parte del módulo contiene a la tarjeta de procesamiento, este sistema se debe conectar a una computadora encargada del procesamiento de las señales recibidas, con el objetivo de alcanzar una autonomía y no sobrecargar al procesador del robot con el procesamiento de visión, se opta por usar una computadora embebida la cual se encarga de delegar las funciones al robot según el procesamiento de imágenes lo disponga. La computadora embebida que va en la espalda debe poseer un sistema de ventilación que mantenga a temperatura de trabajo a los componentes electrónicos para que no se sobrecaliente, es decir que la temperatura del sistema no sobrepase por mucho a la temperatura de trabajo.
- La tercera parte del módulo contiene a la batería, la estructura permite retirar fácilmente a la batería, ya que cuando esta se agota, se debe cargar por medio de un sistema externo y no debe estar conectada al módulo mientras se está cargando. Esta parte del módulo se conecta a la segunda a través de cables, que alimentan al resto de sistemas electrónicos y otros que vigilan el nivel de energía de la batería y soportes que mantienen a la primera y segunda parte sobre el humanoide.

El módulo y los componentes electrónicos que van dentro de este deben ser lo más livianos posibles, el peso es un factor a tomar en cuenta ya que este puede desestabilizar al robot durante su movimiento.

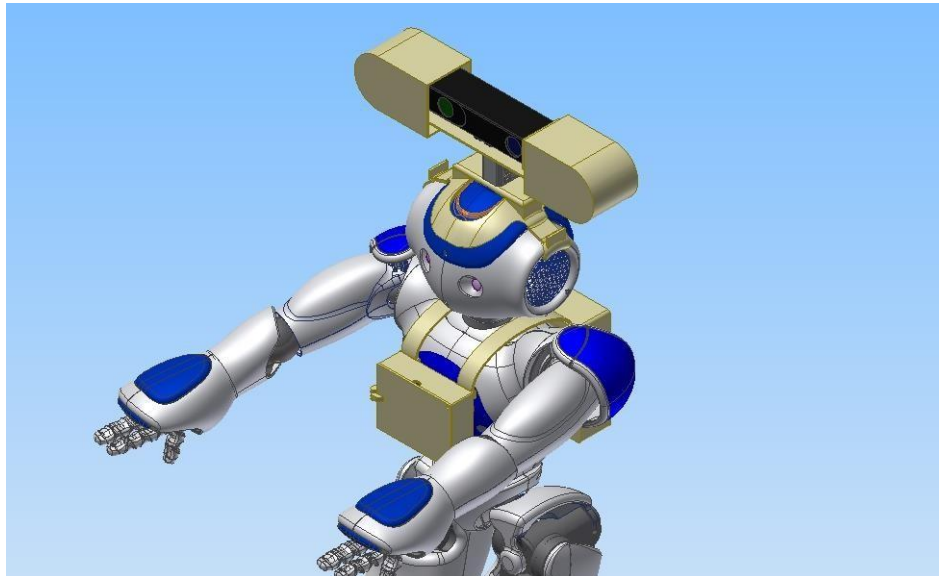


Figura 2. 2: Vista isométrica del accesorio terminado. (Fuente: Propia)

2.2 Evaluación de componentes

Sensor 3D	Soporte	Profundidad del sensor	Peso	Tamaño	Consumo
Kinect Sensor	Microsoft SDK, OpenNI SDK	De 0.5 a 4.5 metros	275 g	16 x 9 x 7 cm	4.0 W
Asus Xtion Pro	OpenNI SDK	De 0.8 a 3.5 metros	215 g	16 x 3.5 x 5 cm	2.5 W
Structure Sensor	IOS support	De 0.4 a 3.5 metros	95 g	12 x 2.8 x 2.9 cm	2.5 W

Xtion Pro: Es la mejor opción ya que está soportada, probada e incorporada a distintos sistemas embebidos.

MPU-6050: El sensor tiene la resolución necesaria para trabajar con el sistema de estabilización de imágenes, es pequeño, liviano y de bajo costo.

Giroscopios	Sensores	Tamaño	Voltaje	Protocolo
GY-85	3-axis gyroscope and a 3-axis accelerometer	2.15 x 1.7 x 0.12 cm	3-5 v	I2C
MPU-6050	Acelerómetro de 3 ejes, Giroscopio de 3 ejes y sensor de campo magnético de 3 ejes.	2.1 x 1.5 x 0.12 cm	3-5 v	I2C

Computadora embebida	Procesador	RAM	Tamaño	Comunicación USB
Raspberry Pi 2 B	A 900MHz quad-core ARM Cortex-A7 CPU	1GB	85 x 56 x 19 mm	4 USB ports
BeagleBone Black	AM335x 1GHz ARM@ Cortex-A8	512MB	87 x 49 x 16 mm	USB client for power & communications USB host
Odroid XU3	Samsung Exynos5422 Cortex™-A15 2.0Ghz quad core and Cortex™-A7 quad core CPUs	2G	94 x 70 x 18 mm	USB 3.0 Host x 1, USB 3.0 OTG x 1, USB 2.0 Host x 4

Odroid: Un poco más grande y pesada que las anteriores opciones, pero con una alta capacidad de procesamiento, la necesaria para realizar las tareas que se requieren.

Tarjeta de desarrollo	Soporte	Microcontrolador	Tamaño	Peso
Arduino Micro	Arduino	ATmega32U4	48 x 18 mm	13 g
Intel Edison	Intel	Intel® Atom™ CPU	35.5 x 25.0 x 3.9 mm	15 g
Arduino Nano	Arduino	ATmega168 or ATmega328	48 x 18 mm	5 g

Arduino Nano: Pequeño y liviano, cuenta con las salidas necesarias para comunicarse con todos los actuadores y sensores que se requiere.

Servos	Tamaño	Peso	Torque	Voltaje
Microservo SG90	23 x 11 x 29 mm	9 g	0.1765 N.m	3 – 6 v
Dynamixel XL 320	24 x 36 x 27mm	16.7 g	0.39 N.m	6 – 8.4 v

Dynamixel: Un poco más pesado y grande que las anteriores opciones, pero con la resolución y fuerza necesaria para mover el sensor.

Batería	Voltaje	Carga	Peso	Tamaño
Turnigy7 Hardcase Pack	7.2 v	5000mAh	326g	137.5 x 46 x 25 mm
Turnigy Receiver Pack	4.8 v	2300mAh	118g	52 x 29 x 29 mm
Turnigy Spektrum	7.2 v	4000mAh	133g	71 x 50 x 19 mm

Turnigy 4000mAh 2S 2C Spektrum Lipo: La batería es liviana, tiene un nivel de voltaje mayor al nivel que se requiere, la capacidad de la batería es suficiente con relación a su peso.

2.3 Presentación de Concepto

La primera parte del módulo se ubica encima de la cabeza del humanoide, en ella se coloca el sensor de profundidad, en la figura 2.3 se presenta la propuesta con un vista completa del módulo superior.

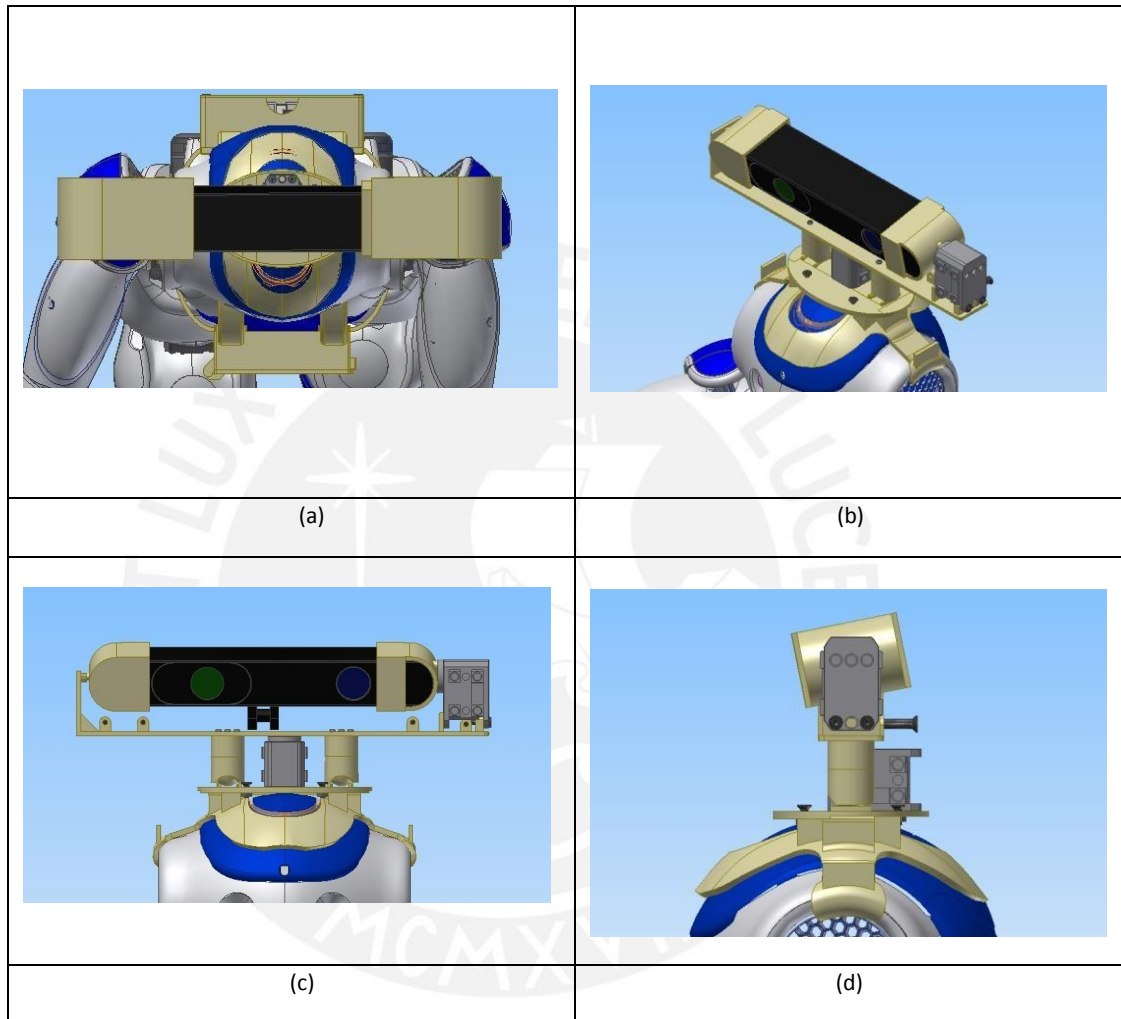


Figura 2. 3: Diseño de propuesta, primera parte.

a) Vista superior, b) Vista isométrica, c) Vista frontal y d) Vista lateral.

(Fuente: Propia)

En la figura 2.4 se presenta la segunda y tercera parte del sistema mecatrónico el cual se ubica en la espalda y en el pecho de robot, el cual se fabrica con una impresora 3D para almacenar y proteger los componentes electrónicos.

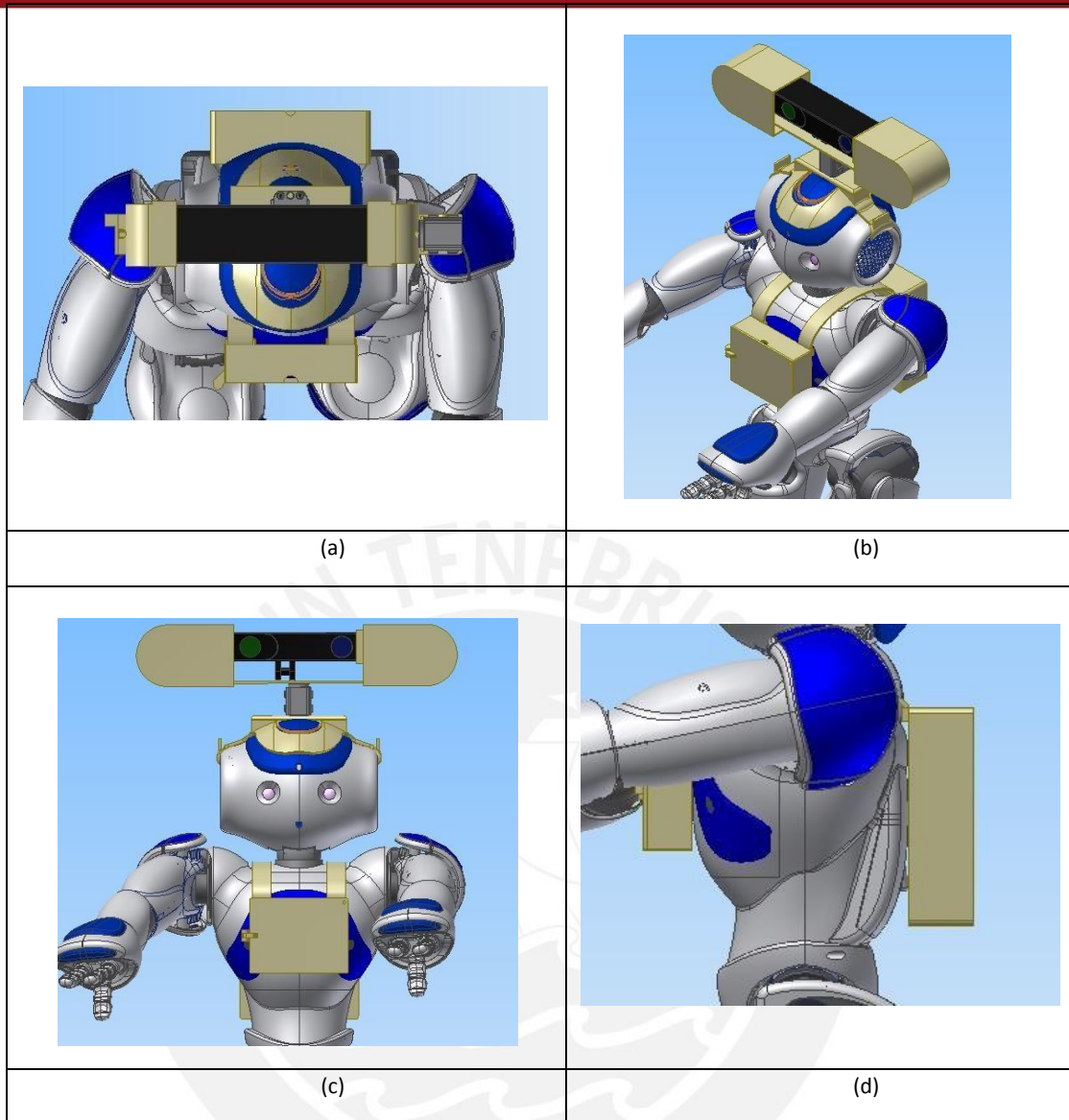


Figura 2. 4: Diseño de propuesta, segunda y tercera parte.
 a) Vista superior, b) Vista isométrica, c) Vista frontal y d) Vista lateral.
 (Fuente: Propia)

2.4 Sensores y actuadores

2.4.1 Sensor 3D:

Este sensor recibe la distancia a la que están los objetos de él, con la ayuda de una matriz infrarroja, proyecta puntos en su campo de visión y a través del receptor mide la distancia de dichos puntos con el objetivo de reconstruir una imagen en escala de grises, la cual indica la distancia a la que están los objetos. Este sensor también puede reconocer a una persona y sus movimientos ya que todas las persona tienen una forma en particular.



Figura 2. 5: Xtion Pro. (Fuente: <http://www.asus.com/us/>)

Consumo de poder	Consumo por debajo de 2.5W
Rango de uso	Entre 0.5 y 3.5 m
Campo de visión	58° H, 45° V, 70° D (Horizontal, Vertical, Diagonal)
Tamaño de la imagen	VGA (640x480) : 30fps QVGA (320x240) : 60fps
Interface	USB 2.0
Dimensiones	7.18 x 3.5 x 5 cm

Tabla 2. 1: Especificaciones del sensor 3D Asus Xtion Pro.

2.4.2 Giroscopio y acelerómetro:

Esta tarjeta contiene un giroscopio MEMs de 3 ejes el cual envía la información a través de la comunicación I2C del ángulo de cada uno de los ejes con respecto al plano que es parte de la tierra, esta información determinará el ángulo de corrección a los micro servo motores (se especificará más adelante en este capítulo) que son parte funcional del sistema de estabilización de imágenes.



Figura 2. 6: Triple Axis Accelerometer and Gyro Breakout.

(Fuente: <http://www.sparkfun.com>)

Potencia	0.17 W
Comunicación	I2C
Voltaje de entrada	2.3 - 3.4 v
Sensibilidad de hasta	131 LSB/dps
Algoritmos embebidos	No requiere intervención del usuario, autónomos.

Tabla 2. 2: Especificaciones del Acelerómetro y giroscopio SparkFun MPU-6050.

2.4.3 Servo:

El sistema de estabilización necesita de actuadores para mantener a la cámara enfocando en una misma posición. Estos actuadores deben ser eléctricos, pequeños y de rápida respuesta. La mejor opción son los servo de la marca Robotis llamados Dynamixel, estos giran libremente o por pequeños ángulos mediante una señal serial la cual indica su ángulo de giro.



Figura 2. 7: Servo XL-320 Dynamixel marca Robotis. (Fuente: <http://www.robotis.com>)

Tipo de motor	Con núcleo
Relación de engranajes	238:1
Velocidad (7.4v sin carga)	114 rpm
Torque estático (7.4v)	0.39 Nm
Resolución	0.29°
Voltaje	6 - 8.4v (Recomendado 7.4v)

Comunicación	Half duplex asíncrona serial
Tamaño	24 x 26 x 27 mm
Peso	16.7g

Tabla 2. 3: Especificaciones del servo Dynamixel XL-320.

2.4.4 Batería:

Para que el sistema funcione con al menos una autonomía de 1 hora, así como la tiene el robot NAO debe contar con una batería que funcione con suficiente poder, este nivel solo se puede llegar usando las baterías de Litio Polimérico que son pequeñas y de fácil acceso en el mercado. Esta batería necesita cargarse aparte ya que cuenta con un sistema de carga especial. El modelo exacto de batería se muestra en la figura 2.8, esta es de la marca Turnigy y solo cuenta con dos cables para proveer energía. La batería elegida tiene poca capacidad de descarga de hasta 8 amperios por hora, no se necesita una capacidad mayor ya que se calcula que el sistema solo llegara a consumir hasta 4 amperios.



Figura 2. 8: Batería de LiPo. (Fuente: <http://www.hobbyking.com>)

Capacidad	4000 mAh
Voltaje	2S / 2 Cell / 7.4v
Descarga	2C constante
Peso	133 gramos

Dimensiones	71 x 50 x 19 mm
-------------	-----------------

Tabla 2. 4: Especificaciones de la batería de LiPo Turnigy 4000mAh 2S.

2.5 Procesadores

2.5.1 Odroid XU3 Lite:

El sistema se maneja completamente por medio de una computadora embebida de la marca Odroid la cual tiene un procesamiento superior a las demás computadoras embebidas disponibles en el mercado, ya que cuenta con 2 microprocesadores de 15 núcleos y 7 núcleos respectivamente. Este sistema tiene la capacidad de realizar todas las funciones que realiza el módulo externo a la velocidad de procesamiento adecuada, así el proceso se realiza en el tiempo necesario.



Figura 2. 9: Computadora embebida. (Fuente: <http://www.hardkernel.com>)

Cpu	Samsung Exynos-5422 : Cortex™-A15 and Cortex™-A7 big.LITTLE processor with 2 GByte LPDDR3 RAM
Entradas	LAN, USB2.0 (x4), IO Expansion Port (30 pines), USB3.0 Host y OTG, Audífonos Jack, Conector del sistema de ventilación
Salida de video	HDMI micro
Ranura de almacenamiento	Lector MicroSD y eMMC conector de Módulo.
Peso	66 gramos

Dimensiones	94 x 70 x 18 mm
Entrada de poder	5V / 4 ^a

Tabla 2. 5: Especificaciones de la computadora embebida Odroid XU3 Lite.

2.5.2 Arduino Nano:

Esta pequeña tarjeta de desarrollo cuenta con un microcontrolador que tiene varias salidas y entradas, más de las necesarias para controlar el sistema de estabilización de imágenes, su bajo peso y sus dimensiones la hacen perfecta para trabajar a la par con el microcontrolador. El bajo consumo de batería la convierten en la mejor opción, ya que el sistema de esta tarjeta de desarrollo tiene un bajo consumo de energía.



Figura 2. 10: Tarjeta de desarrollo. (Fuente: <http://www.arduino.cc>)

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 - 12 V
Pines de entradas digitales	14 (6 de ellos son salidas de PWM)
Corriente DC salida	40 mA
Velocidad de reloj	16 MHz
Peso	5 gramos
Dimensiones	45 x 18 x 9 mm

Tabla 2. 6: Especificaciones de la tarjeta de desarrollo Arduino Nano.

2.6 Sistema Electrónico

A continuación, en la Figura 2.11, se presenta el diagrama de bloques de la comunicación entre la Computadora Embebida, el Controlador del Sistema de estabilización de imágenes y el robot.

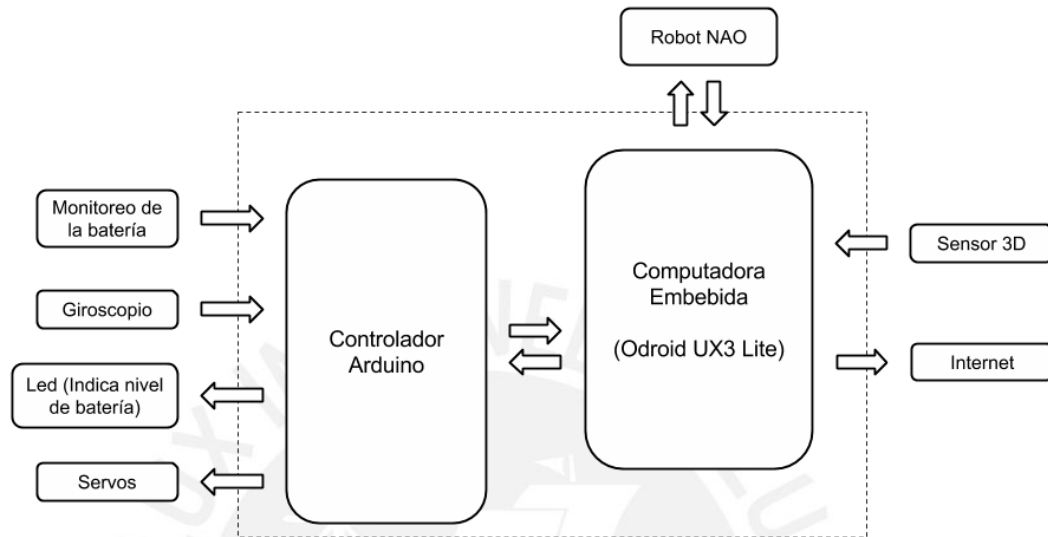


Figura 2. 11: Diagrama de comunicación. (Fuente: Propia)

La comunicación se maneja por niveles como se muestra en la figura. La tarjeta de desarrollo Arduino se encarga del sistema de estabilización de imágenes, recibe el factor de corrección mediante el giroscopio electrónico, esta se encarga de ajustar el ángulo de visión enviando una señal a un chip el cual convierte dicha señal por una que pueda ser entendida por los servos Dynamixel (el sistema de ajuste se explica con mayor detalle en el sistema mecánico). El sensor 3D se conecta a la computadora embebida la cual se encarga de procesar la data proveniente del sensor. La computadora embebida se encarga de procesar, analizar y transformar la data proveniente del sensor 3D. Luego de transformar la data para que pueda ser entendida por el humanoide, esta se envía a un servidor a través de internet para que el usuario pueda acceder a ella por una interfaz de computadora. El monitor de batería también se conecta a la tarjeta Arduino, en caso sea crítica enviará una señal de alerta usando un led, en caso el color de este sea rojo, significa que el nivel de la batería es crítico y debe cargarse. La interfaz por computadora se encarga de acceder a la data procesada y guardada vía internet por la computadora embebida, también puede organizar y seleccionar la data de interés para modelar los movimientos y acciones que el usuario necesite.

En la Figura 2.12 se presenta el diagrama de conexiones entre los componentes electrónicos que usa el módulo. La computadora embebida está conectada a 5V, de esa entrada se alimenta su propio ventilador y por medio las entras USB se conecta la tarjeta Arduino y el sensor 3D. La tarjeta Arduino Nano se conecta a un led, el cual representa el estado de la batería a partir de los colores que este emita, y se comunica a través de comunicación serial (Rx y Tx) con los motores Dynamixel usando el chip 74LS241 que transforma la data enviada de forma síncrona a asíncrona hacia los procesadores de los servos Dynamixel. El giroscopio electrónico se alimenta por 3.3V el cual provee el Arduino Nano y se comunica con él a través del protocolo de I2C. La batería de 7.4V alimenta todo el sistema electrónico con 5V, esta reducción se logra usando un regulador de voltaje el cual soporta hasta 6A de corriente. La batería de 7.4V se compone de dos baterías de 3.7V, la primera se conecta directamente a uno de los pines analógicos de la tarjeta Arduino con el objetivo de medir su nivel de voltaje, la batería completa se conecta a un divisor de voltaje el cual lo divide en 5V y 2.4V, los 5V se conectan a otro de los pines analógicos para medir el nivel de voltaje que tiene la otra batería, en caso que el nivel de las baterías sea bajo según lo determine el programa que mide el nivel de la batería, el led el cual indica si está funcionando o no el sistema cambiará de color verde (el color verde indica que el sistema está funcionando) a rojo, lo cual le indica al usuario que debe recargar la batería inmediatamente.

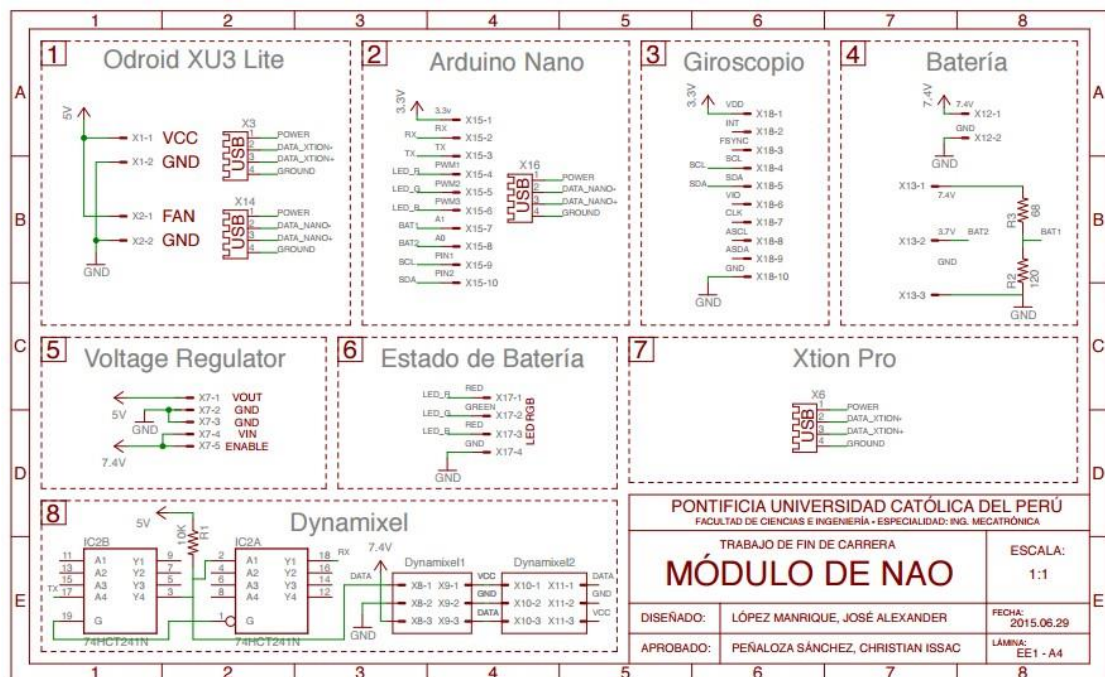


Figura 2. 12: Diagrama esquemático. (Fuente: Propia)

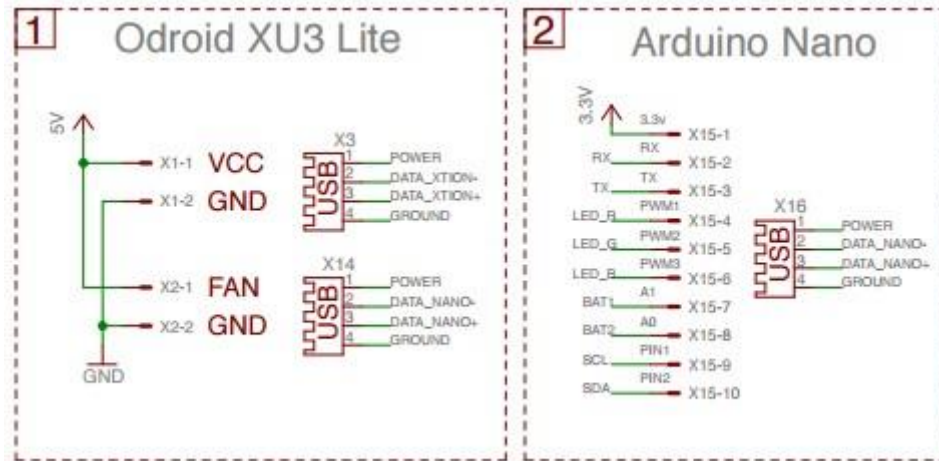


Figura 2. 13: Diagrama esquemático de la tarjeta Odroid (1) y la tarjeta Arduino (2).
(Fuente: Propia)

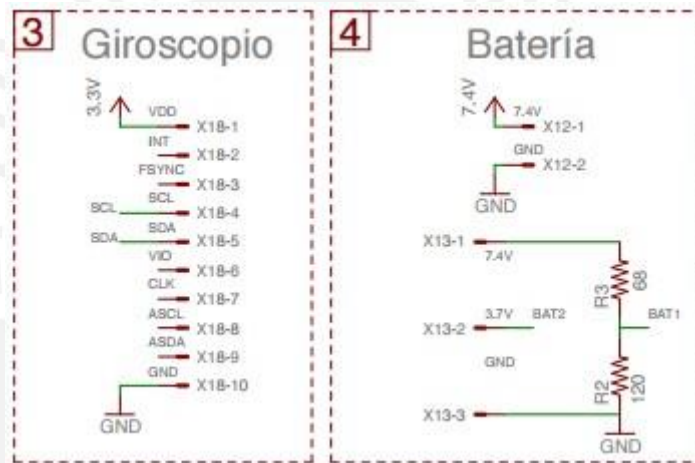


Figura 2. 14: Diagrama esquemático del Giroscopio (3) y la Batería (4)
(Fuente: Propia)

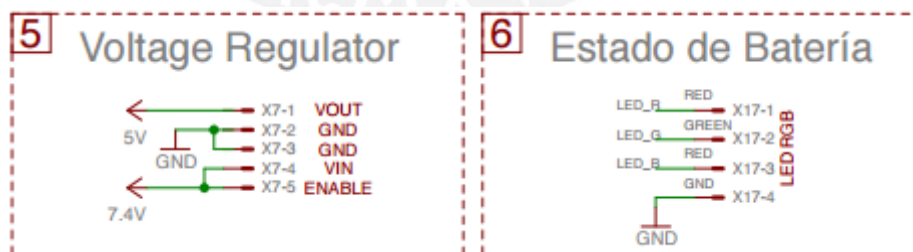


Figura 2. 15: Diagrama esquemático del Regulador de voltaje (5) y el Led de estado de batería (6). (Fuente: Propia)

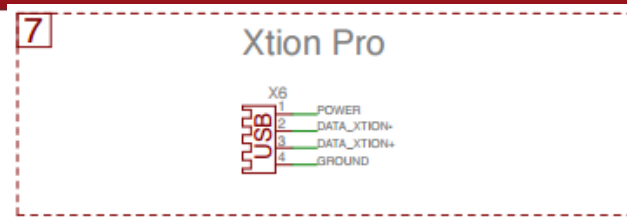


Figura 2. 16: Diagrama esquemático de la Xtion Pro (7). (Fuente: Propia)

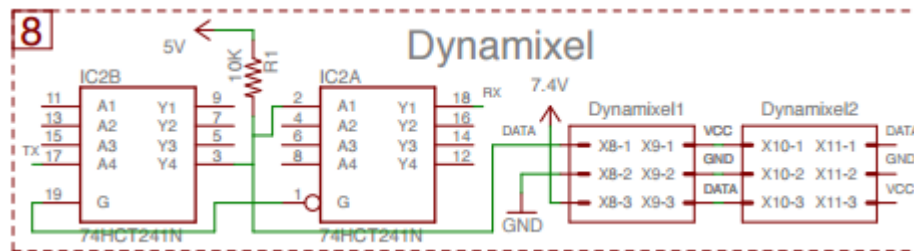


Figura 2. 17: Diagrama esquemático de los Servos Dynamixel (8). (Fuente: Propia)

Los componentes están organizados dentro de la estructura del módulo, se atornillan a las estructuras del módulo, este se divide en tres partes: uno en la cabeza, otro en el pecho y otro en la espalda del robot. En la estructura que se ajusta sobre la cabeza del robot, la cual se aprecia en la figura 2.18, los componentes electrónicos que son parte de esta son los dos servos, el sensor 3D y el giroscopio. En la estructura de la espalda, la cual se observa en la figura 2.19, contiene a la computadora embebida, la tarjeta desarrolladora, el regulador de voltaje y el circuito controlador de los servos Dynamixel, estos componentes tienen una posición determinada dentro de la estructura y van atornillados a esta. En la estructura en el pecho se ubica la batería, el led indicador del nivel de batería y los conectores necesarios para alargar las líneas de voltaje hasta la estructura de la espalda, también los cables para medir el nivel de voltaje de cada una de las celdas de la batería, la disposición de los componentes se pueden observar en la figura 2.19.

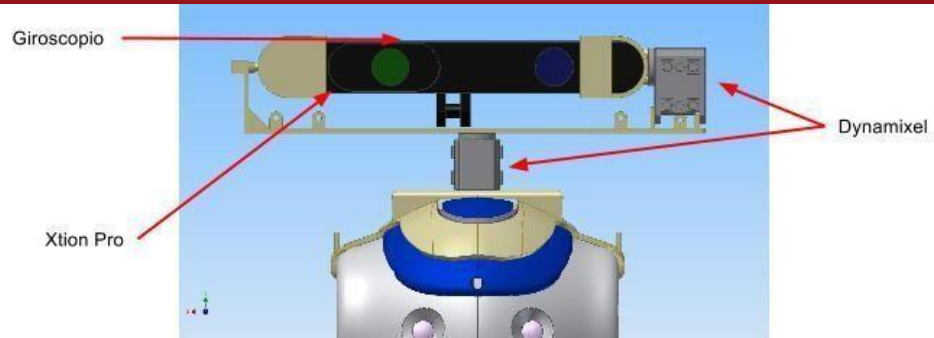


Figura 2. 18: Componentes en la estructura de la cabeza. (Fuente: Propia)

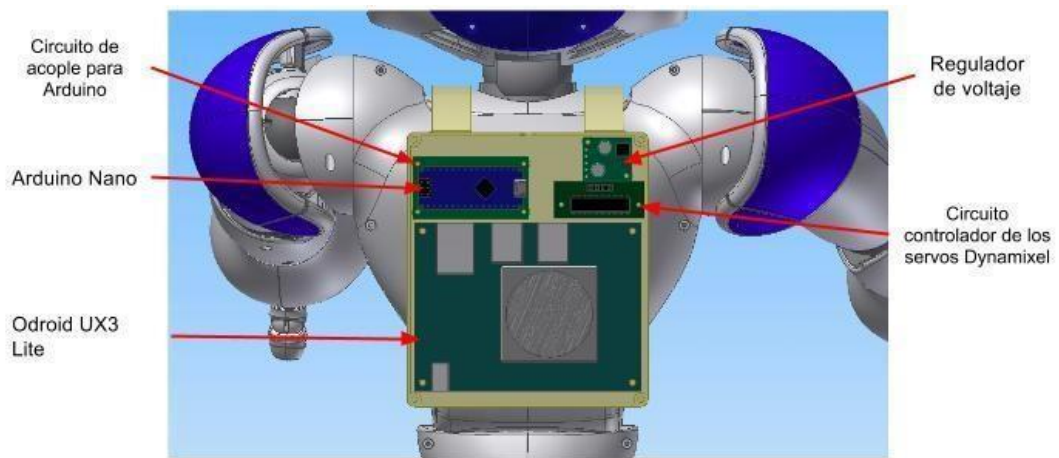


Figura 2. 19: Componentes en la estructura de la espalda. (Fuente: Propia)

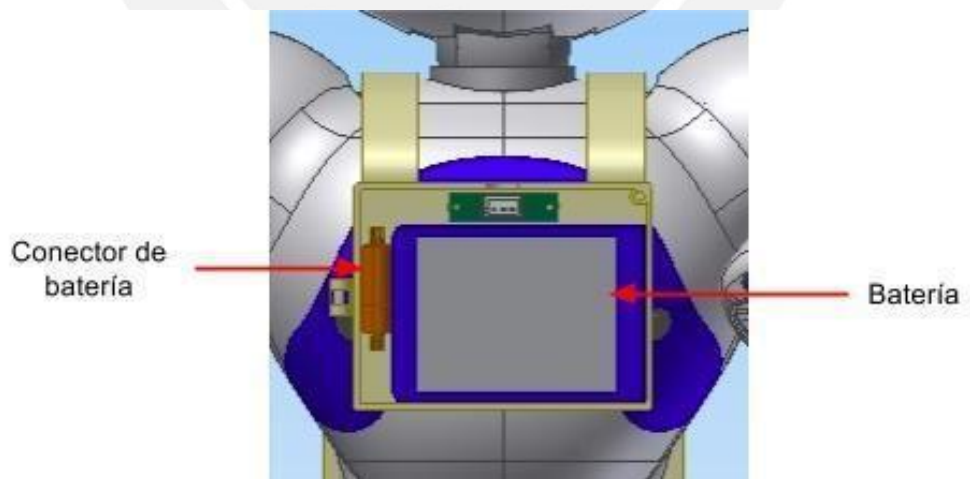


Figura 2. 20: Componentes en la estructura del pecho. (Fuente: Propia)

2.7 Sistema Mecánico

Los sistemas mecánicos están presentes dentro del módulo, tanto estructurales como mecánicos, son necesarios para lograr el funcionamiento del sistema de estabilización de imágenes, mantener en una posición adecuada a los sistemas electrónicos y proveer de una estructura resistente que pueda protegerlos contra impactos.

En la parte superior cuenta una estructura que se apoya encima de la cabeza del robot, la cual tiene un sistema de sujeción que trabaja con dos ganchos, cada uno va a cada lado de la cabeza del robot como se puede observar en la figura 2.21. Encima de este se ubica el sistema de estabilización de imágenes el cual va conectado a dos servos los cuales cambian el ángulo de visión del sensor ya sea en el plano horizontal o vertical, con ligeros cambios en sus ángulos se puede lograr estabilizar la imagen que proviene del sensor 3D, esta puede estar temblando debido a los movimientos que realiza el robot mientras tiene la cámara conectada en su cabeza.

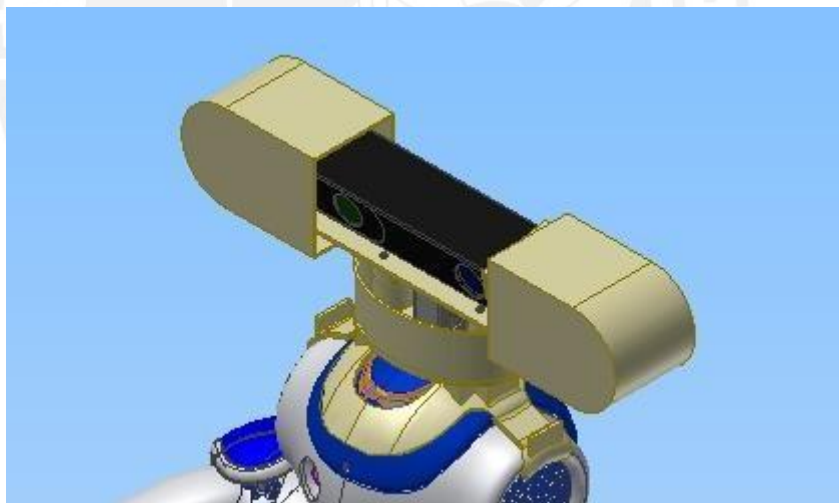


Figura 2. 21: Sistema de sujeción de Xtion para NAO. (Fuente: Propia)

El sistema ajusta sus ángulos de corrección usando dos servos dynamixel, el primer servo se sujeta sobre una base móvil, está sujeta al sensor 3D de un extremo por medio de un pivote que le permite girar y del otro lado a un servo que gira el ángulo de visión de la cámara de arriba abajo como se observa en la figura 2.22, una vista sin las carcasas del sistema y con el sensor apuntando hacia abajo, cabe resaltar que el sensor 3D tiene un ángulo de giro de $\pm 13^\circ$. La cámara también puede girar

con respecto al plano horizontal como se ve en la figura 2.23 en un ángulo de $\pm 15^\circ$, usando un servo el cual se sujeta al acople que va sobre la cabeza del robot, el servo no recibe la carga directa sobre él, a los lados se han colocado dos soporte que giran con la base móvil sobre un canal dibujado usando ruedas de bolas sobre el acople que se engancha a la cabeza del robot, en la figura 2.24 se pueden ver estos canales y las ruedas de bolas que viajan sobre ellos con mayor detalle.

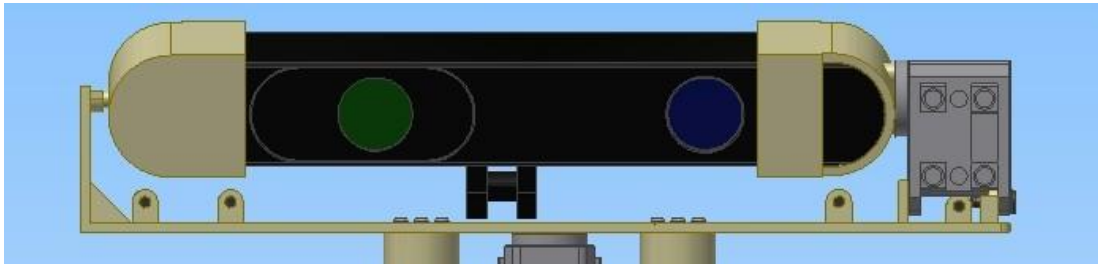


Figura 2. 22: Mecanismo del giro del sensor 3D. (Fuente: Propia)

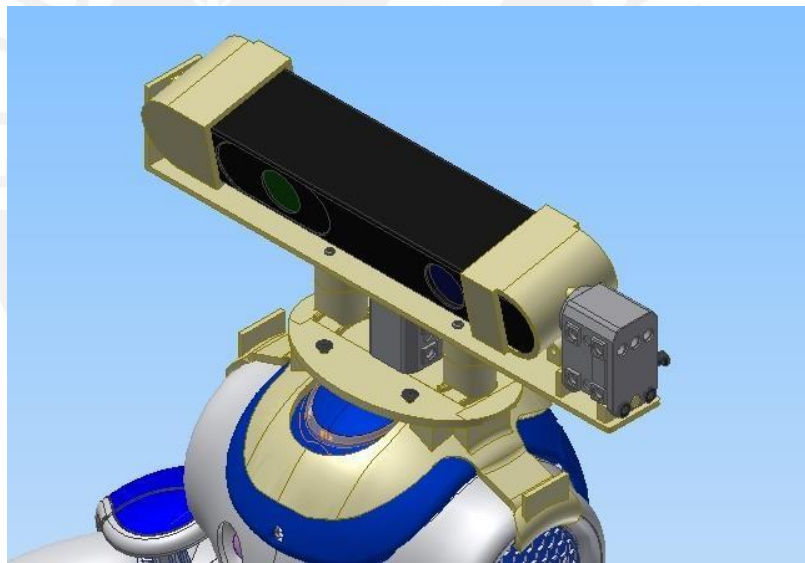


Figura 2. 23: Vista del mecanismo y soporte del sensor 3D. (Fuente: Propia)

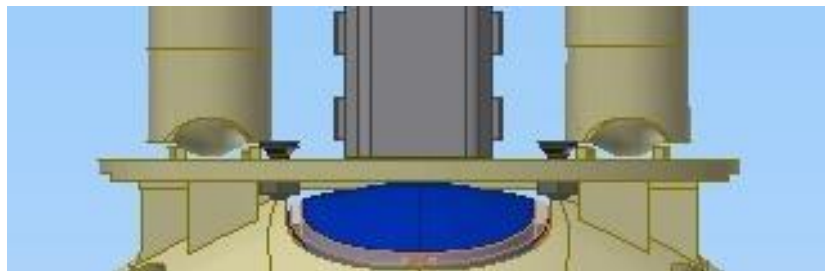


Figura 2. 24: Vista de los surcos y soportes que aguantan el peso de la base móvil.
(Fuente: Propia)

Las carcasas se colocan a cada lado para cubrir los mecanismos y componentes electrónicos, estas se unen por medio de tornillos a la base móvil como se muestra en la figura 2.25 para el sensor y la carcasa para el servo con la base del acople con ganchos mediante tornillos como se aprecia en la figura 2.26, también se aprecia que los soportes cilíndricos que tienen en un extremo a la rueda de bolas se unen a la base móvil por el otro extremo mediante tornillos al igual que las ruedas de bolas.

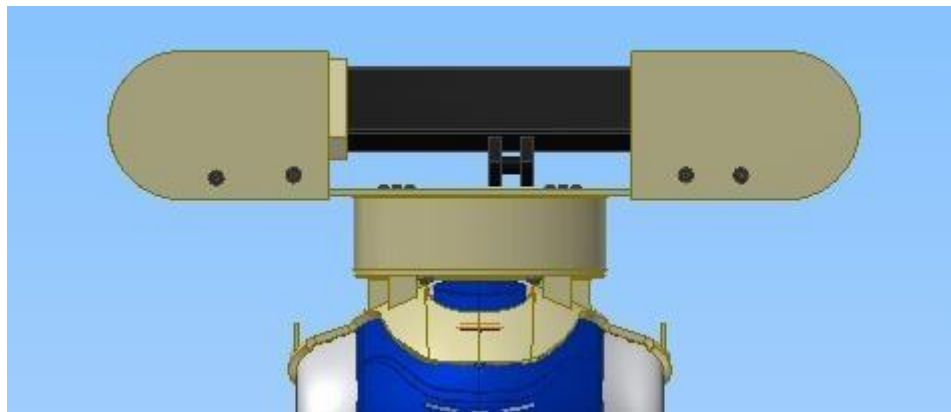


Figura 2.25: Vista desde atrás del módulo. (Fuente: Propia)

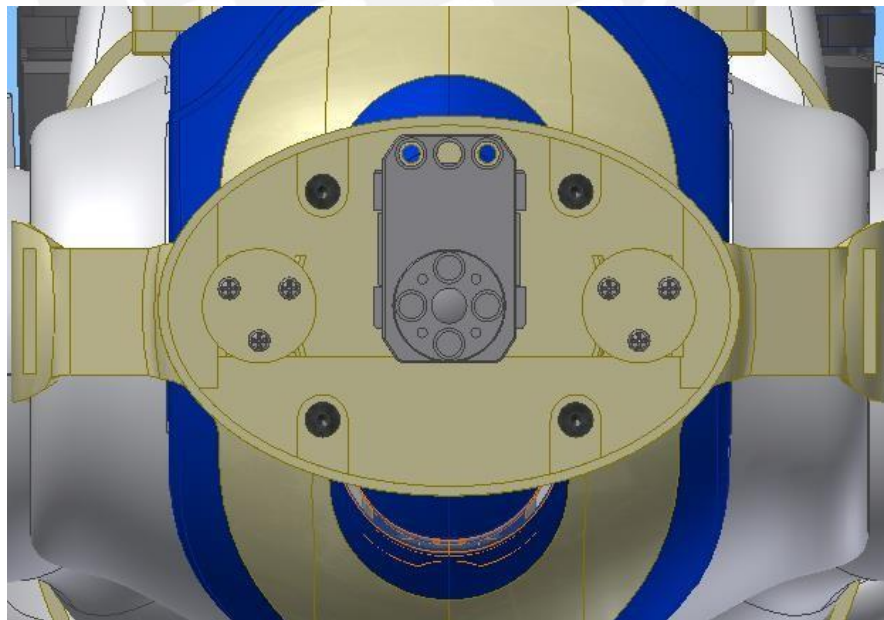


Figura 2.26: Vista de la unión de la carcasa. (Fuente: Propia)

La segunda y tercera parte del sistema se conecta entre ellas con la ayuda de unos soportes, dos sobre la parte superior y otros dos a los lados. Los soportes conectados sobre la parte superior se apoyan sobre los hombros del robot y son los que recibe la mayor parte de la carga. El soporte de la espalda y de la parte delantera están separados por una distancia muy corta con respecto al cuerpo del robot, por tanto cuando estás se unen usando los soportes quedan ajustadas al cuerpo del robot como se observa en la figura 2.27.

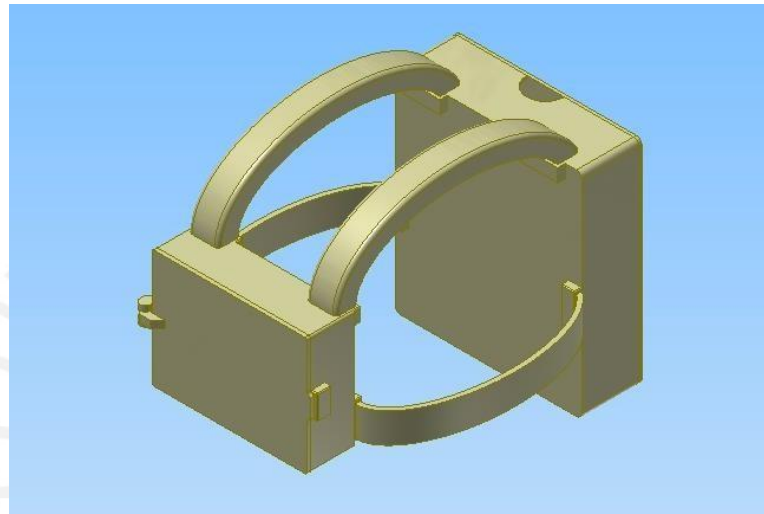


Figura 2.27: Estructura de protección de los componentes. (Fuente: Propia)

La segunda parte es aquella que va en la espalda, es una caja cuadrada y dentro de ella tiene soportes para ubicar a cierta altura a los componentes electrónicos como los procesadores, la batería y el medidor de batería como se ve en la figura 2.27 y 2.28. La estructura también tiene algunas aberturas en la parte superior por donde se van a conectar y sujetar por interferencia a los soportes superiores, también tiene unas aberturas a los lados donde se van a conectar los soportes inferiores, dos agujeros en forma de media luna para los cables que vienen desde la tercera parte del módulo y que pasan a través del soporte superior y por último un agujero en forma de media luna en la parte superior para los cables que vienen de la primera parte del módulo. La tapa de esta estructura se une mediante cuatro tornillos que van a los extremos de la estructura y de la tapa, esta tiene dos agujeros para permitir la circulación del aire dentro de esta parte del módulo.

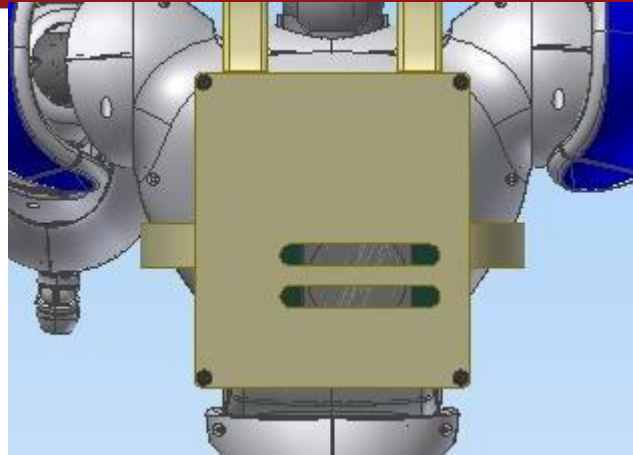


Figura 2.28: Segunda parte del módulo. (Fuente: Propia)

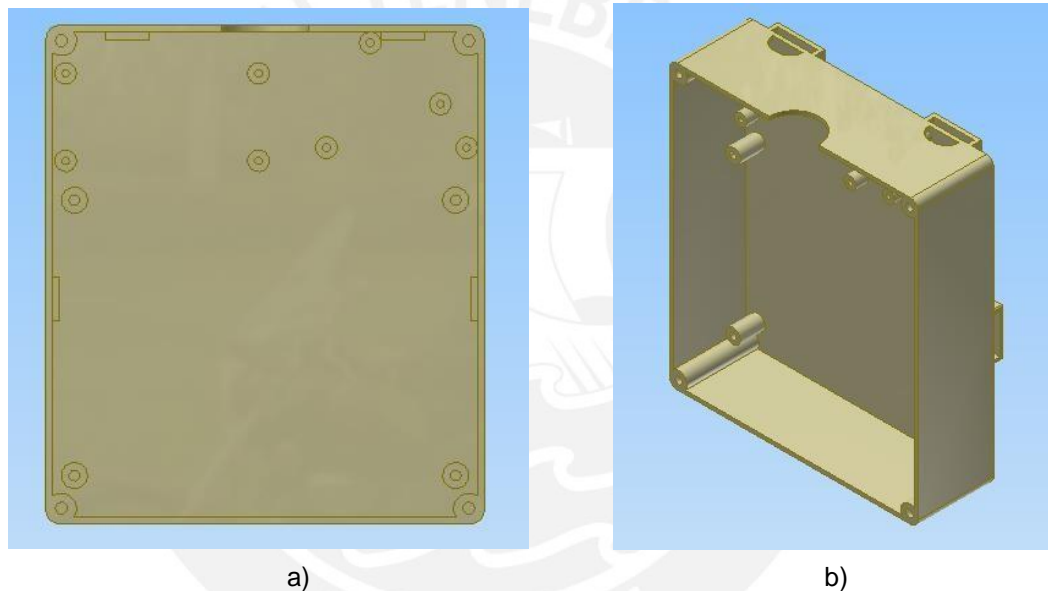


Figura 2. 269: Estructura de la segunda parte del módulo.

a) Vista Frontal b) Vista Isométrica (Fuente: Propia)

En la tercera parte del módulo se ubica la batería, es una caja rectangular con aberturas para los soportes inferiores y superiores como se aprecia en la figura 2.29, además de dos agujeros en media luna por donde pasan los cables que se conectan a la segunda parte, un agujero en la parte superior por donde pasa un led el cual informa el estado de la batería. Esta estructura tiene una tapa la cual se une a un pivote del cual se puede girar y del otro extremo se cierra mediante presión, con el fin de que el usuario pueda retirar la batería fácilmente y cargarla cuando sea necesario, este diseño se puede observar en la figura 2.30. En la parte interior de la estructura tiene unos soportes con agujeros donde se colocara una tarjeta para conectar los cables que indican el estado de la batería.

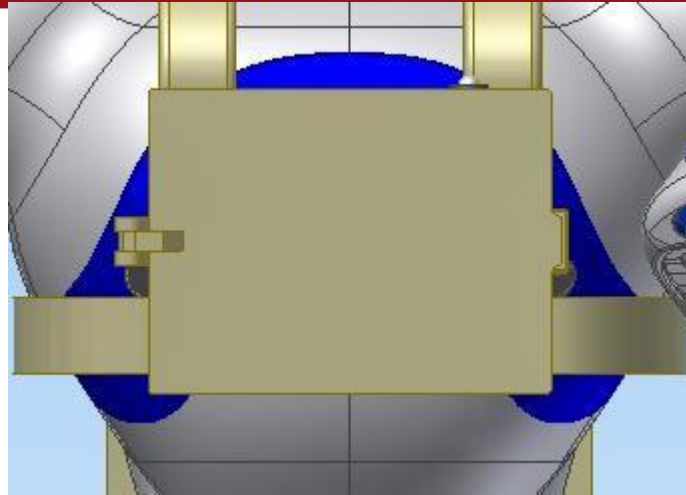


Figura 2.30: Tercera parte del módulo. (Fuente: Propia)

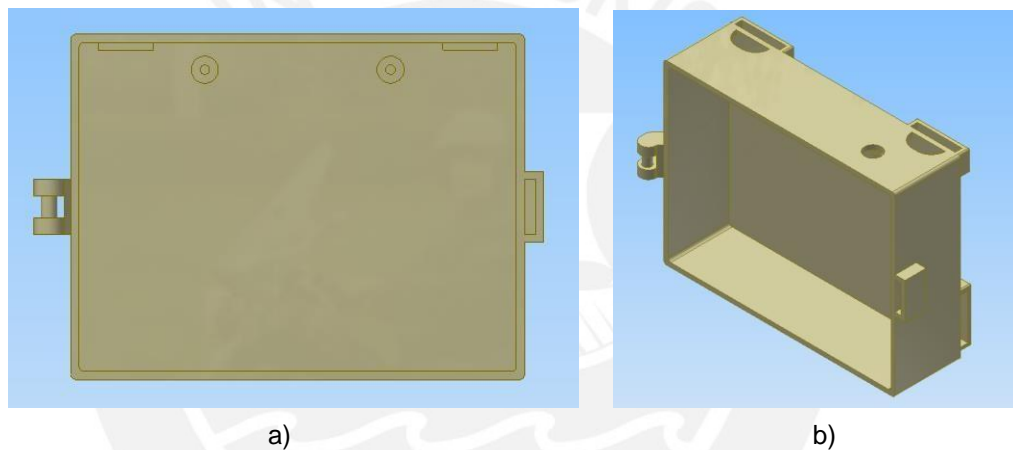


Figura 2.31: Estructura de la tercera parte del módulo.
a) Vista Frontal b) Vista Isométrica (Fuente: Propia)

La sujeción de los soportes y la tapa con la carcasa de la tercera parte se usa un clip por sujeción como se muestra en la figura 2.32, por medio de un pequeño triángulo se establece una pequeña interferencia, no mayor a 0.5 mm, que bloquea la salida de los elementos de sujeción, si se desea retirar los soportes basta con presionar la pequeña lengüeta, la cual se señala en la figura 2.33, para que la interferencia desaparezca y el soporte se retire con facilidad. Esto también se aplica en el caso de la tapa que se sujeta a la estructura de la parte tres que se observa en la figura 2.29, basta con presionar la lengüeta de la tapa para abrir la tapa y retirar la batería de forma sencilla.

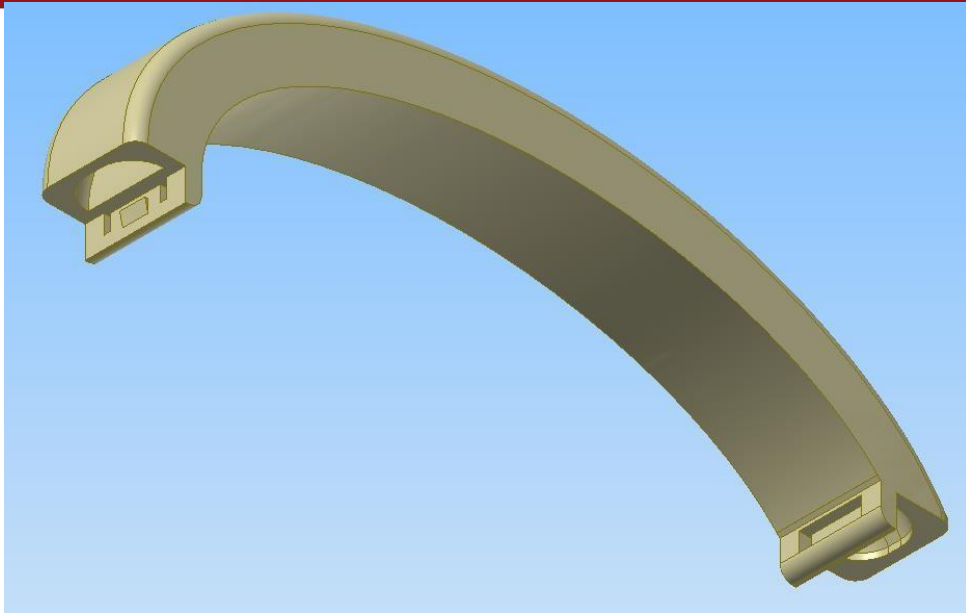


Figura 2. 272: Soporte. (Fuente: Propia)



Figura 2. 283: Tercera parte del módulo, sujeción. (Fuente: Propia)

Material Estructural:

El material del cual está hecho la estructura es de PLA (ácido poliláctico), este plástico es muy resistente al impacto, es un termoplástico amorfo, muy usado en impresiones 3D. En la figura 2.34 se observa la forma comercial del PLA para impresoras 3D, esta tiene forma de hilo enrollado en un carrete el cual alimentará a dicha impresora. Las estructuras y mecanismos tienen formas muy particulares ya que debe acoplarse a la forma de NAO, hacen que la impresión 3D sea el método más adecuado para construir la estructura debido a la forma específica que tiene

esta. La producción de este accesorio no se considera masiva, realizar el trabajo en plástico no sería la opción más adecuada por el alto costo que tendrían los moldes. Se estima que la producción de este accesorio llegará a cientos como máximo, luego de analizar el primer impacto que este tenga en el mercado, se considerará una futura versión de este por inyección de plástico.



Figura 2. 294: Carrete de plástico PLA para impresoras 3D.

(Fuente: <http://en.wlxrubber.com/>)

Densidad	1,20 g/cm ³
Módulo de elasticidad (Young)	3.5 GPa
Elongación a la rotura	6%
Módulo de flexión	4 GPa
Resistencia a la flexión	80 MPa
Comienzo de fusión	160°C
Módulo de corte	2,4 GPa
Res	50 MPa
Conductividad térmica	0,13 W/m-k

Tabla 2. 7: Propiedades del PLA. (Fuente: <http://www.hexxon.es/>)

2.8 Sistema de control

El sistema de control se divide en tres partes, orientadas a trabajar con los sensores y actuadores, a continuación se explica el sistema de control de cada parte, indicado para que funciona cada uno de estos según los requerimientos planteados. Este sistema trabaja con conexión a internet, el sistema lo requiere para enviar la data a través de la red y comunicarse con el robot.

Sistemas de estabilización de imágenes:

El sistema consiste en estabilizar el sensor 3D en caso que el robot se esté desplazando o se mueva; cada vez que una de estas dos acciones se lleva a cabo, la cabeza del robot (en la cual se ubica el sistema de estabilización de imágenes conectada al sensor) está realizando pequeños movimientos o hasta temblando debido al movimiento general del cuerpo, por tanto el sensor y el sistema también se están moviendo, el campo de visión del sensor 3D también se mueve, como resultado el procesamiento de imágenes puede verse afectado por dicho suceso. El objetivo del sistema de estabilización de imágenes consiste en prever estos pequeños eventos y corregir al sensor para que este no se vea afectado. Estos pequeños cambios se miden usando un giroscopio acoplado al sensor 3D, este mide el ángulo de inclinación del sensor con respecto al suelo, determina el ángulo de inclinación con la superficie terrestre en cada uno de sus tres ejes de direcciones. Se considera que las personas y el humanoide siempre se encuentran ubicados en un plano paralelo a la superficie terrestre. En la figura 2.35 se observa el diagrama de flujo del sistema el cuales tiene como variables iniciales al ángulo en el cual siempre debe tener el campo de visión, el máximo y mínimo ángulo al cual puede girar el sensor, el sistema recibe como parámetro de entrada el ángulo en el cual se encuentra actualmente el sensor. El programa del sistema de estabilización de imágenes trabaja con estos datos, corrigiendo el ángulo de visión siempre que no supere los máximo y mínimo permitidos por sistema mecánico ($\pm 13^\circ$), en caso los supere el servo solo girara hasta el máximo o mínimo permitido, la medición del ángulo de visión es constante mientras el sistema se encuentre funcionando.

Sistema de recolección de data:

El sensor 3D proyecta una matriz de puntos infrarrojos a través de un emisor y mediante un sensor recibe la distancia a la cual están todos estos puntos, así reconstruye una imagen en escala de grises basada en la distancia a la que está cada pixel que conforma la imagen, esta información se procesa y se envía a la computadora embebida. La información recibida se codifica para reconocer si existe

una persona en la imagen obtenida, de ser así el programa que se implementó deberá ubicar dentro de la imagen las articulaciones de la persona y su ubicación con respecto a una de ellas, en nuestro caso la articulación del cuello será nuestro origen, ya que esta solo se mueve con el desplazamiento de posición de la persona. Al tener la ubicación de los puntos, el programa convierte esta información en comandos que el robot pueda entender. El programa está conectado al sistema de reconocimiento de voz del robot, cuando este escuche la señal de inicio el programa se iniciará y esperará la señal para almacenar la posición en la cual se encuentra el usuario. Las posiciones almacenadas se suben a un almacenamiento en la nube por medio del internet. Es importante recalcar que la señal que recibe este sistema proviene del robot, a este se le programa para que cuando el sistema se inicie el reconocimiento de voz del robot se active, si el robot escucha la palabra “guardar”, enviará la señal para guardar y enviar por internet dicha posición, esta información contiene la posición angular de cada motor. Es necesario aclarar que el código para el reconocimiento de las articulaciones esta en los anexos.

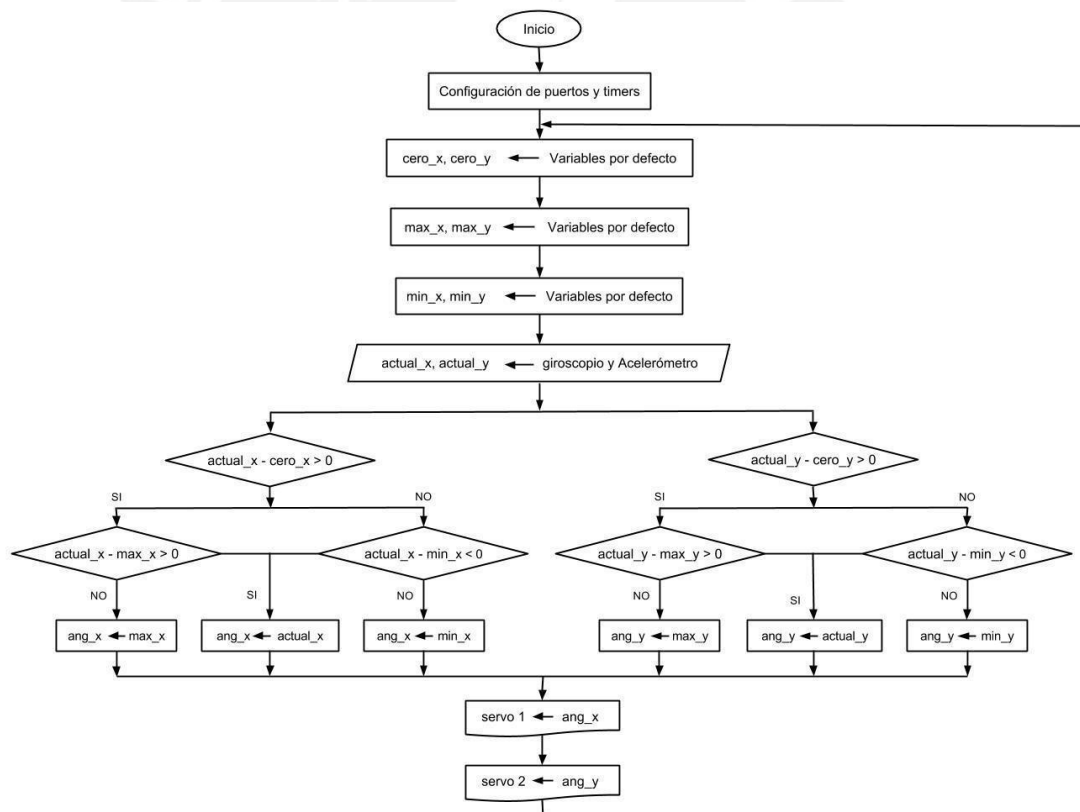


Figura 2.35: Diagrama de flujo del sistema de estabilización de imágenes. (Fuente: Propia)

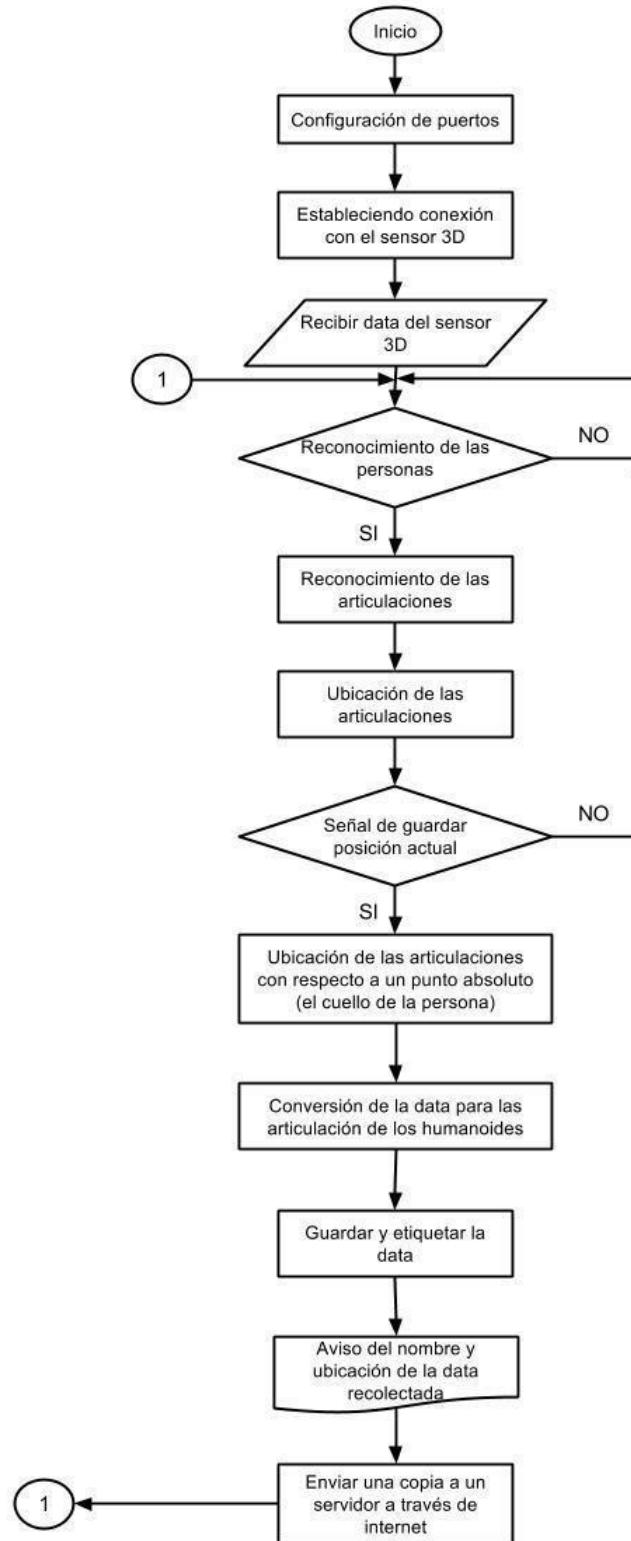


Figura 2. 306: Diagrama de flujo del sistema embebido. (Fuente: Propia)

CAPÍTULO 3

PRUEBAS DE CONCEPTO

En este capítulo se presentará algunas pruebas de concepto las cuales validan y soporta algunos de las hipótesis que se presentan a lo largo de la tesis, a pesar de presentar los cálculos respectivos los cuales respaldan cada uno de los diseños y sistemas propuestos en este sistema mecatrónico, estas pruebas sirven para confirmar que los cálculos son correctos. Las pruebas de concepto más importantes a realizar son: Desarrollo de parte del software que permite reconocer las posturas de las personas y que puedan ser replicadas por el robot, el sistema de estabilización de imágenes, la prueba de que el robot puede moverse aún con el peso del módulo sobre él y el experimento preliminar con el sensor 3D.

3.1 Prueba del software:

La prueba de concepto que se realizó para el software consiste en que el sensor 3D pueda reconocer a la persona en un ambiente no controlado, una vez que se reconoce a la persona de los demás objetos presentes, se puede reconocer sus articulaciones mediante puntos que se colocan sobre la persona, con el uso de líneas se unen dichos puntos con el objetivo de marcar y señalar que el sistema puede seguir los movimientos de la persona en todo momento como se puede apreciar en la figura 3.1, al lado se muestra una simulación del robot.

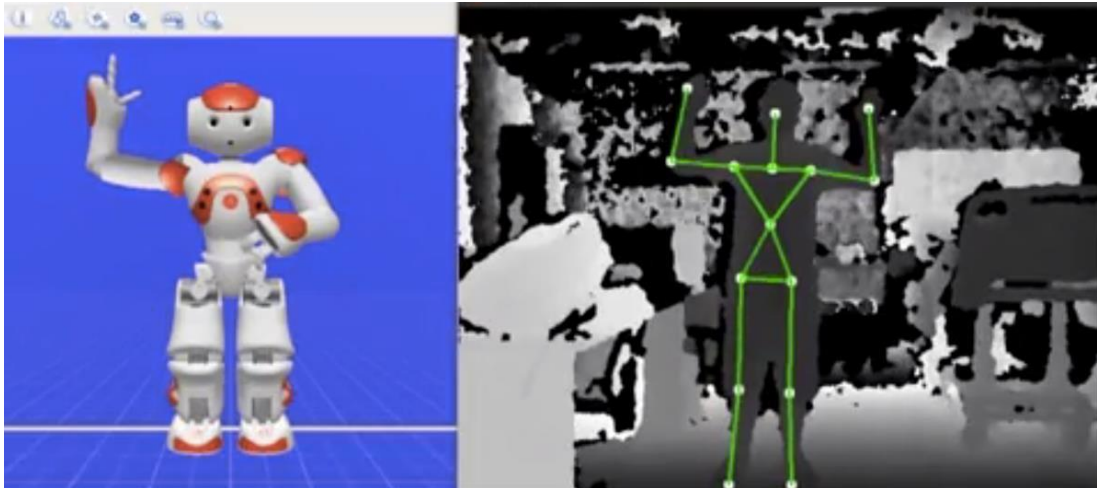


Figura 3. 1: Reconocimiento de la persona. (Fuente: Propia)

Luego que se tiene la información de los puntos de la persona, esta se relaciona con los comandos del humanoide con el fin de que cada vez que se mueva la persona, el robot se mueva de igual forma, en la figura 3.2, 3.3, 3.4 se ve como el robot mueve su brazo al igual que la persona. Para lograr replicar el movimiento se realizó transformaciones matemáticas con el fin de cambiar del ambiente real al virtual, interpretar la posición de los puntos en el espacio en ángulos de los servos del robot, el robot describe su movimiento a través de los ángulos de cada uno de sus servos.

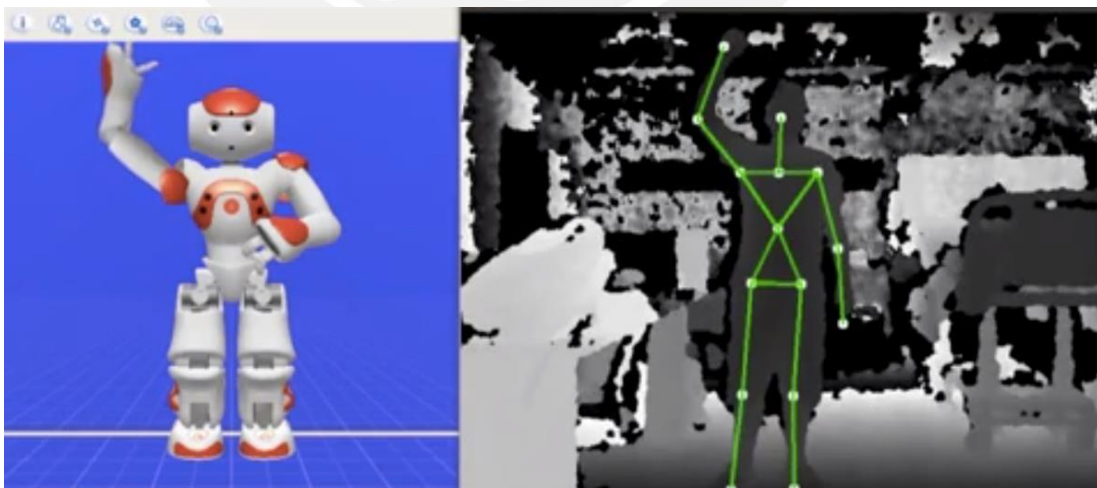


Figura 3. 2: La persona y el robot con el brazo levantado. (Fuente: Propia)

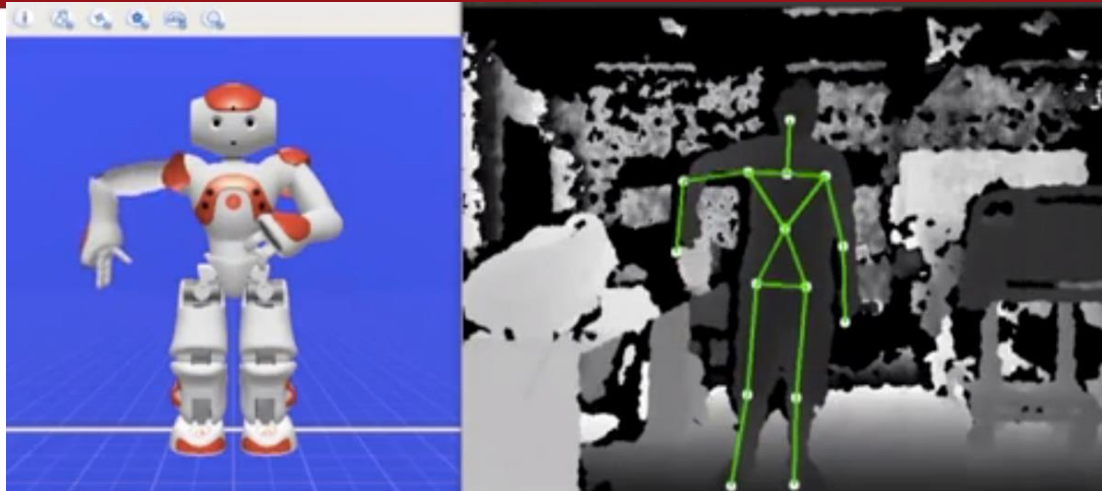


Figura 3. 3: La persona y el robot con el brazo abajo. (Fuente: Propia)

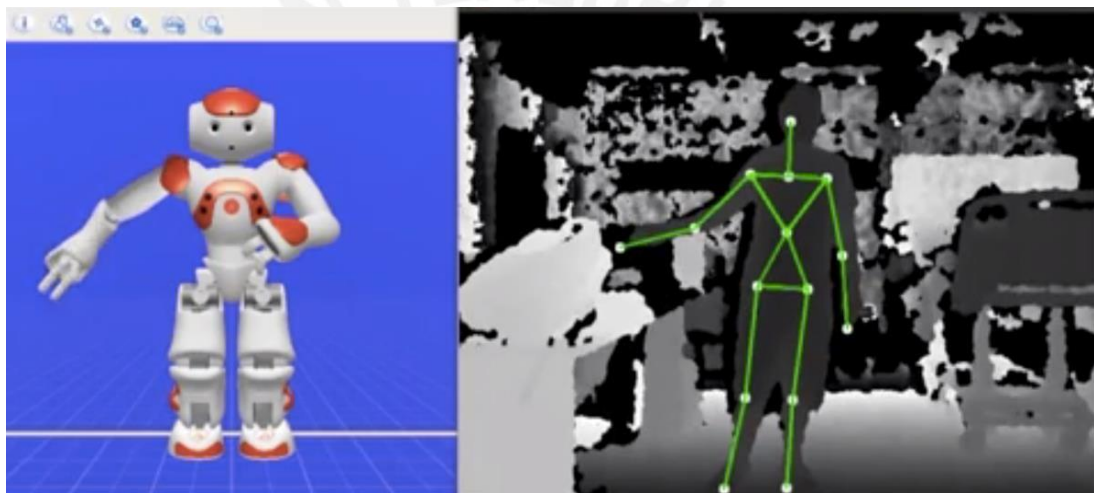


Figura 3. 4: La persona y el robot con el brazo extendida. (Fuente: Propia)

3.2 Prueba de estabilidad:

En la prueba de estabilidad se busca probar que el robot puede moverse y levantarse con el peso del módulo encima, para demostrar que el robot tiene la capacidad de trabajar con esta carga se determina el peso de cada una de las partes del módulo. Luego de determinar el peso se eligen objetos que tengan la misma forma y peso que tengan las partes del módulo, como se observa en la figura 3.5, estas se pegan al robot en la posición respectiva a cada una de sus partes y así probar el concepto propuesto. En las figuras 3.6 se muestra como el robot está reposando de cuclillas con 3 objetos pegados a su cuerpo, cada uno representando a cada parte de su módulo. El robot recibe la orden de ponerse de pie, este empieza a levantarse como se aprecia en la figura 3.7, 3.8 y 3.9, hasta que el robot logra ponerse totalmente de pie como se aprecia en la figura 3.10.

En la figura 4.8 se observa cómo el robot se termina levantando de su posición de reposo sin problema alguno, esto demuestra que el robot puede levantarse y mantenerse en pie de forma estable aun con el peso del módulo encima.

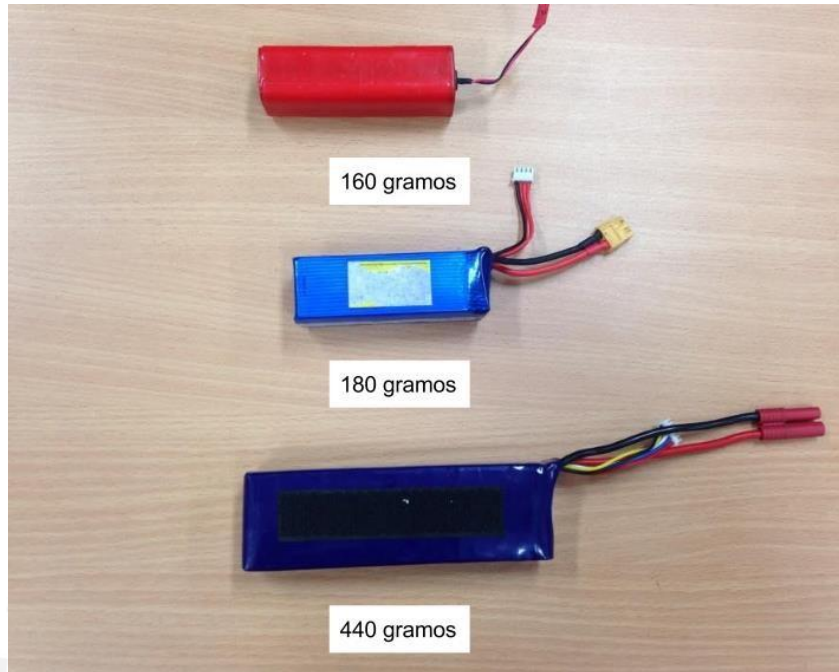


Figura 3. 5: Pesos de los objetos que se utilizaron en la prueba de concepto (Fuente: Propia)



Figura 3. 6: Posición de los pesos en el robot. (Fuente: Propia)

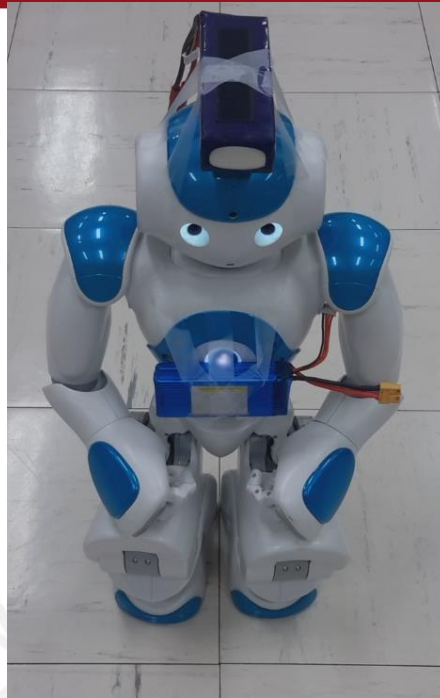


Figura 3. 7: Robot descansando de cuclillas. (Fuente: Propia)

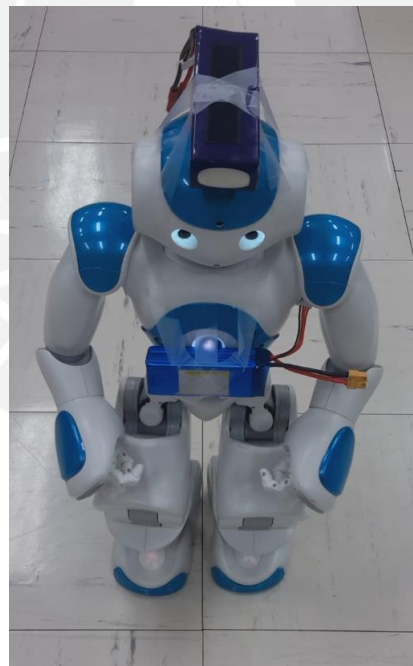


Figura 3. 8: El robot se levanta a velocidad normal sin ningún inconveniente.
(Fuente: Propia)

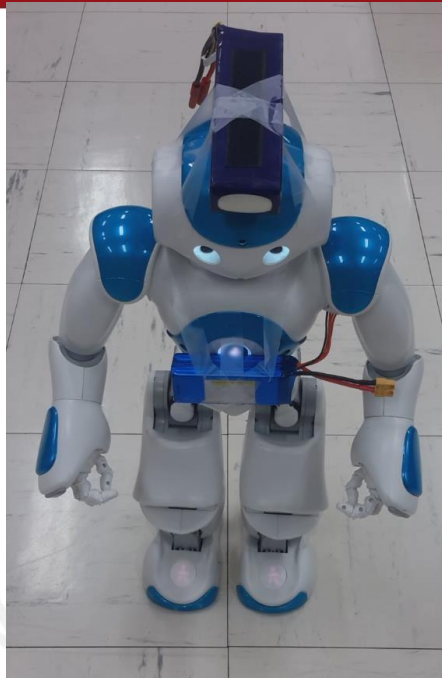


Figura 3. 9: El robot está apunto de levantarse. (Fuente: Propia)



Figura 3. 10: El robot termina de levantarse con la carga del módulo. (Fuente: Propia)

3.3 Prueba del sistema de estabilidad:

En la siguiente prueba concepto se puso a prueba el sistema de estabilización de imágenes el cual va sobre la cabeza del robot y corrige el ángulo de visión de la cámara. Cuando el sensor se inclina hacia la izquierda como se ve en la figura 3.11 uno de los servo gira en sentido horario mirándolo por el frente, pero si el sensor se inclina hacia la derecha como se aprecia en la figura 3.12 este servo gira en sentido anti-horario mirando lo por el frente, en cambio si el sensor se inclina hacia adelante como se ve en la figura 3.13 el otro servo gira en sentido horario mirando lo por el frente, pero si el sensor se inclina hacia atrás como se aprecia en la figura 3.14 el mismo servo gira en sentido anti-horario mirando lo por el frente. Los servos corregirán el ángulo de visión del sensor para mover su campo de visión, así la señal de video se mantiene estable y no se mueve a pesar de que el robot este en movimiento, como en el caso cuando el robot se está parando o sentándose. Los servos que se usaron son pequeños en comparación con los que se usan, los cuales son un poco más grandes, pero con un mayor torque; a pesar de ello el concepto se mantiene. Utilizando estos dispositivos se comprueba que el concepto propuesto funciona.

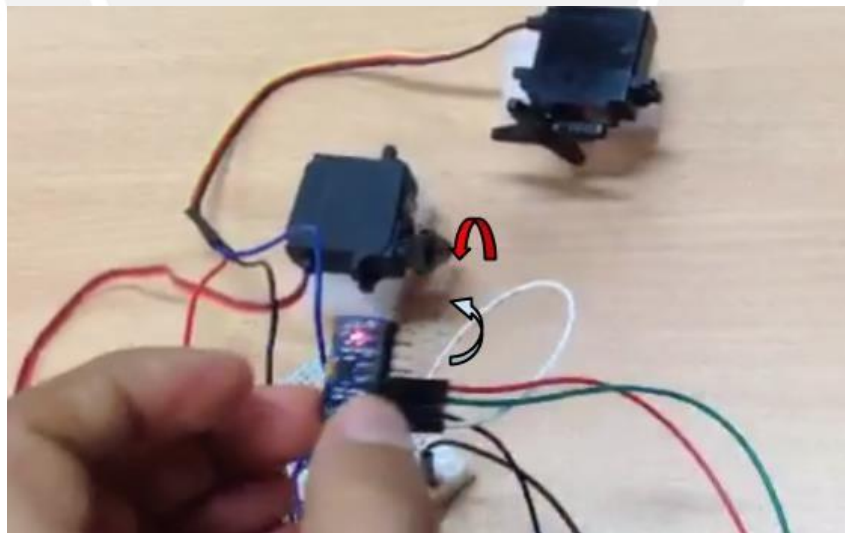


Figura 3. 11: El servo gira en sentido anti-horario cuando gira a la izquierda.

(Fuente: Propia)

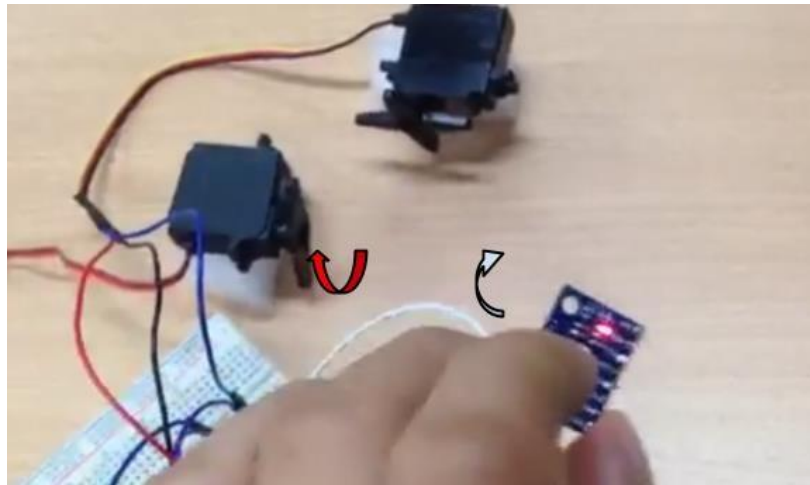


Figura 3. 12: El servo gira en sentido horario cuando gira a la derecha.
(Fuente: Propia)

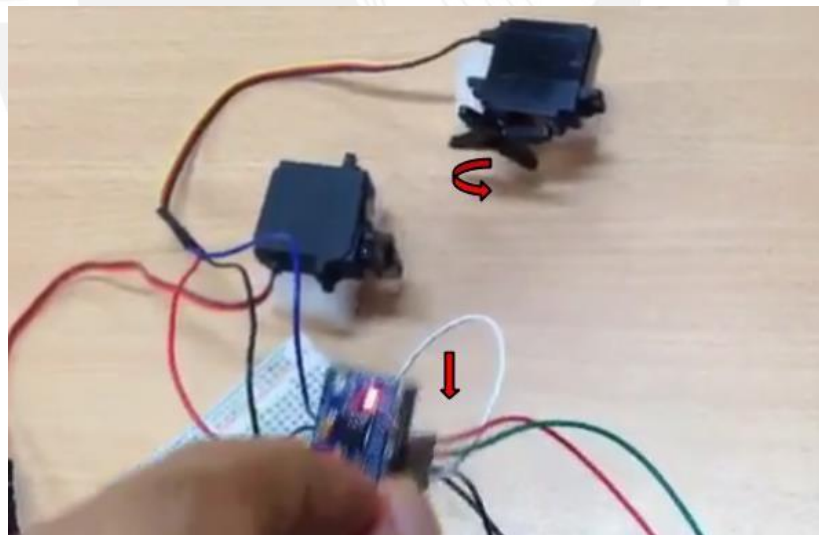


Figura 3. 13: El servo gira en sentido horario cuando gira a la derecha.
(Fuente: Propia)

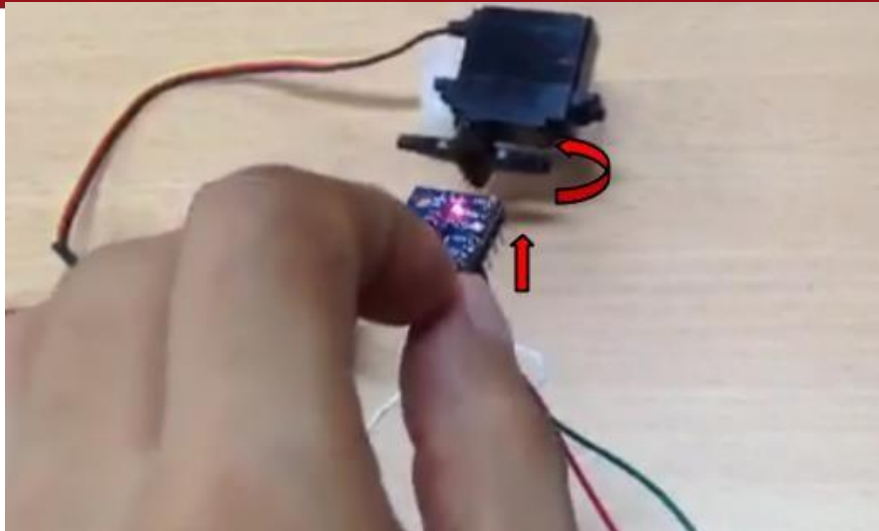


Figura 3. 14: El otro servo gira en sentido horario cuando gira a la adelante.
(Fuente: Propia)

3.4 Experimento preliminar con el sensor 3D:

En este experimento se demostró que tanto el sensor 3D y el robot pueden funcionar en conjunto. El experimento consistió en desarrollar un algoritmo que reconociera, con el sensor 3D, si una persona estaba cerca, si la persona estaba a menos de un metro de distancia al robot, el algoritmo buscaba a la persona usando un algoritmo de reconocimiento de rostros, si el robot detectaba la cara de una persona, este levantaba la mano para saludar a la persona.



Figura 3. 15: La persona se hace al robot, se ubica a más de un metro del robot.
(Fuente: Propia)

Las figuras 3.15, 3.16 y 3.17 comprueban que el algoritmo funciona y la prueba de concepto es todo un éxito.

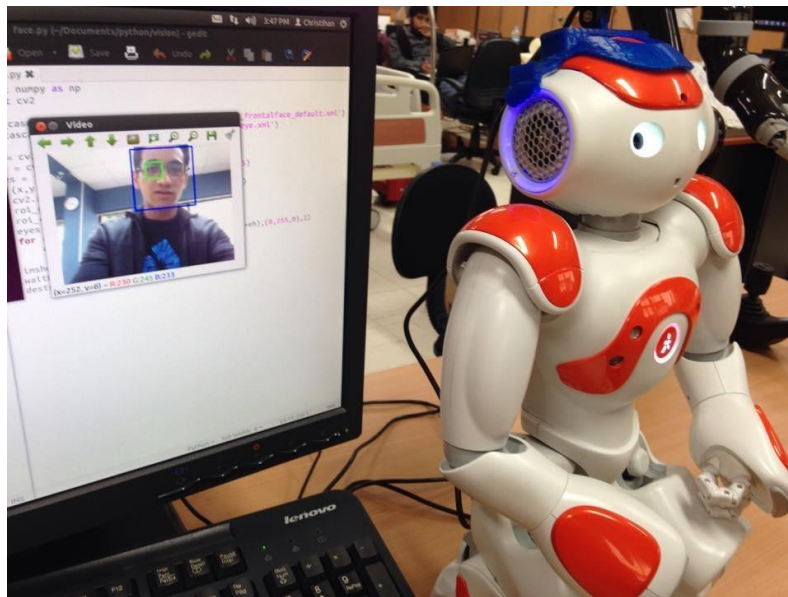


Figura 3. 16: El robot reconoce el rostro de la persona y enmarca su rostro usando un algoritmo de visión. (Fuente: Propia)



Figura 3. 17: El robot saluda al reconocer el rostro de la persona. (Fuente: Propia)

CAPÍTULO 4

PRESUPUESTO

En este capítulo se presentara los costos de las partes electrónicas como se ve en la tabla 4.1, el presupuesto de las partes mecánicas en la tabla 4.2 y los costos totales en la tabla 4.3. Se especifican los precios parciales y totales en dólares, como resultado se indica el precio en dólares en soles y dólares con tipo de cambio 3.15. El costo de envío incluye el costo de desaduanaje del componente.

Ítems	Producto	Cantidad	Costo de envío (dólares)	Precio unitario (dólares)	Precio total (dólares)
1	Odroid XU3 Lite	1	\$10.50	\$104.95	\$115.45
2	Asus Xtion Pro	1	\$11.00	\$110.00	\$121.00
3	Arduino Nano	1	-	\$54.28	\$54.28
4	Dynamixel XL-320	2	\$2.19	\$21.90	\$24.09
5	Batería	1	\$1.80	\$17.95	\$19.75
6	Giroscopio	1	\$4.00	\$39.95	\$43.95
7	Otros componentes	1	-	\$50.00	\$50.00
Total (más IGV) 18%					\$428.51
TOTAL (Nuevo Sol)					S/.1,349.79

Tabla 4. 1: Presupuesto total de la parte electrónica.

Ítems	Producto	Cantidad	Costo de envío (dólares)	Precio unitario (dólares)	Precio total (dólares)
1	Impresión 3D	1	-	\$160.00	\$160.00
2	Tornillos y tuercas M3	100	-	\$25.00	\$25.00
3	Tornillos y tuercas M2	100	\$2.50	\$25.00	\$54.28
Total (más IGV) 18%					\$239.28
TOTAL (Nuevo Sol)					S/.753.73

Tabla 4. 2: Presupuesto total de la parte mecánica.

Ítems	Producto	Cantidad	Precio unitario (dólares)
1	Componente electrónicos	1	S/.1,349.79
2	Componente mecánicos	1	S/.753.73
TOTAL			S/.2,103.52

Tabla 4. 3: Presupuesto total del sistema mecatrónico.

CONCLUSIONES

- Esta tesis propone un sistema mecatrónico que le da la capacidad, al robot, de ver los objetos a través de la distancia con respecto a él, esto permite que pueda identificar a la persona y a sus movimientos, así puede replicarlos o contestar a ellos permitiendo una mejor interacción entre la persona y el robot.
- A comparación de otros robots que usan una cámara de video para interactuar y reconocer a las personas, este sistema permite, con ciertos parámetros a tomar en cuenta, reconocer a una persona y a su vez poder reconocer sus movimientos, usando el lenguaje corporal como medio de comunicación.
- Este sistema ha sido diseñado para el robot NAO, pero basta cambiar la forma y los tamaños de los elementos de sujeción para poder instalarse en otro robot.
- El módulo le permite al robot observar a una distancia entre 0.4 a 3 metros, fuera de ese rango no se detecta alguna señal, solo se toma en cuenta los objetos y personas dentro del área de trabajo; se da un mejor resultado en comparación a una cámara de video que toma todos los objetos que están en el espacio, inclusive aquellos que se encuentran lejos y no deben ser tomados en cuenta.
- En futuros trabajos se creará un algoritmo que funcione con este módulo y pueda identificar algunos gestos corporales que la persona realiza y que el humanoide pueda responder a dichos gestos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] PCWorld
Entrevista en una conferencia de prensa en Urayasu, Japón a Bruno
Maisonnier, fundador y jefe ejecutivo de Aldebaran Robotics.
<http://www.pcworld.com/article/2360360/softbanks-humanoid-robot-pepper-knows-how-youre-feeling.html>. Disponible: 03/2015
- [2] Xianghua Fan, Fuyou Zhang, Haixia Wang and Xiao Lu
23 - 25 May 2012 “The system of face detection based on OpenCV”
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6242980&tag=1
- [3] Rodney A. Brooks, Cynthia Breazeal, Brian Scassellati, Una-May O’Reilly,
“Technologies for Human/Humanoid Natural Interactions”
Available: <http://people.csail.mit.edu/brooks/papers/huro99.pdf>
- [4] “IEEE International Conference on Human-Robot Interaction
<http://humanrobotinteraction.org/>
- [5] Aldebaran, SoftBank Group.
<https://www.aldebaran.com/en> Disponible: 04/2015
- [6] International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and
Information Processing
2008, Development of a social learning mechanism for a humanoid
robot.
- [7] Jan Peters, Sethu Vijayakumar, Stefan Schaal.
2003, Reinforcement Learning for Humanoid Robotics.
<http://www.cc.gatech.edu/~isbell/reading/papers/peters-ICHR2003.pdf>
- [8] Jeffrey B. Cole, David B. Grimes, Rajesh P. N. Rao. “Learning Full-
Body Motions From Monocular Vision: Dynamic Imitation in a Humanoid
Robot”, on International Conference on Intelligent Robots and Systems
2007 [Online]. Available: <http://homes.cs.washington.edu/~rao/vision-based-imitation-07.pdf>
- [9] Christian I. Peñaloza, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, y Tatsuo Arai

“Social Human Behavior Modeling for Robot Imitation Learning”,
Department of Systems Innovation Osaka University, Toyonaka, Osaka.

[10] Daniel Maier, Armin Hornung and Maren Bennewitz

“Real-Time Navigation in 3D Environments Based on Depth Camera
Data”

<http://www2.informatik.uni->

[freiburg.de/~maierd/pub/maierd12humanoids.pdf](http://www2.informatik.uni-freiburg.de/~maierd/pub/maierd12humanoids.pdf). Disponible: 04/2015

