



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍAS**

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

ROBOT PEDAGÓGICO BÍPEDO

Autor: Luis Miguel Pérez Hernández

Investigación presentada para obtener el grado de
**Maestro en Ciencias y Tecnologías de
la Información**

Presidente:	Dr. David González Maxinez
Secretario:	Dr. René Mac Kinney Romero
Vocal:	M. en C. Agustín Suarez Fernández
Vocal:	M. en C. Omar Lucio Cabrera Jiménez

México CDMX. a 6 de Diciembre del 2018.

Resumen

En los últimos años, el desarrollo de la robótica ha generado una nueva disciplina conocida como robótica pedagógica cuyo propósito es generar conocimientos a través de la interacción entre el estudiante y un robot para que el proceso de aprendizaje se vea reforzado.

En la Universidad Autónoma Metropolitana, alumnos de las licenciaturas en Ing. Electrónica, Ing. Computación y Ing. Biomédica, tienen el interés de trabajar con prototipos Robóticos para contribuir con los conocimientos de cada carrera en resolver problemáticas de nuestra sociedad. El desarrollar un proyecto de Robótica requiere conocimientos de las áreas de Mecánica, Matemáticas, Electrónica, Computación, etc., esto hace que a un estudiante interesado le cueste trabajo involucrarse, debido a que el tiempo necesario para adquirir los conocimientos para manipular un robot puede ser largo y es la principal razón por la que no alcancen los objetivos en el tiempo esperado.

Uno de los objetivos en este trabajo es diseñar y construir un robot (educativo), con el cual los estudiantes de diferentes carreras, interesados en el tema de la robótica, puedan participar aportando los conocimientos de su área de estudio al máximo, sin importar su grado de conocimiento en otras áreas. Para esto el diseño del robot se basa en una estructura modular donde cada módulo es independiente a los demás. Además, el prototipo Bípedo que diseñamos cumple las características de ser considerado un robot Humanoide por la IEEE, lo que garantiza poder participar en competencias a nivel mundial avaladas por el Instituto como la Robot Cup.

El impacto social que abordamos es la difusión de las Ciencias y Tecnologías con la participación en diferentes exposiciones, congresos y visitas a escuelas. Acercando nuestro trabajo a nuevas generaciones, dejando al público una semilla de interés por la robótica. Al

mismo tiempo llevamos el nombre de nuestra Universidad como una opción para cursar los estudios profesionales.

La aplicación del robot bípedo es colaborar en la terapia de movimientos motrices para niños con autismo. El autismo es un trastorno del desarrollo. Afecta a la comunicación, imaginación, planificación y reciprocidad emocional. Los síntomas, en general, son la incapacidad de interacción social, el aislamiento y las estereotipias (movimientos incontrolados de alguna extremidad). Los niños con autismo presentan habilidades específicas, como armar o desarmar bloques o aparatos mecánicos con circuitos complejos para sus edades, habilidades musicales y pictóricas y pueden tener excelente memoria fotográfica. Dentro de las terapias que se realizan con los niños con autismo se encuentran los movimientos aeróbicos para estimular el control sobre sus extremidades. Diferentes Instituciones de investigación han experimentado con robots NAO para obtener mejores resultados (atención de los niños). Nuestro robot Bípedo puede reproducir las rutinas que se han probado en el robot NAO con la ventaja de ser un robot de bajo costo.

El resultado de este proyecto es un robot bípedo pensado para adaptarse a propósitos específicos de diferentes líneas de investigación, además de ser un robot de arquitectura abierta tanto en hardware como en software, escalable a sistemas más complejos en cada parte del diseño.

Agradecimientos

Agradezco y dedico esta tesis a mi familia ya que son el motor de mi vida; a mi hijo Alejandro Miguel, por ser quien me da la fuerza para alcanzar nuevas metas.

A mis padres, por su comprensión y paciencia, y por darme la oportunidad de continuar mis estudios, a mi hermana Ana Patricia, por el apoyo para concluir este proyecto, a mi hermano Alfredo, por ser un ejemplo de perseverancia.

Agradezco a mis asesores; al M. en C. Omar Lucio, por transmitir su conocimiento y experiencia profesional, por generar un equipo de trabajo inigualable, y por guiar esta investigación hasta el final, pero sobre todo por los años de amistad y confianza, al Dr. René Mac Kinney Romero por haber confiado en mis capacidades académicas y creer en el proyecto.

A los sinodales; A el Dr. David González Maxinez y al M. en C. Agustín Suárez Fernández, por el tiempo dedicado a la revisión del proyecto.

A los profesores del PCyTI por contribuir a mi formación académica durante la estancia en este posgrado.

A la Universidad Autónoma Metropolitana por ser mí casa de estudios durante en este posgrado y al CONACyT por aportar los recursos económicos que me hicieron posible llegar hasta aquí.

Objetivos generales

- Diseñar y construir un prototipo pedagógico robótico, con el cual, se espera divulgar la ciencia y la tecnología que impacte directamente a la vinculación entre la U.A.M.-I. y la sociedad y que sea una herramienta que pueda ser utilizada en las áreas de investigación del posgrado y de las licenciaturas del Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Acondicionar el robot bípedo para reproducir rutinas de movimientos utilizadas en terapias con niños con autismo.

Objetivos particulares.

- Exponer las características de los robots bípedos que existen en diversos centros académicos de investigación y en la industria.
- Diseñar y construir un robot bípedo que sea reproducible con piezas de tamaño estándar, con una morfología que contenga las articulaciones más importantes para emular el movimiento del ser humano.
- Proponer un diseño que separe los temas que se estudian en la ingeniería electrónica de los temas estudiados en la ingeniería de computación.
- Implementar un control para el robot por medio de una aplicación, sobre un sistema operativo Android.
- Establecer una arquitectura abierta, tanto en software como en hardware.
- Divulgar los resultados del proyecto en diferentes foros.

Contenido

<i>Resumen</i>	I
<i>Agradecimientos</i>	III
Objetivos generales.....	IV
Objetivos particulares.....	IV
Capítulo 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Estado del Arte	3
1.2.1 Robótica	4
1.2.2 Robot Ludovico	6
1.2.3 Robot ASIMO.....	7
1.2.4 Robots WowWee	8
1.2.5 Robot Bioloid.....	9
1.2.6 Robots Mindstorms.....	10
1.2.7 Robot NAO.....	11
1.3 Locomoción humana	12
1.4 Planteamiento del problema	14
1.5 Justificación	14
1.7 Restricciones y limitaciones	15
1.8 Método del proyecto	17
1.9 Puesta en funcionamiento del robot bípedo	19
Capítulo 2	21
SISTEMA MECÁNICO	21
2.1 Asignación de grados de libertad	22
2.1.1 Articulaciones del robot	22
2.1.2 Movimiento de las articulaciones	24

2.2 Asignación de actuadores	26
2.2.1 Tipos de actuadores	26
2.2.2 Motores eléctricos	28
2.2.3 Servomotores	29
2.3 Material de fabricación	30
2.3.1 Estudio de materiales.....	31
2. 3.2 Bracket para servomotor	33
2.4 Diseño del Robot	35
2.4.1 Tamaño del diseño	35
2.4.2 Apariencia del diseño	36
2.4.3 Arquitectura mecánica del robot	39
Capítulo 3	42
SISTEMA ELECTRÓNICO	42
3.1 Entrada del sistema	43
3.1.1 Sensores propioceptivos	44
3.1.2 Acelerómetro	45
3.1.3 Sensores exteroceptivos	47
3.1.4 Sensor Ultrasónico	47
3.1.5 Receptor bluetooth	48
3.2 Electrónica de Procesamiento de la Información	50
3.2.1Arquitectura del sistema de procesamiento.....	50
3.2.2 Módulo de procesamiento de información	52
3.2.3 Tarjeta de desarrollo Arduino UNO	53
3.2.4 Modulación de señales.....	55
3.2.5 Tarjeta de desarrollo Mini-maestro 24	55
3.3 Salida del Sistema Electrónico	57
3.3.1 Modulación por ancho de pulso.....	57
3.4 Red de potencia	58
3.4.1 Fuente de alimentación	59
3.4.2 Regulador de potencia	60

3.4 Diagrama general	62
Capítulo 4	63
SISTEMA DE CONTROL	63
4.1 Sistema de control general	64
4.2 Adquisición de Información	65
4.2.1 Información de Inclinación.....	65
4.2.2 Información de obstáculos.....	66
4.3 Aplicación android UAMITO 2.0.	66
4.3.1 Diseño de la interfaz.....	67
4.3.2 Lógica de la aplicación.....	69
4.4 Procesamiento de instrucción	70
4.4.1 Estructura de algoritmo de procesamiento de información.....	71
4.4.2 Algoritmo UAMITO 2.0.a	73
4.5 Ejecución de la instrucción	75
Resultados, Conclusiones y Trabajo futuro.....	77
5.1 Caracterización del robot Bípedo	78
5.1.1 Cotización de materiales de cada robot.....	79
5.2 Robot bípedo como una herramienta pedagógica en la UAM-i	81
5.2.1 Difusión de la Ciencia y la Tecnología	83
5.3 Rutinas de movimientos que ayudan a niños con autismo	84
5.4 Trabajo futuro	86
5.5 Conclusiones	86
Bibliografía	88

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta una visión general de la robótica con un enfoque a la emulación antropomórfica. Se muestra una recopilación de algunos proyectos de robots humanoides y sus características. También se estudian las bases de la locomoción humana, que se utilizarán en capítulos posteriores para el diseño del robot. Se identifica el problema general a desarrollar a lo largo de este trabajo. Se plantean los objetivos y las limitaciones consideradas para lograr los resultados esperados. Por último definiremos el esquema global de la metodología para la construcción de un robot bípedo y una aplicación en relación a los niños con autismo.

1.1 Antecedentes

La robótica forma parte de nuestra vida cotidiana. Muchas aplicaciones que hace décadas se consideraban imposibles de realizar por un sistema robótico ahora son una realidad. Actualmente se están desarrollando métodos de programación en los robots, que tienden a emular las actividades humanas tales como caminar, tomar objetos y tomar decisiones en diversas circunstancias, mostrando habilidades dotadas de cierta inteligencia.

En la industria, los robots se emplean para elaborar trabajos de pintura, soldadura, ensamble de piezas, etc. En el área espacial por ejemplo recolección de muestras, exploración de terrenos y para labores de mantenimiento de las estaciones espaciales. En el área de la agricultura se usan en la inspección y recolección en los campos de cultivo. En medicina se dispone de dispositivos para ayudar a personas con capacidades diferentes y para transporte de medicamentos. En el área de la química se dedican a el manejo de reactivos peligrosos. Así en cada área de investigación la robótica juega un papel importante en la actualidad.

Los robots entraron a los hogares elaborando trabajos muy sencillos como barrer, aspirar alfombras y cortar el césped; algunos poseen capacidad de interpretar un conjunto limitado de instrucciones por medio de voz y obedecerlas fielmente, hasta compiten con las mascotas hogareñas. En fin, sus aplicaciones son casi ilimitadas.

En la academia, la investigación del diseño y construcción de robot tienen un papel importante en las ciencias y las tecnologías. A lo largo de la historia la experimentación con los sistemas robóticos arrojan resultados importantes que contribuyen a la innovación de la robótica. Por ello, es importante fomentar el acercamiento con la ciencia y la tecnología desde una perspectiva práctica.

En la U.A.M.-I. se trabaja con diferentes proyectos de robótica, cada proyecto con un fin específico. En particular nos interesa colaborar en la vinculación entre el departamento de Ingeniería Eléctrica y la sociedad (en especial con alumnos a nivel básico y medio

superior). El M. en C. Omar Lucio Cabrera Jiménez profesor de la U.A.M.-I. promueve la participación de estudiantes de diferentes carreras del departamento de ingeniería eléctrica en proyectos directamente relacionados con la robótica. Uno de los proyectos que cumple con el objetivo de integrar alumnos en un trabajo multidisciplinario es el robot “LUDOVICO”, del que se hablará posteriormente.

1.2 Estado del Arte

Hoy en día la implementación de algoritmos de Inteligencia Artificial ha provocado el interés de desarrollar robots humanoides tanto en el ámbito de investigación científica como en las empresas de innovación tecnológica. Esto generó que alrededor del mundo se tengan gran variedad de modelos de robots que buscan resolver tareas específicas. Existen sitios web que tienen registros de humanoides [1], [2], donde se puede consultar los robots que destacan por sus aportaciones científicas y por su infraestructura que los respalda.

En el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), en el año de 2010 se realizó una investigación que se enfoca en el estudio de la marcha dinámica de un robot bípedo [3]. Aborda los problemas que surgen en el diseño de prototipos bípedos y propone un modelo matemático para simular la marcha dinámica y evitar fallas en la implementación.

Con la intención de dar un panorama general de lo que es la robótica y sus aplicaciones, se realizó un listado de algunos proyectos que fueron elegidos ya sea por que aportaron ideas para la realización de este trabajo o por tener gran presencia en el mercado.

1.2.1 Robótica

La palabra robot proviene de la palabra checa robota, que significa “servidumbre” o “trabajo forzado”. La cual aparece en la obra de teatro “Rossum’s Universal Robot”, escrita por Karel Capek en 1921 [4].

La Asociación de la Industria Robótica Americana (1985), define un robot como “*un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para manipular materiales, partes, herramientas, o dispositivos especializados mediante movimientos variables programados para la realización de una variedad de tareas*”.

El conocido divulgador científico estadounidense de origen ruso, Isaac Asimov, contribuyó en gran medida al establecimiento del término robot. En su relato de ciencia-ficción de Runaround, publicado en 1942, se utilizó por primera vez la palabra “Robótica”, tema que consideró en varias de sus novelas, introduciendo las tres famosas Leyes de la robótica:

- Un robot no puede dañar a un ser humano o, por omisión de acciones, permitir que sufra algún daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes de los seres humanos, excepto cuando tales órdenes entren en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, salvo cuando dicha protección entre en contradicción con las dos anteriores.

Una cuarta ley, conocida como Ley Cero, publicada en Robots e Imperio (1985) es una extrapolación de las anteriores: un robot no debe perjudicar a la humanidad o por omisión de acciones, permitir que la humanidad sufra algún daño.

Clasificar los diferentes tipos de robots que existen resulta una tarea difícil debido a la multitud de parámetros sobre los que se puede juzgar una clasificación. Se propuso, basarse en la Morfología de los robots. Se pueden clasificar en robot industrial o manipulador, robots móviles y androides o humanoides.

Un robot bípedo cae en la clasificación de humanoide y se caracteriza por disponer de dos extremidades para realizar desplazamientos. Dentro de este tipo de robots hay una segunda clasificación:

- Estáticos: Los que poseen un sistema de locomoción basada en dos extremidades y debe interrumpir su avance al andar para asegurar que siga en equilibrio.
- Dinámico: Este subtipo de robot tiene un sistema de locomoción que le permite desplazarse sin recurrir a la necesidad de interrumpir su avance, por ver perjudicada su estabilidad en el movimiento.

La construcción de robots bípedos y humanoides (robot con apariencia humana), no es una novedad en el ramo científico, incluso empresas han mostrado su interés en la implementación de mecanismos humanoides, tal es el caso de Honda al construir el robot ASIMO [5]. En el diseño de un robot siempre es importante revisar el trabajo anterior de los proyectos similares y destacar las características que se desean implementar, por ello, se realizó una breve investigación entre varios robot que existen tanto en empresas como en la academia.

Para encontrar antecedentes históricos de la robótica nos podemos remontar hasta Herón de Alejandría (100 D.C.), quien tenía en mente la construcción de dispositivos basados en poleas y palancas. A mediados del siglo XVIII aparecen varios autómatas en forma de androides con fines puramente recreativos. Sin embargo, la lista de prototipos construidos a lo largo de la historia es inmensa, alrededor del mundo se reportan cerca de 20 millones de máquinas bípedas caminantes e incluso capaces de correr [6].

1.2.2 Robot Ludovico

En la U.A.M.-I., se diseñó un robot antropomórfico denominado “LUDOVICO”, que combina movimientos en cabeza, brazos y desplazamiento de sí mismo. El objetivo fue crear un robot de medidas semejantes a un humano adulto, que a través del tiempo tuviera sistemas de control y motrices más robustos, con el trabajo de alumnos principalmente de la Licenciatura de Computación y la Licenciatura en Ingeniería Electrónica. Una de las limitaciones que se observa en este prototipo es la falta de gdl (grados de libertad), que son los puntos donde el robot tiene movimiento, usualmente corresponde al número de actuadores que tiene la estructura. Ludovico cuenta con 2 gdl para mover la cabeza, 2 gdl en los brazos y 2 gdl para desplazarse.



Figura 1.1: Robot LUDOVICO de la U.A.M.-I. A la Izquierda versión 1.0, a la derecha versión 2.0.

1.2.3 Robot ASIMO

Uno de los robots bípedos con mayor proyección comercial es ASIMO de la empresa Honda. Tiene 1.2 mts. de altura y un peso aproximado de 52 kg. A diferencia de un robot construido en alguna institución académica, ASIMO cuenta con una infraestructura impresionante que lo respalda. El robot ASIMO tiene 24 grados de libertad, 5 gdl en cada brazo, 1 en cada mano y 6 por cada pierna. Los 6 grados de libertad se distribuyen para emular tobillo, rodilla y cadera. ASIMO es controlado por una unidad de procesamiento que carga en su espalda, cuenta con una amplia gama de sensores e incluso es capaz de reconocer habla japonesa. Este prototipo tiene la limitante de tener un alto costo, ya que una copia fiel llegaría a costar un millón de dólares sin contar los 300 millones de dólares invertidos en la investigación.



Figura 1.2: Robot humanoide ASIMO de Honda [7].

1.2.4 Robots WowWee

Debido al elevado costo que genera tener robots humanoides de alta tecnología, algunas empresas de robótica diseñaron modelos a un menor precio, los cuales son accesibles para diversas universidades y aficionados a la robótica. Estos robots tienen limitaciones en sus movimientos debido a que las articulaciones del robot tienen poca libertad, así como en la fuerza de sus motores y la robustez de sus sensores. Sin embargo, contienen lo necesario para realizar investigación en cuanto al desarrollo del control del desplazamiento.

WowWee es un ejemplo de empresa que se ha dedicado a la fabricación de humanoides de bajo costo, uno de sus ejemplares es el “Robosapien” (Figura 1.3). El robot permite tener un caminado pasivo y la estructura permite una gran estabilidad ya que tiene pies grandes respecto a su cuerpo. Tiene una altura de 34 cm. y pesa 2.1 kg. Utiliza motores de CD como actuadores y sistemas independientes de posición en cada gdl. Todo su armazón es elaborado a base de plástico y la estructura implementa estratégicamente resortes que ayudan a las articulaciones en sus movimientos. En total cuenta con 7 GDL. WowWee ofrece varias versiones de su robot “Robosapien”; básicamente, cada versión ofrece nuevos tipos de sensores que proveen nuevas aplicaciones como visión infrarroja, comunicación wifi, diversos catálogos con frases pre-cargadas, etc.

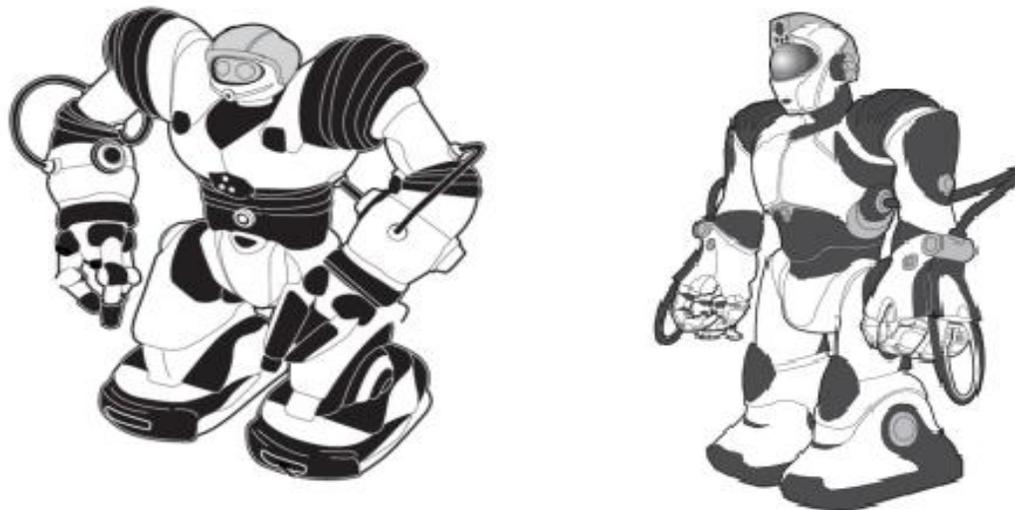


Figura 1.3: Robot recreativo Robosapien de WowWee, a la izquierda la versión 1 y a la derecha la versión 2.

1.2.5 Robot Bioloid

Otra plataforma robótica para experimentar con humanoides es construida por la compañía coreana Robotis, la cual desarrolla diversos modelos del robot llamado “Bioloid” (Figura 1.4). Las partes del robot Bioloid están ensambladas de tal manera que se pueden utilizar para modificar la morfología. Entre los diseños que se pueden ensamblar con el KIT se encuentra el de un humanoide, un perro, una araña, un tanque de guerra y un dinosaurio.

Dispone de un total de 18 servomotores AX-12A , sensores de proximidad y luminosidad hacia delante y hacia los lados, un micrófono y un pequeño altavoz.

El servomotor AX-12A es un modelo especial, con dimensiones superiores al estándar, además de contar con sensores internos de temperatura, consumo de corriente y velocidad. Cada actuador tiene un microcontrolador que entiende 50 comandos, la mayoría de los cuales leen parámetros que definen su comportamiento.

El robot está programado con RoboPlus. El código de programación está basado en el lenguaje C, el controlador que se programa es un ATmega128 a 16 MHz, de la familia de AVR de Atmel.



Figura 1.4: Robot Bioloid de Robotis.

1.2.6 Robots Mindstorms

Lego Mindstorms es una línea de robots para niños fabricado por la empresa LEGO, que posee elementos básicos de las teorías robóticas, mecanismos que se pueden ensamblar de diferentes maneras y la programación de acciones en forma interactiva. En el mercado se presenta como un Sistema de Invención Robotizado. También se vende como herramienta educativa (Figura 1.5).

De la colaboración de la empresa LEGO y el Instituto tecnológico de Massachusetts se logró la construcción de un sistema integrado de desarrollo para la educación llamado “*MindstormsforSchools*”. Que hasta el momento cuenta con tres generaciones, que son separadas por bloques; el RCX, el NXT y el EV3.

Robolab es la herramienta gráfica de programación que tradicionalmente se ha utilizado con los sistemas de robótica basados en Lego RCX. Robolab está escrito en LabVIEW (es un lenguaje de programación gráfica de la empresa National Instruments, ampliamente difundido en el mundo científico y tecnológico) mediante un acuerdo entre National Instruments, la Universidad de Tufts y la empresa Lego.



Figura 1.5: Robot Mindstors de LEGO.

1.2.7 Robot NAO

NAO es un robot humanoide que se creó en el año 2008, desarrollado por la empresa Softbank Robotics. A lo largo de estos años existen 5 versiones del robot NAO, la última llamada evolution v5.

Dentro de sus características el robot es capaz de interactuar de forma natural, con todo tipo de público. Escucha, ve, habla y se relaciona con el medio según se le haya programado.

NAO es capaz de percibir el entorno a partir de sus múltiples sensores, entre los cuales se encuentran dos cámaras, cuatro micrófonos, nueve sensores táctiles, dos sensores de ultrasonidos, 8 sensores de presión, un acelerómetro y un giróscopo. 53 LEDs RGB, su sintetizador de voz que lo hacen ser un robot versátil para implementarse en diferentes tareas. Incluye un software gráfico de programación llamado Choregraphe, que permite programarlo sin tener conocimientos de un lenguaje programación. Y para usuarios avanzados incluye un conjunto completo para desarrollo de software, que permite usar distintos lenguajes como C++, Python, JAVA, .NET y MATLAB.



1.6: Robot NAO de Softbank Robotics.

1.3 Locomoción humana

El conocimiento de la locomoción humana es el principio del diseño de estructuras mecánicas de robots bípedos, especialmente cuando se trata de emular movimientos del ser humano [8].

La locomoción humana se ha descrito como una serie de movimientos alternantes, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento con respecto al centro de gravedad. Aunque se pueden describir en general, los movimientos para obtener un desplazamiento, existen diferencias en la forma de la marcha de cada individuo.

Se puede analizar el ciclo de la marcha desde que el pie contacta con el suelo y termina con el contacto con el suelo del mismo pie. Existen dos componentes del ciclo de la marcha que son: la fase de apoyo y la fase de balanceo que se pueden ver en la Figura 1.7. Cuando la pierna está en fase de apoyo es porque está en contacto con el suelo y cuando lo despega se encuentra en fase de balanceo.

La distancia lineal entre un punto de contacto del pie y el punto de contacto después de dar una zancada se conoce como longitud del paso y es fundamental en los cálculos de velocidad y aceleración que se pueden desarrollar en el ciclo de la marcha.

“El control de un robot involucra tener asegurados todos los gdl. Utilizando motores y estructuras rígidas pueden realizar rutinas preestablecidas y emular un movimiento parecido al de los seres humanos” [9]. Esta aproximación puede ser utilizada como punto de partida en la construcción y control de robots bípedos. Los bípedos son programados para caminar lentamente manteniendo su centro de masa en equilibrio por medio de los movimientos del pie al hacer contacto con el suelo, este principio se le conoce como ZMP (Zero MomentPoint).

El ZMP es un concepto muy importante en la planificación de los robots bípedos. Debido a que tienen sólo dos puntos de contacto con el suelo. El movimiento tiene que ser planificado en relación con la estabilidad dinámica de todo su cuerpo [10]. Los movimientos involucrados para reproducir la marcha humana no son sencillos, sobre todo porque la parte superior del cuerpo del robot (torso) tiene mayor masa. La inercia de las piernas deben apoyar y mover el robot en rutinas repetitivas, esto puede ser comparado con el problema de equilibrio de un péndulo invertido.

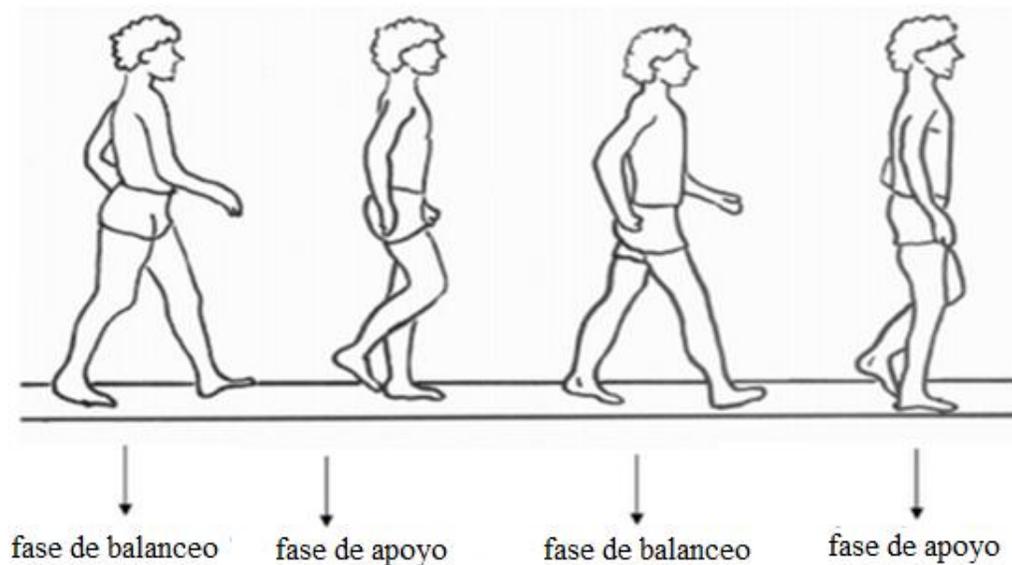


Figura 1.7: Sub-clasificaciones del ciclo de la marcha humana [11].

1.4 Planteamiento del problema

La construcción de un robot bípedo con una estructura en la cual pueden ser implementados algoritmos de emulación de la conducta y capacidades humanas, es parte de una solución para resolver la problemática de aplicación donde se requiera un robot bípedo o alguna de sus partes mecánicas (ej. brazos, torso, cabeza, etc.).

Los investigadores y estudiantes pueden adquirir una gran cantidad de conocimientos de las disciplinas relacionadas con el diseño, la construcción y la programación de los mecanismos robóticos tales como la mecánica, la electrónica y la computación, además estos mecanismos son puestos a funcionar para apoyar la enseñanza de conceptos de diversas disciplinas en el área de las tecnologías de la información.

Actualmente en la Universidad Autónoma Metropolitana existen diversos proyectos de Ing. biomédica, redes de comunicaciones, inteligencia artificial, etc. que no pueden llegar a ser probados en prototipos a nivel físico.

Existen trabajos con robots humanoides que complementan las terapias con niños que padecen algún trastorno del espectro autista, pero son pocos los investigadores que se dedican al estudio del tema y una de las grandes dificultades es el costo de los robots que utilizan para la práctica. Nuestro diseño pretende contribuir con una herramienta para seguir desarrollando el estudio de la interacción de los robots y los niños con autismo.

1.5 Justificación

Ludovico es un robot diseñado y construido en la U.A.M-I., que ha servido como plataforma de divulgación de las carreras impartidas dentro de la institución, utilizado también para las pruebas de diversos trabajos de investigación en diferentes áreas tecnológicas. Sin embargo, desde su creación en los años 90's, no se ha elaborado una

planeación de renovación del prototipo, por otra parte para trasladar el robot se requiere formar un grupo de trabajo el cual se encarga de diferentes tareas que requiere el prototipo, esto implica que cada salida de “Ludovico” a otra institución sea programada con anticipación. Es por ello que se propone una metodología de desarrollo, donde se elabora un prototipo robótico que se adapte a las necesidades que se tienen hoy en día en la U.A.M.-I. Además de abrir una nueva área de estudio con las terapias de los niños autistas apoyados con robots.

1.7 Restricciones y limitaciones

Para realizar la administración de un proyecto se considera la relación entre el tiempo dedicado a la realización con los alcances y el presupuesto asignado, que por lo general produce una calidad de acuerdo a la proporción de las otras áreas.

El concepto básico que todo administrador de proyectos debe manejar es el referente al triángulo de administración de proyectos como se puede apreciar en la figura 1.8. Se trata de tener muy claro desde un principio cuál es el alcance del proyecto, el tiempo requerido y el presupuesto necesario para completarlo.

Son los tres parámetros básicos con los que se tendrá que lidiar en este proyecto y que, al final, determinarán en gran medida si el proyecto fue exitoso.

En este proyecto el tiempo de realización es de 12 meses, que es el tiempo planeado que abarca una investigación en la Maestría de Ciencias y Tecnologías de la Información. El presupuesto estimado en adquisición de materiales es de \$ 20,000.00 MXN, esta cantidad puede ser variable dependiendo del proveedor. El alcance esperado es cubrir los objetivos en su totalidad.

Las limitaciones de este proyecto son las siguientes:

Estabilidad: En este trabajo no se aborda el tema de la estabilidad, debido a que se tiene que hacer un análisis de equilibrio que no está comprendido para este alcance.

Esquema mecánico: El robot se encuentra en una primera versión en cuanto al diseño mecánico, quiere decir que el diseño puede cambiar en versiones posteriores para optimizar los movimientos que se pueden ejecutar.

Esquema electrónico: En la parte de sensores sólo se estudian los necesarios para lograr movimientos básicos del robot. Dejando muy limitado la parte de auto control del robot.

Esquema de control: El robot no cuenta con un lazo de control cerrado, por lo que está limitado a un ciclo de marcha sin control. Se han realizado estudios [13] para aplicar un control pero aún están en etapa de desarrollo.

Movimientos: Los movimientos del robot no tienen un análisis de continuidad, por lo tanto el robot realiza movimientos de forma abrupta.



Figura 1.8: Triángulo de administración de proyectos [12].

1.8 Método del proyecto

La esencia de este trabajo es desarrollar una estrategia que facilite la comprensión del diseño, de la construcción y de la manipulación de un prototipo robótico. Generalmente los robots son diseñados y construidos por ingenieros en robótica, sin embargo los robots se utilizan en diversas áreas que no necesariamente tienen que ver con esta disciplina. En particular en la U.A.M.-I., no existe una carrera que contenga explícitamente temas de robótica, pero existe un gran interés por construir robots para evaluar diferentes trabajos realizados en las carreras de Ing. Electrónica, Ing. Biomédica y Ing. Computación.

Los robots se construyen en un tiempo cada vez más corto y con características mejores. Diseñar y ensamblar los mecanismos robóticos involucra dos aspectos fundamentales: mantener un movimiento preciso y responder a una secuencia de instrucciones determinadas, es decir, un programa. Para ello se siguen diferentes estrategias. En especial queremos explotar las habilidades de cada estudiante en su área de estudio un mismo proyecto. Partimos del aporte de Joseph Marie Jacquard [14] con la idea de separar la parte mecánica (hardware) de la parte de la realización de un programa de control (software). Aplicando los mismos conceptos pero de una forma extendida, proponemos separar el proyecto en tres bloques:

- **Bloque de mecánica.** Este bloque tiene la tarea de configurar diferentes piezas entre los actuadores, para generar un movimiento específico y a la vez lograr la morfología deseada, tomando en cuenta la posición de todos los elementos involucrados como la batería, tarjetas electrónicas y cableado, por mencionar algunos.
- **Bloque de electrónica.** En este bloque se buscarán los componentes más adecuados para hacer funcionar los actuadores, desde la parte de suministro y control de energía, las tarjetas de procesamiento de señales, sensores, etc. Siempre procurando que acoplar los componentes sea tan sencillo como sea posible.

- **Bloque de control.** El cerebro del robot, para hacer una analogía al ser humano. En esta parte se programan las instrucciones que van a ser ejecutadas por el robot. Realiza el ordenamiento y procesamiento de los datos provenientes de sensores y del sistema de control manual.

Separando en tres sistemas se pretende que alumnos de biomédica, electrónica y computación utilicen de mejor forma sus habilidades para contribuir en la construcción y puesta en funcionamiento de un robot.

El desarrollo de cada bloque utilizó el método científico, que es un procedimiento para alcanzar un objetivo, por medio de la hipótesis, experimentación y observación. En el desarrollo del sistema mecánico se hará un estudio previo de análisis para dar las mejores soluciones a nuestro problema tomando en cuenta todos los requerimientos importantes. Se continuará con diseño de prototipo. Una vez que el diseño cumple los requerimientos, se ensamblan los componentes del prototipo. Finalmente se realizan las pruebas pertinentes. Si se detecta un error, se replantea el proceso desde el análisis y se repiten los pasos en cada uno de los bloques. En la Figura 1.9 se muestra el diagrama a bloques que indica la forma que toma nuestra propuesta para realizar la construcción total de un robot bípedo.

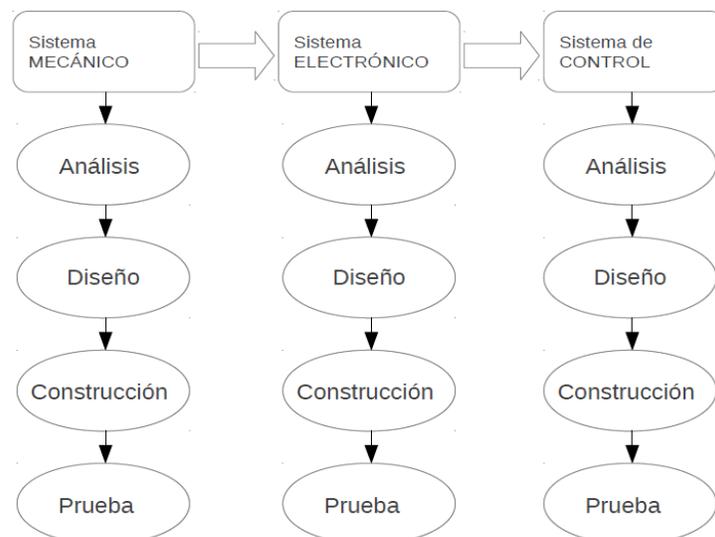


Figura 1.9: Diagrama a bloques de la metodología de desarrollo de un robot bípedo.

1.9 Puesta en funcionamiento del robot bípedo

Durante el desarrollo del proyecto se participará en diferentes foros de divulgación de la Ciencia y la Tecnología, se elaborarán presentaciones donde se invite al público a participar en proyectos de robótica. Se trabajará con alumnos de la universidad para lograr hacer proyectos terminales o Servicios sociales en conjunto con este proyecto.

Un área de aplicación para el robot bípedo está en ayudar a terapeutas que trabajan con niños con autismo. El autismo es un trastorno del desarrollo. Afecta a la comunicación, imaginación, planificación y reciprocidad emocional. Los síntomas, en general, son la incapacidad de interacción social, el aislamiento y las estereotipias (movimientos incontrolados de alguna extremidad). Los niños con autismo presentan habilidades específicas, como armar o desarmar bloques o aparatos mecánicos con circuitos complejos para sus edades, habilidades musicales y pictóricas y pueden tener excelente memoria fotográfica. Dentro de las terapias que se realizan con los niños con autismo se encuentran los movimientos aeróbicos para estimular el control sobre sus extremidades. Estas necesidades, limitaciones y habilidades si las conjuntamos podemos decir que un niño con autismo necesita tener terapias de movimientos de sus extremidades pero existe la problemática de no tener empatía con un ser humano extraño lo que dificulta que el niño preste atención a las rutinas, por otra parte las habilidades nos dicen que tiene un gran agrado por los robots por que tienen la ventaja de considerar predecibles sus movimientos en comparación a un ser humano, por lo tanto, un robot que reproduzca los movimientos se espera que llame más la atención del niño y que la terapia obtenga mejores resultados.

En la Conferencia anual 2017 para la investigación básica y aplicada de la interacción entre humanos y robots, los japoneses Ryo Suzuki , Jaeryoung Lee y el estadounidense Ognjen (Oggi) Rudovic , presentaron el artículo “NAO-Dance Therapy for Children with ASD” [15] ,donde muestran que la hipótesis de trabajar por medio de robot con un niño con autismo presenta mejores resultados en comparación con el trabajo desempeñado por un ser

humano, sin embargo no se pretende sustituir al terapeuta, lo que se quiere brindar es un apoyo para el desarrollo de terapias en el sistema motriz de los niños.

Al final de la construcción del robot bípedo se acondicionarán los movimientos y las medidas de seguridad para emular los movimientos que se trabajan en una terapia motriz.

Se pondrá en funcionamiento todo el sistema en los diferentes foros de divulgación que se participe haciendo pruebas piloto y ajustando para ser utilizado en campo por un terapeuta.

Otra de las secuencias que se probarán es que el robot le enseñe al niño las partes del cuerpo, en especial se trata que el robot muestre la ubicación de la cabeza, las manos y los pies.

Capítulo 2

SISTEMA MECÁNICO

En este capítulo se desarrolla el esquema mecánico. Se elige la cantidad de gdl que tiene el robot que se propone para alcanzar los objetivos. En especial se busca que el diseño sea fácil de reproducir (la forma de la estructura y materiales).

La estrategia para diseñar la estructura mecánica inicia con el estudio de las articulaciones del cuerpo humano que se quieren representar. Posteriormente se elige el tipo de actuador que moverá las articulaciones. Se comparan las características de diferentes materiales utilizados en la robótica para unir los actuadores. Por último se muestra el diseño general del robot.

2.1 Asignación de grados de libertad

Cada movimiento independiente que puede realizar una articulación con respecto a la anterior se denomina gdl (grado de libertad). El número total de gdl del robot viene dado por la suma de movimientos independientes que la estructura pueda realizar.

Mecánicamente un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre dos eslabones consecutivos.

Para determinar cuántos gdl tendrá el robot, primero se tiene que decidir qué articulaciones del cuerpo humano se representarán, después qué tipo movimiento realiza la articulación para saber con cuántos actuadores se puede representar y con ello se obtienen los gdl.

2.1.1 Articulaciones del robot

El punto de partida, es crear una idea de la morfología que adoptará el robot. Para ello nos apoyamos en la estructura del sistema óseo del cuerpo humano de la Figura 2.1. Se identificaron las articulaciones que unen los huesos más prolongados y que otorgan un mecanismo apropiado para ejercer movimientos similares al ser humano. Para el proyecto se identificaron siete puntos: cuello, hombro, codo, cadera, muñeca, rodilla y tobillo.

Partiendo que el torso es el bloque que une las extremidades del cuerpo (cabeza, brazos, piernas), se tienen las primeras articulaciones que emulará nuestro robot. Posteriormente se analiza cada extremidad. La cabeza cuenta con una articulación correspondiente a la unión con el torso (cuello). Cada brazo tendrá tres articulaciones correspondientes al hombro, codo y muñeca. En cada extremidad inferior se contará con tres articulaciones correspondientes a la cadera, rodilla y tobillo.

En total, el robot contará con 13 articulaciones. Cabe recordar que una articulación puede tener uno o más gdl dependiendo el movimiento que realiza, sin embargo en este trabajo se limita el número de gdl en cada articulación.

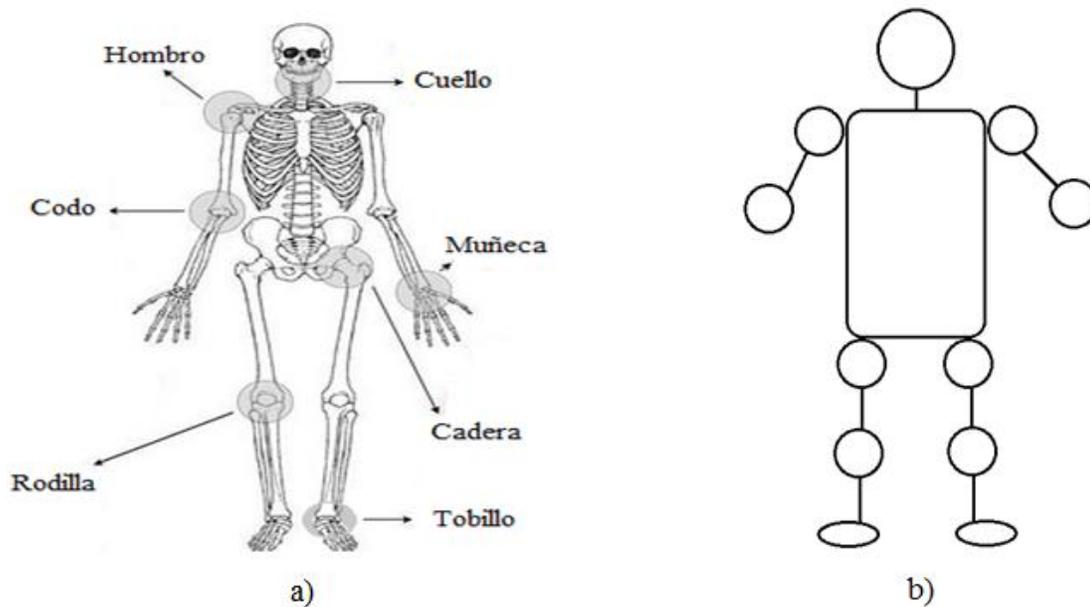


Figura 2.1: a) Sistema óseo del cuerpo humano, b) Primera aproximación robot bípedo

Teniendo identificadas las articulaciones, elaboramos un boceto (Figura 2.1) de la morfología que se pretende construir. Con la realización del boceto tenemos nuestro plano guía en la construcción del mecanismo robótico. La primera aproximación del diseño carece de dimensiones, así como de una tarea definida para cada una de sus partes, sin embargo obtenemos la visualización de una idea concreta de lo que será el diseño final del robot. A esta aproximación se le conoce como modelo plano del robot.

2.1.2 Movimiento de las articulaciones

En esta parte se describen los grados de libertad de cada articulación del robot.

El cuello contará con dos movimientos. La cabeza podrá moverse de forma vertical y de forma horizontal. Para el cuello se asignan 2 gdl (ϕ_1 y ϕ_2).

El hombro contará con 1 gdl. El hombro podrá moverse sólo de forma horizontal (hombro1 ϕ_3 y hombro2 ϕ_4).

El codo contará con 1 gdl. El codo podrá moverse de forma vertical (codo1 ϕ_5 y codo2 ϕ_6).

La muñeca de cada brazo contará con 1 gdl. La muñeca podrá moverse de forma vertical. (muñeca1 ϕ_7 y muñeca2 ϕ_8).

La articulación de la cadera tendrá 2 gdl para cada pierna. Con la configuración de 2 gdl por cada pierna el robot podrá tener las piernas formando un ángulo de 180 grados, así mismo podrá mover las piernas de forma horizontal (pierna1 ϕ_9 , ϕ_{10} y pierna2 ϕ_{11} , ϕ_{12}).

La rodilla tendrá 1 gdl. La rodilla solo podrá moverse de manera horizontal (rodilla1 ϕ_{13} y rodilla2 ϕ_{14}).

El tobillo contará con 2 movimientos. El tobillo es la parte fundamental de equilibrio del robot, por tal motivo se asignan 2 gdl para que pueda moverse de forma vertical como horizontal (tobillo "1" ϕ_{15} , ϕ_{16} y tobillo "2" ϕ_{17} , ϕ_{18}).

El robot contará con 18 gdl totales. La tabla 2.1 contiene el rango de movimiento de cada articulación y la Figura 2.3 muestra la ubicación de cada actuador, así como la grafica de la libertad en coordenadas polares que tiene cada actuador.

Articulación	Símbolo	Grados de movimiento
Cuello X	$\phi 1$	120° \leftrightarrow
Cuello Y	$\phi 2$	40° \downarrow
Hombro 1, 2	$\phi 3, \phi 4$	180° \downarrow
Codo 1,2	$\phi 5, \phi 6$	90° \downarrow
Muñeca 1,2	$\phi 7, \phi 8$	45° \leftrightarrow
Pierna X 1,2	$\phi 9, \phi 10$	90° \leftrightarrow
Pierna Y 1,2	$\phi 11, \phi 12$	140° \downarrow
Rodilla 1,2	$\phi 13, \phi 14$	120° \downarrow
Tobillo Y 1,2	$\phi 15, \phi 16$	80° \downarrow
Tobillo X 1,2	$\phi 17, \phi 18$	60° \leftrightarrow

Tabla 2.1 Grados de movimiento de cada articulación en coordenadas polares.

(\leftrightarrow Horizontal, \downarrow Vertical)

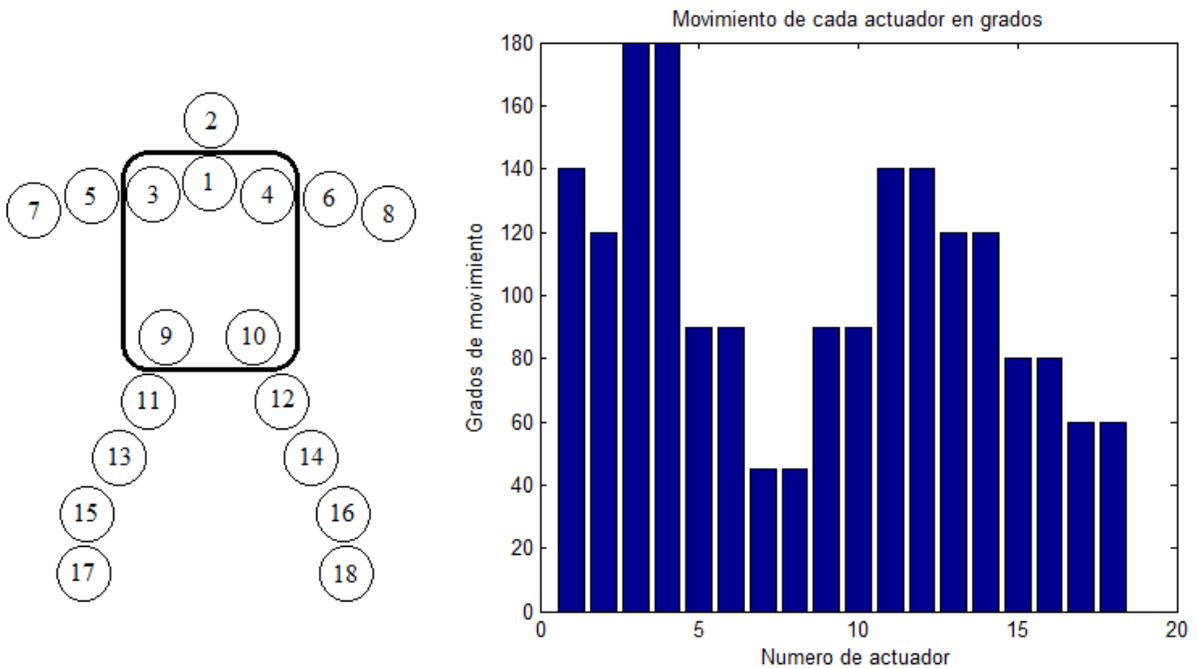


Figura 2.2: Asignación y grafica de actuadores y su movimiento.

2.2 Asignación de actuadores

Los actuadores son la base del sistema mecánico. Tienen por misión generar el movimiento de las articulaciones del robot según las órdenes que la unidad de control mande. Existen diferentes tipos de actuadores para cada trabajo en particular y se agrupan dependiendo de la fuente de energía que los alimenta. Con mayor frecuencia podemos ver sistemas robóticos alimentados de energía neumática, hidráulica o eléctrica y la elección depende de los requerimientos de nuestro sistema.

2.2.1 Tipos de actuadores

Las principales características para escoger el tipo de actuadores que se utilizarán son: potencia, control, peso, volumen, precisión, velocidad y mantenimiento. En la Tabla 2.2 se muestra la comparación entre tres tipos de actuadores de acuerdo a su alimentación de energía.

Actuador Hidráulico.

Los actuadores impulsados por la presión que genera la compresión de fluidos se les conocen como hidráulicos. Estos actuadores (que son los de mayor antigüedad) se clasifican en dos grandes grupos: El primero se distingue por los engranajes que son accionados directamente por aceite a presión, y el segundo, genera su movimiento rotatorio gracias a la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia. Los actuadores hidráulicos se emplean en trabajos donde se necesita gran cantidad de fuerza y el mantenimiento generalmente es tardado, por ello quedan descartados para el diseño de nuestro robot.

Actuador Neumático

Los actuadores que son impulsados por la presión del aire comprimido se les denominan actuadores neumáticos. Este tipo de actuador tiene la ventaja de requerir poco mantenimiento y se utilizan principalmente en lugares donde se requiere tener un control de la higiene, pero quedan descartados para nuestro proyecto porque se necesita tener conectado el actuador en todo momento a un compresor de aire.

Actuador Eléctrico

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo requieren de energía eléctrica para generar un campo magnético y generar movimiento. Existe una gran cantidad de modelos estandarizados y son fáciles de conseguir en el mercado. Además, se pueden combinar con adaptaciones de cajas reductoras para hacerlos más eficaces en proyectos de robótica. Para este tipo de actuador se necesita muy poco mantenimiento.

Tabla 2.2: Comparación de actuadores Neumáticos, Hidráulicos y Eléctricos [16].

Actuador	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Energía	-Aire a presión.	-Aceite mineral.	-Corriente eléctrica.
Opciones	-Cilindros. -Motores de paletas. -Motor de pistón.	-Cilindros. -Motor de paletas. -Motor de pistones axiales.	-Corriente continua. -Corriente alterna. -Motor a Pasos.
Ventajas	-Baratos. -Rápidos. -Robustos.	-Rápidos. -Alta relación Potencia vs Peso. -Alto torque.	-Alta precisión. -Fácil control. -Silenciosos.
Desventajas	-Dificultad de control. -Instalación especial (compresor y filtros). -Ruidosos.	-Difícil mantenimiento. -Instalación especial (filtros).	-Potencia limitada.

Existen otras características que se deben tener en cuenta para la elección de los actuadores. Partiendo de la idea que el modelo propuesto tiene que ser reproducible, se

tomó en cuenta que el actuador debe de ser comercial, es decir que se pueda adquirir fácilmente y con un costo que no sea muy elevado. De la tabla 2.2, comparando las ventajas de cada tipo de actuador, vemos que sobresalen las características de los motores eléctricos, que tienen una alta precisión y fácil control, además de ser el tipo de actuador más comercial para robots que manejan bajas potencias.

2.2.2 Motores eléctricos

Un motor es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción del campo magnético. En la figura 2.3 se muestran tres tipos de motores eléctricos que pueden ser utilizados para diseñar robots. Para los trabajos que requieren gran velocidad pero poco torque se utilizan motores de c.c. (corriente continúa) Figura 2.3.a, El motor de c.c. se compone de dos partes principales el chasis y el rotor. El chasis contiene los devanados principales, conocidos también con el nombre de polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es la parte que gira del motor, es generalmente de forma cilíndrica, tiene un devanado de cobre y un núcleo metálico. La adaptación entre una caja de engranes reductora y un motor de c.c. se conoce motor-reductor, esta adaptación reduce la velocidad del motor de c.c. pero aumenta el torque (Figura 2.3.b). Por último se muestra un motor a pasos, nombrado así porque cuenta con varios devanados (polos) internos que se pueden ir energizando uno por uno, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control. Este motor presenta las ventajas de tener alta precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan las impresoras y escáner.

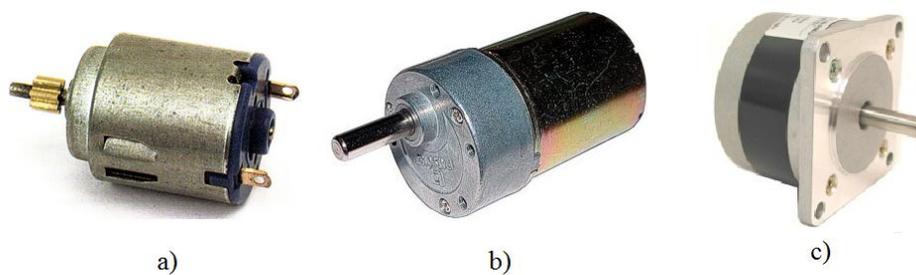


Figura 2.3: Motores eléctricos; a) Motor de c.c. b) Motor-reductor c) Motor a pasos.

2.2.3 Servomotores

Los actuadores eléctricos como un motor de c.c o un motor a pasos nos brindan las características que buscamos para nuestro diseño robótico. Se encontraron sistemas más complejos que contienen motores eléctricos pero con la capacidad de aumentar su torque reduciendo la velocidad, esto se logra a través de un mecanismo de engranes que transforma la velocidad en torque. La finalidad de utilizar un reductor es tener motores de baja potencia, por lo tanto menor tamaño y gran torque.

Un servomotor es un dispositivo pequeño que trabaja con corriente continua y tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada de la que hablamos en el capítulo 3.3.1 En la práctica, se usan servomotores para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, levas, ejes, timones etc. Los servomotores también se usan en radio control y en robots.

El servomotor se compone básicamente de tres partes; una caja reductora, una tableta con electrónica de control y el chasis. Las tres partes del servomotor aportan beneficios en este proyecto. En este capítulo se resaltan las aportaciones de la caja reductora y de las dimensiones del chasis.

Como ya se comentó un arreglo de engranes nos genera un mayor torque con respecto al motor de c.c. interno del servomotor, pero la característica que más nos interesó para el diseño del robot es el chasis del servomotor. En la figura 2.4 se muestran las dimensiones de un servomotor estándar.

Al utilizar un servomotor estándar tenemos dos ventajas, la primera es comercial, nos ofrece diferentes marcas y por consecuencia precios para elegir. La segunda ventaja es que existen piezas diseñadas para el montaje en diferentes posiciones del servomotor y que se pueden elegir de un catalogo de artículos para proyectos de robótica.

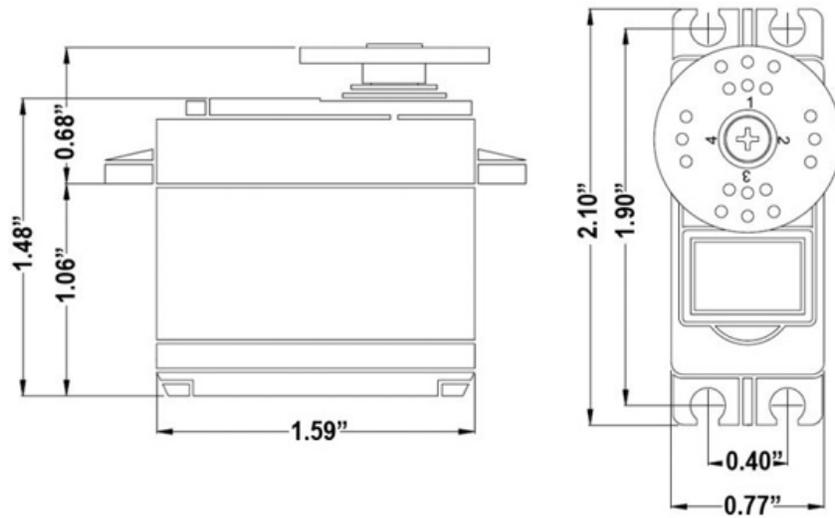


Figura 2.4: dimensiones de un servomotor estándar.

2.3 Material de fabricación

Para la fabricación de robots se emplean materiales con muy buena resistencia a la ruptura, que sean ligeros y que presenten bajo coeficiente de fricción al rozar con otras superficies. Entre los materiales que cumplen con estas características se encuentran metales como; el acero inoxidable, aleaciones de cromo-cobalto-molibdeno, aleaciones de titanio o de platino. También los polímeros plásticos de muy alta densidad como polietileno, elastómeros, polipropileno y las resinas.

En este trabajo buscamos materiales que sean fáciles de conseguir, para asegurar que el robot pueda ser reproducible. Los materiales de alto costo quedan descartados por lo que se realizó un estudio de los materiales que se utilizan con mayor frecuencia en prototipos estudiantiles. El hecho de buscar materiales económicos no quiere decir que sea el principal requerimiento ya que el robot que proponemos tiene que ser resistente para ser utilizado por futuras generaciones.

2.3.1 Estudio de materiales

Para la elaboración del prototipo bípedo se estudiaron diferentes materiales posibles para así seleccionar el más adecuado según las características mencionadas en la Tabla 2.3, donde se hace una comparación cualitativa de los materiales.

Tabla 2.3: Características de diferente materiales.

Material	Maleabilidad	Resistencia	Peso	Costo de Adquisición
Madera	Baja	Media	Bajo	Medio
Acrílico	Media	Media	Medio	Medio
Aluminio	Alta	Alta	Medio	Alto
Lámina Galvanizada	Alta	Alta	Alto	Medio
Fibra de carbono	Alta	Alta	Medio	Alto

La maleabilidad es la propiedad de un material duro de adquirir una deformación sin romperse. El elemento conocido más maleable es el oro, que se puede malear hasta láminas de una diezmilésima de milímetro de espesor. En nuestro estudio se encontró que la madera y el acrílico son poco maleables en comparación con el aluminio, lámina galvanizada y la fibra de carbono.

La resistencia de materiales se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse o deformarse. Al pretender un diseño de robot de dimensiones pequeñas, como el robot Bioloid, no se encontró ningún problema con la resistencia de los materiales investigados ya que no se manejan piezas de gran volumen, por lo tanto no se requiere demasiada fuerza.

Para comparar los 5 materiales respecto a su peso se utiliza el coeficiente de su peso específico, que es la relación entre el peso y el volumen del material. En la tabla 2.4 se reporta el peso específico de los materiales estudiados.

Tabla 2.4: Peso específico de materiales usados en proyectos de robótica [17].

Material	Peso específico [Kg./m ³]
Madera	0.5
Acrílico	1.17
Aluminio	2.58
Lámina galvanizada	7.84
Fibra de carbono	1.75

El costo en el mercado actual se determina por dos factores, la adquisición de la materia prima y el costo de la manufactura para crear las piezas necesarias. Si bien la madera es económica se tiene que pagar un costo de manufactura elevado, también es el caso del acrílico y la lámina galvanizada. En cambio existen piezas prefabricadas elaboradas a base de aluminio y fibra de carbono, donde la materia prima es de costo elevado, pero la manufactura baja de costo por el volumen de producción.

Los parámetros de búsqueda requerían de un costo no muy elevado, que el material fuera fácil de moldear con un peso lo suficientemente ligero para ahorrarle trabajo a los motores, además de la existencia del producto en el mercado local. Bajo estos parámetros la mejor opción es el aluminio, por ser fácil de moldear, es un material ligero y es uno de los materiales que se consiguen con facilidad en el mercado. Sin embargo un factor que se consideró más importante para este proyecto es la resistencia del material, dejando a un lado el costo de adquisición. Se tiene que la fibra de carbono nos brinda las propiedades que se buscan para la construcción del robot. Si se quisiera resumir en una frase el conjunto de propiedades de la fibra de carbono sería: “resistente como el acero y ligero como el aluminio”, sin duda nos da una mejor idea de lo que ofrece la fibra de carbono. En este trabajo se optó por utilizar piezas de aleación fibra de carbono dejando abierta la posibilidad de reproducir el trabajo con piezas de aluminio.

2. 3.2 Bracket para servomotor

Para conectar los actuadores y darle forma al diseño se utilizan brackets, que son bases para montar servomotores en diferentes posiciones. Los brackets están elaborados de un polímero de fibra de carbono lo que hace que sean resistentes y ligeros como se puede constatar en la Tabla 2.5, donde está reportado el peso de cada pieza.

Para construir la parte mecánica del robot, lo que se hace es aprovechar el catálogo de piezas de la casa Lynxmotion. Esta empresa se dedica a fabricar piezas para robots de propósito general. En nuestro proyecto se usaron brackets para servomotores de tamaño estándar, las especificaciones se pueden consultar en la página web de la empresa Lynxmotion [18].

Los bracket que se adquirieron para el proyecto se muestran en la Figura 2.5 donde se puede observar que cada bracket tiene un código con el cual se pueden buscar sus especificaciones para futuros diseños.

Tabla 2.5: Peso de Brackets.

Bracket	Peso [gramos]
BT-01	0.19
ARF-02	1.69
ASB-04	0.10
ASB-06	0.06
ASB-09	0.06
ASB-10	0.07
ASB-11	0.06

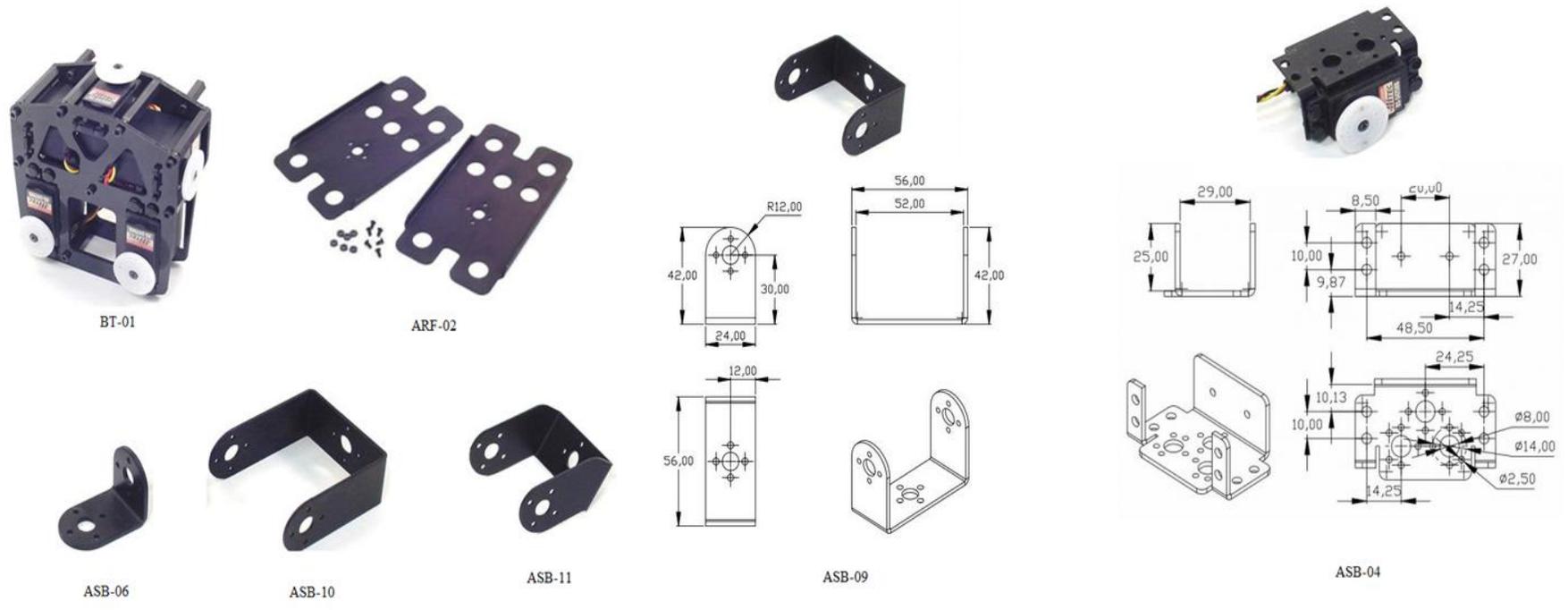


Figura 2.5: Bracket del catalogo Lynxmotion.

2.4 Diseño del Robot

Al elaborar un diseño mecánico se deben considerar distintos aspectos para satisfacer los objetivos. En esta parte se pone en práctica el estudio previo del número de articulaciones, los gdl, el tipo de actuadores y el material que se eligió para ensamblar el robot.

En la Figura 2.6 se expone un diagrama a bloques de los pasos a seguir del diseño mecánico para un robot bípedo. En el bloque de modelo se asignó el número de gdl que tiene el robot y se dibujó la primera aproximación del diseño. En el bloque de actuadores se eligió utilizar servomotores. En el bloque de material se realizó un estudio de diferentes tipos de material que se pueden emplear para unir los servomotores. En el bloque de tamaño se define las dimensiones del torso del robot y sus extremidades. Por último en el bloque de estructura se establece la configuración de la posición de cada pieza para concluir con el diseño mecánico del robot.

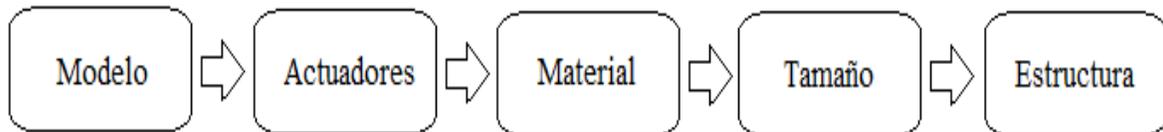


Figura 2.6 Diagrama a bloques para el diseño mecánico.

2.4.1 Tamaño del diseño

El diseño que se propone respeta las dimensiones permitidas para construir robots humanoides de la “RoboCup Soccer Humanoid League Rules and Setup” [19], que es un torneo mundial de fútbol entre robots humanoides avalado por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE). Las dimensiones corresponden a la morfología del ser humano a escala y tratan de que las extremidades del robot tengan proporciones adecuadas.

El Torneo Mexicano de Robótica (TMR) también sigue estas medidas, por ello se decidió hacer el diseño conforme a las recomendaciones de la IEEE.

En la figura 2.7 se muestra las restricciones en las dimensiones del robot que se deben tomar en cuenta:

- Altura total $30 \text{ cm} \leq H_{\text{top}} \leq 60 \text{ cm}$
- Cada pie debe caber en un rectángulo de área $H_{\text{top}}^2/13$
- El robot debe entrar en un cilindro de diámetro $0.6 \cdot H_{\text{top}}$
- La suma de las longitudes de los dos brazos y el ancho del torso en el hombro debe ser inferior a: $1.4 \cdot H_{\text{top}}$
- La longitud de las piernas H_{leg} (incluyendo los pies) $0.35 \cdot H \leq H_{\text{leg}} \leq 0.7 \cdot H$
- La altura de la cabeza H_{head} incluyendo el cuello $0.05 \cdot H \leq H_{\text{head}} \leq 0.25 \cdot H$
- No debe tener una configuración que exceda $1.5 \cdot H$

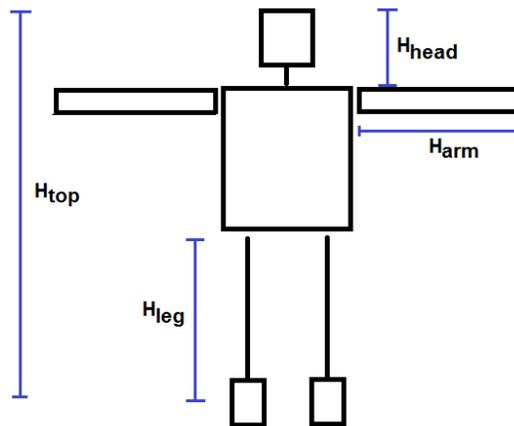


Figura 2.7: Distancias H_{top} , H_{leg} , H_{head} de un Robot Humanoide.

2.4.2 Apariencia del diseño

El diseño considera importante la apariencia final del robot. Uno de los propósitos de este robot es difundir la Ciencia y Tecnología por medio de participaciones en conferencias, visitas a instituciones educativas y concursos en diferentes ramas. Al tener contacto con un

público amplio de espectadores, en especial con niños y jóvenes, se tomó en cuenta que entre más parecido con un humano tenga el robot, más empatía tendrá con la audiencia.

Una hipótesis en la que nos apoyamos para definir la apariencia del robot es la de “El valle inquietante”, que fue explicada por Masahiro Mori en 1970, la cual afirma que cuando las réplicas antropomórficas se ven y actúan casi como un ser humano real, causan una respuesta de rechazo entre los observadores humanos. El «valle» en cuestión es una inclinación en un gráfico propuesto, que mide la positividad de la reacción de las personas según el parecido humano del robot. La teoría se resume con una gráfica dividida en dos ejes: el horizontal, que representa el grado de familiaridad o empatía con el robot; y el vertical, que indica el nivel de parecido con un humano. Las curvas que la cruzan varían si el robot se encuentra estático o en movimiento, ya que, según Mori, la animación tiene un factor aumentativo: incrementan la familiaridad, pero también la incomodidad cuando entran en este "valle inexplicable" [20].

Aunque la teoría de Mori intenta explicar las implicaciones psicológicas de la interacción con robots creados a imagen y semejanza de los humanos, esta no termina de aportar suficientes evidencias científicas. El autor continúa diciendo que "hay muchas variables implicadas que pueden hacer que reaccionemos de una manera u otra ante estos robots tan humanos".

Como se puede observar en la gráfica del "valle inquietante" de la figura 2.8, el eje X tiene una escala de porcentaje de apariencia humana del 0% al 100% y el eje Y tiene una escala relativa, donde se trata de describir la percepción familiar que tiene una persona al ver un robot. Se tienen dos gráficas, una de ellas es para robot sin movimiento (estático), en esta categoría entra por ejemplo, un juguete con forma robótica pero sin movimiento, tiene una mediana familiaridad pero se queda por debajo del 50% de parecido humano, En contraste una prótesis tiene una baja familiaridad o empatía pero no un gran parentesco humano. La gráfica que nos interesa es la de robot con movimiento (Dinámico), en esta categoría es donde se aprecia más el comportamiento del valle de lo inquietante. En esta categoría se encuentran los robots industriales que tienen una baja familiaridad pero también un bajo porcentaje de parecido humano. A medida que un robot se va pareciendo a

un humano se va teniendo un alto grado de empatía con los robots, hasta que este parentesco causa incertidumbre cuando la apariencia y el comportamiento del robot se tornan demasiado parecidos a un humano, este fenómeno lo podemos ver en películas de ciencia ficción donde los robots simulan tener vida propia y causan pánico a los seres humanos.

Nuestro trabajo se encuentra en la zona de robot humanoide y queda lejos de caer en el valle de lo inquietante. Acercarnos al valle de lo inquietante produciría tener reacciones de rechazo de la audiencia lo que haría no alcanzar el objetivo de generar interés por la robótica. Las precauciones que se consideraron fueron; no utilizar piezas que tuvieran parentesco con alguna prótesis humana, no generar movimientos agresivos (con fuerza y rapidez), colocar la electrónica en un lugar no visible al público y utilizar sensores que generen familiaridad,(por ejemplo el sensor ultrasónico que trata de emular los ojos al robot) .

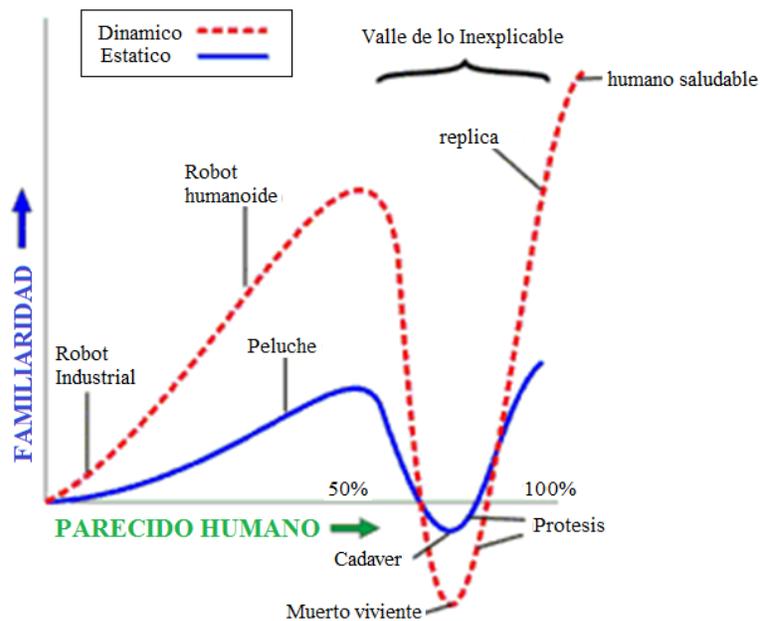


Figura 2.8: Gráfica del "valle inquietante" descrito por Masahiro Mori [20].

2.4.3 Arquitectura mecánica del robot

Para la arquitectura se deben tener identificado cuáles son los objetivos a los que se quiere llegar, los requerimientos que debe cumplir que previamente en este capítulo se estudiaron como son los siguientes:

- El robot contará con 18 grados de libertad.
- Los actuadores seleccionados son servomotores de tamaño estándar.
- El material que unirá los servomotores será polímero de fibra de carbono.
- Las medidas respetarán los límites de la IEEE para ser considerado un Robot Humanoide.
- Se evitará que la apariencia caiga en el valle de lo inquietante.

Se realizó un esquema del diseño de la arquitectura mecánica (figura 2.9), que servirá como guía para ensamblar el robot. Se destaca que el diseño cumple con los requerimientos previos. En el esquema se omiten la parte electrónica y el cableado.

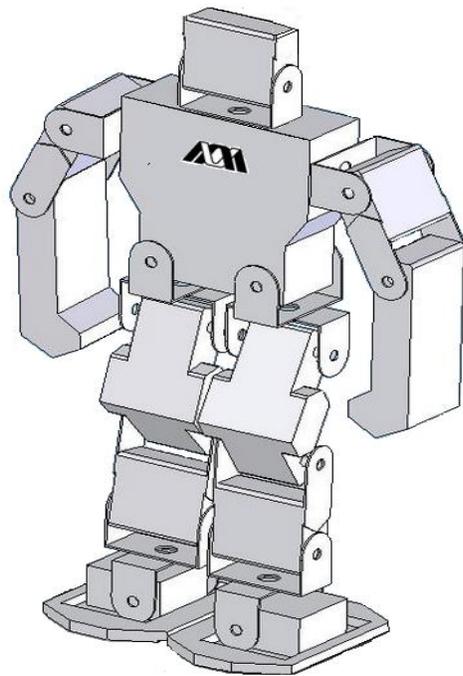


Figura 2.8: Diseño de la arquitectura mecánica del robot bípedo.

Configuración del torso:

El torso es la parte central de la estructura mecánica. Ensambla 5 servomotores (1 para el cuello, 2 para brazos y 2 para las piernas), para el ensamble utilizamos el gabinete BT-01.

Configuración de los brazos:

En cada brazo tiene una configuración de 3 servomotores, 1 bracket ASB-11 que une el torso con el resto del brazo, 2 brackets ASB-04 para sostener cada servomotor, 2 brackets ASB-06 que une los servomotores como eslabones y en la punta una pieza de plástico que simula ser una mano.

Configuración de las piernas:

En cada pierna se utilizo 5 servomotores, 5 brackets ASB-09 como eslabones entre los servomotores, 4 brackets ASB-04 que sirven como base de cada servomotor y una placa ARF-02 que es la planta del pie del robot.

Configuración de la cabeza:

La cabeza del robot se mueve por medio de dos servomotores, uno de ellos dentro del torso y el otro representa el rostro, la configuración de estos servomotores hacen que la cabeza tenga movimiento en dos direcciones. La figura 2.9 muestra la colocación de la cabeza del robot.

Ensamble completo:

Por último la configuración total del robot cumple con las dimensiones de la IEEE, no causa desagrado al público en general y representa las articulaciones más representativas del ser humano.

El cableado se colocó lo más discreto posible para no deformar el diseño del humanoide. La electrónica está colocada de forma de mochila en la espalda del robot, lo que produce que quede escondida a los ojos del público.



Figura 2.9: Cabeza del robot. Foto de frente (izquierda), foto de perfil (derecha).

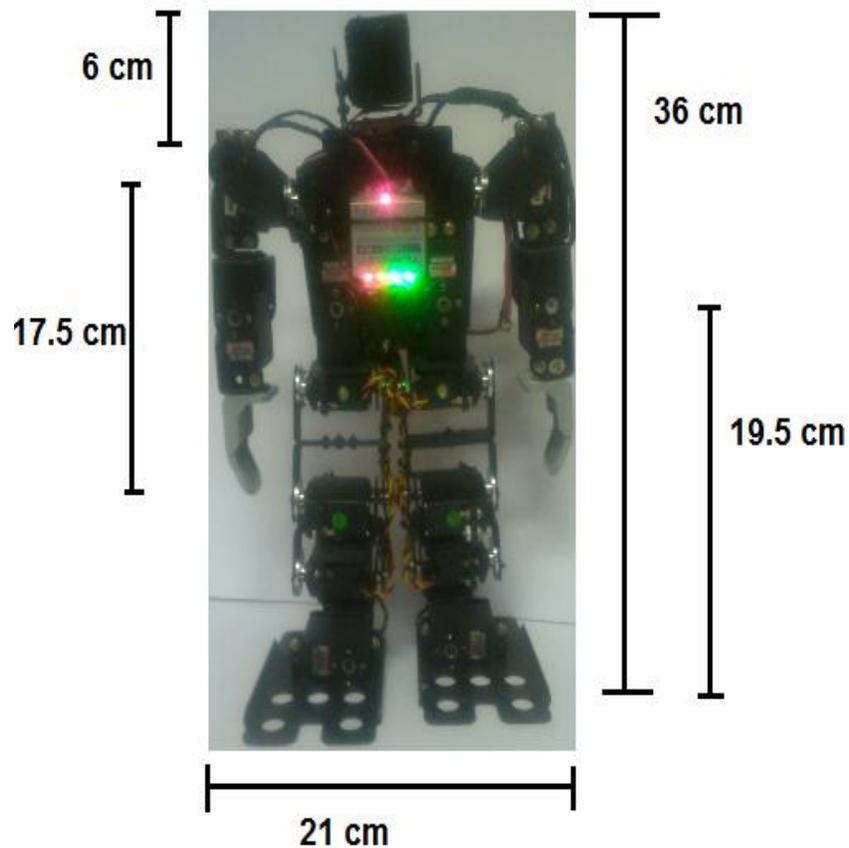


Figura 2.10: Estructura del robot bípedo con 18 servomotores.

Capítulo 3

SISTEMA ELECTRÓNICO

En esta parte se desarrolla el esquema electrónico propuesto para cubrir las necesidades del proyecto. Para ello partimos del diseño general de un sistema, el cual se compone de tres partes esenciales que son: entrada, el proceso y una salida como se puede ver en la Figura 3.1.

En la parte de entrada tenemos los datos recolectados de cualquier sensor (consideramos como sensor a cualquier módulo que mande datos a la unidad de procesamiento) y la unidad de procesamiento la dividimos en dos bloques, por una parte tenemos el procesamiento de las señales de entrada y por otro lado un banco de información que contiene los valores necesarios para darle una postura determinada al robot. Por último a la salida del sistema electrónico obtendremos la modulación PWM correspondiente a cada servomotor.

3.1 Entrada del sistema

En la entrada del sistema se tiene la recolección de datos de los sensores y dependen directamente de la aplicación específica con la cual trabajará el robot. El robot tiene la capacidad de ser controlado manualmente, reproducir rutinas previamente programadas y de reproducir movimientos automáticamente, esto hace que el robot sea un híbrido en su control.

Los sensores se pueden dividir en dos clases para el estudio, los propioceptivos y los exteroceptivos. Estas clases de sensores describirán el entorno de trabajo.



Figura 3.1: Diagrama a bloques de las etapas del sistema Electrónico.

3.1.1 Sensores propioceptivos

La propiocepción se refiere a la percepción del estado interno del robot; por ejemplo, medidas de carga de baterías, posición del robot, incluso se puede medir la temperatura de los componentes de potencia, etc. Si hacemos una comparación con el ser humano, diríamos que los sensores propioceptivos son aquellos que nos indican si en un momento dado estamos sentados, parados o acostados. Incluso cuando existe alguna fractura, cortadura, etc. Porque sentimos dolor en el área afectada.

Antes de revisar la lista amplia de sensores propioceptivos se deben identificar los problemas que deseamos resolver. Para nuestro robot tenemos la siguiente lista de requerimientos en la parte de percepción interna.

1. Identificar el estado de carga de la batería. Es indispensable tener monitoreado el nivel de la energía con que cuenta nuestro robot, este monitoreo debe ser de forma visual, para tomar la decisión de recargar la batería.
2. Saber la posición de cada actuador. La combinación de posiciones de los actuadores nos da como resultado un estado fijo del robot por ejemplo si el robot esta hincado, parado en un pie, parado con ambos pies, etc.
3. Tener en cuenta la posición del robot. Tanto para evitar daños en la estructura del robot como para darle cierta autonomía; se monitorea si el robot ha sufrido una caída. Una vez que se detectó una caída debemos saber hacia qué lado está orientada la estructura para que los siguientes movimientos que no afecten a la misma estructura.

Además de la utilidad de los sensores existen propiedades que se deben tener en cuenta en cualquier desarrollo robótico:

- Velocidad de operación. Es la velocidad con la que se mandan los datos a la unidad de procesamiento. Esto hace que unos sensores sean apropiados para trabajar en tiempo real y otros sean utilizados en ocasiones específicas.
- Requerimientos computacionales. Es la cantidad de recursos del sistema que ocupa un sensor, por ejemplo la cantidad de memoria y la velocidad de transferencia de datos (ancho de banda).
- El tamaño es un aspecto muy importante en la construcción de robot, incluso algunos diseños parten del tamaño de los sensores que se utilizarán, y por lo general van relacionados con el peso y la potencia del sensor.
- El costo es el valor económico que genera la adquisición de los sensores. Sin duda es una de las mayores limitantes al momento de fabricar prototipos robóticos. Existen en el mercado sensores que tienen un costo de cientos de miles de pesos, como puede ser un escáner láser, mientras que en la contraparte existen sensores de unos cuantos pesos, como puede ser un foto resistor.

3.1.2 Acelerómetro

Un acelerómetro mide los cambios en la orientación, inclinación o vibración del dispositivo y lo transforma en magnitudes eléctricas. Los rangos de medida van desde las décimas de grados, hasta los miles de grados.

En nuestro proyecto solo necesitamos responder dos preguntas con la ayuda del acelerómetro. ¿El robot esta acostado?; si la respuesta es afirmativa se realiza la segunda pregunta, ¿De qué forma esta acostado? Con estas simples preguntas se puede evitar que el robot realice movimientos de locomoción cuando se encuentra en una posición inadecuada, también se puede indicar la ejecución de alguna secuencia para levantarse.

En la figura 3.2 se muestra las dimensiones del sensor analógico MMA7361L adquirido. Esta tarjeta incorpora un acelerómetro de tres ejes MMA7361L de Freescale. Este sensor requiere muy poca energía y puede ser configurado para realizar mediciones entre $\pm 1.5g$ y $\pm 6g$. Otras características que posee son modo sleep, acondicionamiento de señal, filtro pasa bajas de 1 polo, compensación de temperatura, auto prueba, y detección de 0g para caída libre.

Esta tarjeta tiene disponibles todos los pines del MMA7361L en un header de 9 pines con espaciamiento de 0.1" (2.54mm). Este sensor funciona con alimentaciones entre 2.2 y 3.6VDC (3.3V es el valor óptimo), y consume 400 μ A de corriente. Los tres ejes tienen su propia salida analógica.

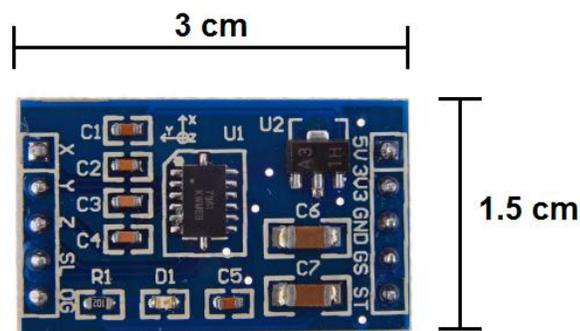


Figura 3.2: Sensor MMA7361L.

3.1.3 Sensores exteroceptivos

La exterocepción se refiere a la percepción de aspectos externos al robot; por ejemplo, la localización geográfica, temperatura externa, la humedad, localización de objetos, etc.

Se utilizaron sensores exteroceptivos en esta primera versión del robot, la arquitectura está diseñada para instalar los sensores y adecuar al robot a nuevas necesidades. Para el análisis se considera tener un control manual del robot por medio de una conexión vía bluetooth, entre una aplicación android y el robot. Quiere decir que tendremos el control absoluto del entorno del robot, seremos los responsables de guiar al robot en sus tareas a realizar. Otro sensor exteroceptivo que cuenta el robot es el HC-SR04 que es un sensor de proximidad, para detectar obstáculos.

3.1.4 Sensor Ultrasónico

El sensor detector de proximidad HC-SR04 (figura 3.3), que trabaja libre de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales analógicas.



Figura 3.3. Sensor ultrasónico HC-SR04.

3.1.5 Receptor bluetooth

El módulo Hc-05 será el encargado de recibir los bits de control enviados desde cualquier dispositivo con sistema operativo Android que tenga instalada la aplicación “ROBOT UAMito” (que se explica en el siguiente capítulo) y que se encuentre vinculado con el robot.

El módulo HC-05 entrega una trama de 8 bits de forma serial, este módulo tiene un alcance de 15 metros de distancia al aire libre. La distancia no representa una limitante en nuestro proyecto, ya que se tiene presente que en todo momento estamos cerca observando el comportamiento del robot.

Hasta el momento se cuenta con instrucciones básicas en el control manual. Con el control manual del robot le decimos que ejecute movimientos o rutinas. Un movimiento los servomotores en el cuello simula que el robot diga con la cabeza que sí o no. Una rutina que se puede ejecutar con un simple botón, es realizar movimientos de baile durante un tiempo determinado.

La lista de comandos se puede ampliar dependiendo del número de Bytes que se utilicen para el control, es decir, si sólo mandamos un byte de control, la lista puede llegar hasta 255 comandos a partir de la posición inicial, que corresponde a las combinaciones posibles con 8 bits. En la tabla 3.1 se muestra la codificación de algunos comandos del control manual.

La tarjeta tiene peso de 8g. En la Figura 3.4 se puede observar las dimensiones. La alimentación del sensor es de 5 Vcd. La comunicación de salida es serial a una velocidad de transmisión de 9600bps.

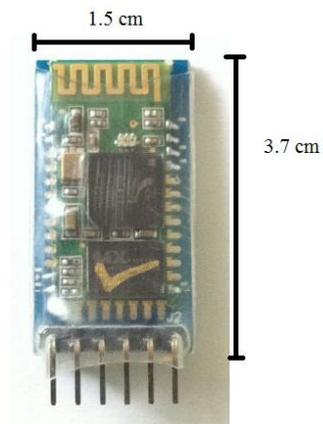


Figura 3.4: Modulo Bluetooth Hc-05.

Tabla 3.1: Codificación de comandos.

Movimiento o rutina	Codificación de bits
Posición Inicial	0000 0000
Movimiento “SI”	0000 0001
Movimiento “NO”	0000 0010
Brazo Izquierdo	0000 0011
Brazo Derecho	0000 0100
Cerrar Manos	0000 0101
Abrir Manos	0000 0110
Hacer lagartijas	0000 0111
Incorporarse	0000 1001
Voltearse	0000 1010
Rutina Baile 1	0000 1100
Rutina Baile 2	0000 1101
Rutina Baile 3	0000 1110
Rutina Baile 4	0000 1111
Avanzar	0001 0000
Retroceder	0001 0001
Izquierda	0001 0010
Derecha	0001 0011

3.2 Electrónica de Procesamiento de la Información

Una vez que llegan datos provenientes de los sensores debemos procesarlos para darles una lógica adecuada. En esta parte describimos las tarjetas de desarrollo que se eligieron y sus características. Se plantean las ventajas al tener dos procesos independientes funcionando de forma paralela.

3.2.1 Arquitectura del sistema de procesamiento

La mayoría de diseños de robots contemplan una unidad central de procesamiento como se aprecia en la Figura 3.5^a, donde se analizan las señales provenientes de los sensores, se ejecuta algún programa y se mandan las señales correspondientes a la etapa de potencia.

En este trabajo tenemos como propósito diseñar una arquitectura que facilite la participación de varias áreas de investigación separando los temas relacionados a comunicaciones de los temas de diseño de algoritmos.

Proponemos dos módulos independientes de procesos, Figura 3.9b, en un módulo se recolectarán las señales provenientes de los sensores y se ejecutará el algoritmo correspondiente a la parte lógica. En un segundo módulo se implementará un algoritmo que genere 18 canales con señales PWM. De esta manera se puede modificar cada algoritmo de manera independiente, con ello esperamos probar diferentes algoritmos para ir mejorando el comportamiento, incluso en el futuro probar técnicas de aprendizaje en el robot sin que se involucre la parte de modulación de señales.

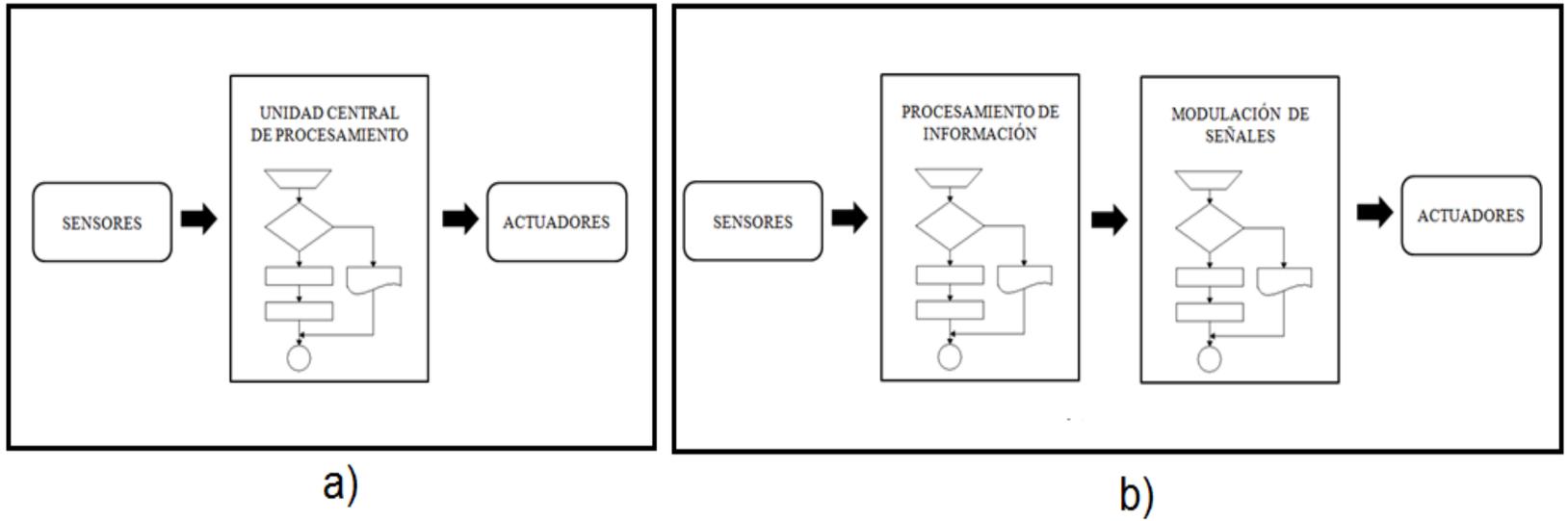


Figura 3.5: a) Sistema de procesamiento centralizado, b) Sistema de procesamiento en dos módulos

3.2.2 Módulo de procesamiento de información

Hoy en día existen una gran variedad de tarjetas electronicas para construir robots. Empresas como Freescale, Intel, Microchip entre otras compiten para tener las mejores tarjetas de desarrollo. Si bien existen numerosas propuestas comerciales, la elección está basada en un enfoque generalizado de tener un “uso fácil”, que permita al usuario enfocarse en las tareas a programar y no en los principios que soportan el funcionamiento del robot mismo.

Los requisitos que tienen que cumplir las tarjetas en nuestro proyecto son:

- Compatibilidad con diferentes tipos de sensores.
- Un tamaño pequeño, que se pueda montar en la estructura del robot con una longitud máxima por lado de 10 cm.
- Contar al menos con un puerto de comunicación serial.
- Fácil de adquirir y, de preferencia, a un bajo costo.

Los requisitos mínimos dejan a la mayoría de las tarjetas comerciales con posibilidades de ser implementadas en nuestro proyecto. Ahora bien tomando en cuenta el mercado, las tarjetas de desarrollo mas populares y que se adaptan al proyecto son: Intel Galileo, Freescale Freedom, MCI Olimex , SmartProjects, Arduino UNO y Pololu Mini-maestro.

Para elegir la tarjeta encargada del control de sensores y del algoritmo que rige el comportamiento del robot, se pensó en las modificaciones que puede sufrir el robot como la instalación de mayor número de sensores o un cambio de algoritmo en la programación. Hoy la tarjeta con mayor soporte técnico en Internet es Arduino y el costo de adquisicion cada día se reduce notablemente, siendo la tarjeta más utilizada en proyectos escolares[21]. Incluso la distribución de puertos en las tarjetas de desarrollo se estan alineando a las dimensiones de la tarjeta Arduino.

3.2.3 Tarjeta de desarrollo Arduino UNO

Arduino UNO (Figura 3.6), es una plataforma de desarrollo de hardware libre, consiste básicamente en una placa que contiene un microcontrolador y un entorno de programación basado en lenguaje C, fue diseñada para facilitar las aplicaciones electrónicas en diversos proyectos.

Un arduino UNO dispone de salidas digitales que se pueden usar como entradas o como salidas. Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA. La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA. Los pines digitales disponen de una resistencia de pull-up interna de 20K Ω a 50 K Ω que está desconectada, salvo que nosotros indiquemos lo contrario.

También dispone de entradas y salidas digitales que emulan señales analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM.

Arduino también dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un convertidor analógico/digital de 10 bits.

Puede alimentarse directamente a través del propio cable USB o mediante una fuente de externa, como puede ser un pequeño transformador o, una pila de 9V. Los límites están entre los 7 y los 12 V. Como única restricción hay que saber que si la placa se alimenta con menos de 7V, la salida del regulador de 5V puede dar menos que este voltaje y si sobrepasamos los 12V, probablemente dañaremos la placa.

En esta primera versión del robot bípedo utilizamos una entrada serial de la placa arduino para conectar el receptor bluetooth, un puerto para establecer comunicación con el módulo

encargado de generar las señales PWM, y 4 pines de entrada para conectar el acelerómetro. En la figura 3.6, se muestra el diagrama del arduino UNO.

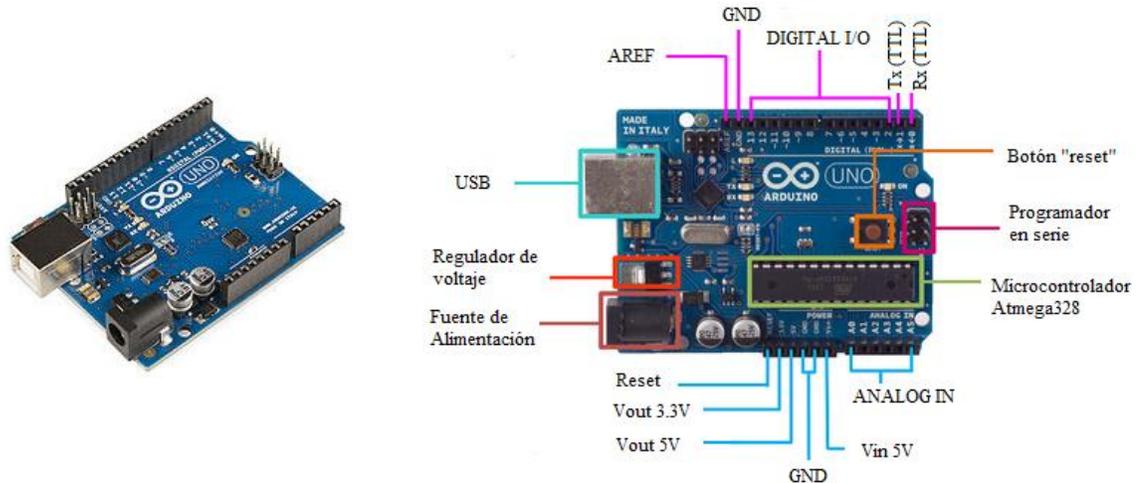


Figura 3.6: Arduino UNO.

De las especificaciones de la Tabla 3.3 obtenemos los parámetros de nivel de voltaje necesario para su alimentación, además nos proporciona el espacio de memoria disponible para programar y las dimensiones del dispositivo.

Tabla 3.3 : Resumen de características Técnicas del Arduino UNO

Parámetros	
Voltaje de entrada	7-12V
Pines digitales	14
Pines de entrada analógica	6
Memoria Flash	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz
Longitud	68,6 mm
Ancho	53,4 mm
Peso	25 g

3.2.4 Modulación de señales

Se necesita 18 señales PWM, para controlar los servomotores. La señal de modulada no se puede interrumpir ya que esto generaría que un servomotor perdiera el torque y perderíamos el control del robot. Para distribuir el procesamiento se decidió que esta tarea la realice una tarjeta independiente.

Diferentes tarjetas de desarrollo ofrecen esencialmente las mismas características, pero para nuestro proyecto destaca la tarjeta Mini-maestro fabricada por la empresa Pololu, que cuenta con 24 canales programables para generar señales de control PWM.

3.2.5 Tarjeta de desarrollo Mini-maestro 24

La tarjetas Mini-maestro (figura 3.7) ,son dispositivos versátiles para control de servos y con entradas y salidas analógico-digitales dentro de una placa muy compacta. Su gran precisión y alta resolución de pulsos en un margen de menos de 200ns, hacen que la familia Mini-maestro sea adecuada para un alto rendimiento mecánico y electrónico, con un exacto control de aceleración y velocidad pueden hacer fácil la consecución de movimientos suaves en la estructura mecanica.

Mini-maestro 24 dispone de 24 canales programables con señales PWM, en consecuencia podemos conectar hasta 24 servomotores en este dispositivo. En nuestro diseño del robot bípedo se cuenta con 18 servomotores con lo que se ocupa el 75% de las salidas del Mini-maestro 24. Los 6 canales restantes se pueden configurar como entradas o salidas Digitales o analógicas, para modificaciones posteriores del diseño.

La alimentación de corriente para la tarjeta Mini-maestro se suministra por dos vías, una alimenta la parte de potencia de los servomotores y la otra la parte digital de la tarjeta, estas fuentes estan reguladas de forma independiente para evitar interferencias electromotrices.

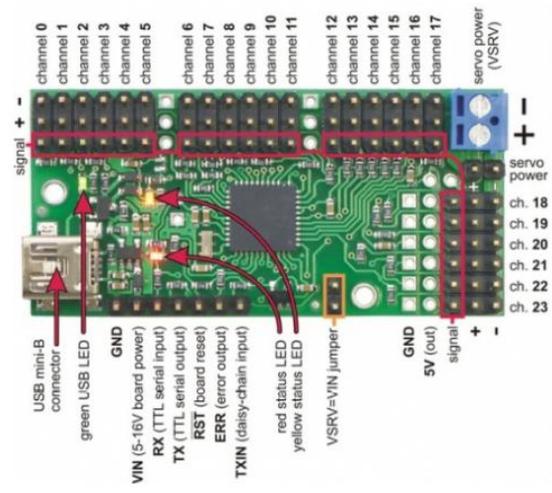


Figura 3.7 : Tarjeta Mini-Maestro 24.

El procesamiento está a cargo de un micro-controlador PIC18F455, que se programa mediante el conector miniUSB. Este dispositivo se programa mediante un script que consiste en crear una secuencia de comandos que actúan en una pila de valores que van desde los -32768 a +32767 y operaciones postfijas codificadas. Tiene un IDE que facilita la programación de la tarjeta donde por medio de una consola grafica se fijan las posiciones de los motores y se guarda la configuración en forma de sub-rutina para posteriormente usarla en un código más elaborado.

Tabla 3.4 : Resumen de características técnicas del Mini-maestro 24.

Parámetros	
Voltaje de entrada	5-7.2V
Canales configurables	24
Resolución de salida	0.25 μ s
Memoria Flash	24 KB (PIC18F455)
SRAM	2 KB (PIC18F855)
EEPROM	256 bytes (PIC18F855)
Velocidad del reloj	16 MHz
Longitud	5.84 cm
Ancho	2.79 cm
Peso	10 g

3.3 Salida del Sistema Electrónico

A la salida del sistema electrónico tenemos las señales moduladas para controlar los servomotores. Estas señales son generadas por la tarjeta Mini-maestro y su procesamiento es independiente del procesamiento de las señales de control.

3.3.1 Modulación por ancho de pulso

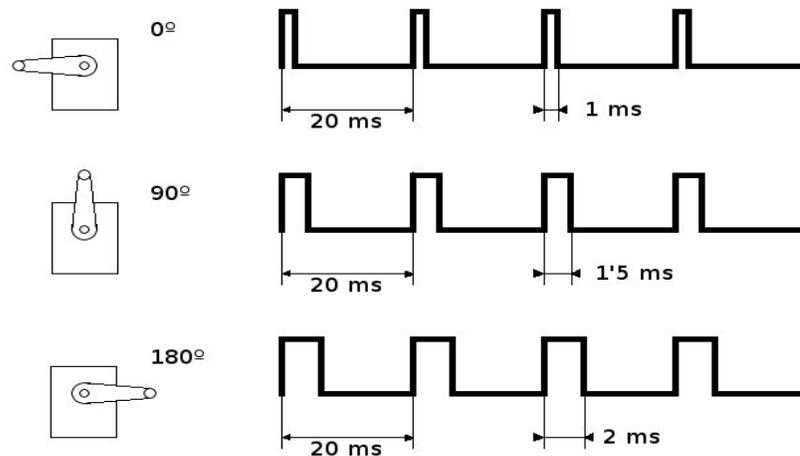
La modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés), es una modulación que involucra el ciclo de trabajo de una señal cuadrada. Para nuestro proyecto necesitamos que esta modulación se ajuste a los estándares de control de un servomotor. Esta señal debe ser periódica, con ciclos de trabajo entre 1 ms. y 20 ms. La señal tiene que ser de tipo TTL, es decir, trabajar con un voltaje bajo de 0V y un voltaje alto de 5V.

El período entre pulso y pulso no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. Se suelen emplear 20 ms. Si el periodo es inferior al mínimo de 15 ms, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del eje de salida.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse.

Los valores más generales para el control de un servo, corresponden con pulsos de entre 1 ms y 2 ms de ancho como se ilustra en la Figura 3.5, que dejarían al motor en ambos extremos (0° y 180°). El valor 1.5 ms indicaría la posición central o neutra (90°), mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 1 ms o mayores de 2 ms, pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180°. Si se sobrepasan los límites de

movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos del servomotor.



3.5; Control por medio de PWM

3.4 Red de potencia

Una red de potencia tiene como propósito suministrar energía a cada uno de los componentes del sistema. Se compone de tres partes esenciales: generador (batería), transmisión (cableado) y distribución (regulación).

La arquitectura de potencia que proponemos tiene contemplados dos canales de energía regulados como se aprecia en la Figura 3.6. Por un lado tenemos toda la electrónica digital, que contempla a los sensores y a las tarjetas de desarrollo que se ocuparán y por el otro canal se tiene la red de potencia de los actuadores. Al tener dos canales regulados disminuimos el ruido en la parte digital que provocaría un alto consumo de potencia de los actuadores.

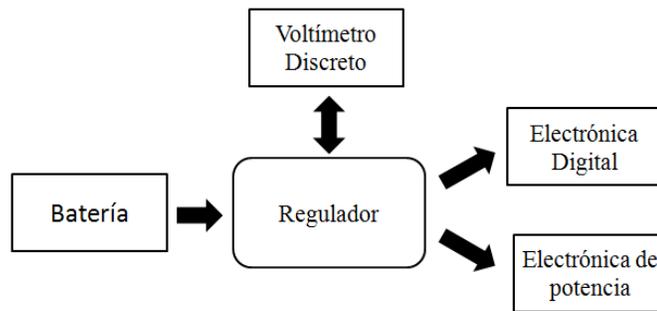


Figura 3.6: Arquitectura de distribución monitoreada de energía.

3.4.1 Fuente de alimentación

La fuente de energía en nuestro proyecto es una batería de litio-polímero (Li-Po) de 7.4 voltios y 2200 mAh Figura 3.3, elegida por sus ventajas que ofrecen:

- Su alta densidad de energía que prácticamente dobla a las de níquel-metal (NiMh).
- Tienen mucho menos volumen y peso que ofrece un formato más práctico, lo que la hace más manejable.
- Alto nivel de descarga.
- Alto nivel de voltaje por célula, lo que permite mayores voltajes en menor espacio.
- Resistencia interna pequeña, lo que hace que se pueda aprovechar casi el 100% de la energía disponible.



Figura 3.3: Batería Li-Po de 7.4 V a 2200 mAh.

3.4.2 Regulador de potencia

El regulador que se acopla al proyecto es el UBEC 15A – TURNIGY. Este regulador tiene como entrada la batería LI-PO a 7.4v y como salida entrega dos canales regulados a 5v ó 6v según se configure. Las principales características por las cuales se eligió este regulador son:

- El manejo de corriente hasta por 8A. Esto es importante en la parte de potencia de los actuadores, el cual consiste en un arreglo de 18 servomotores que pueden consumir picos de corriente de hasta 3A.
- Incluye un filtro para interferencias electromotrices. Al tener 18 motores de C.D. trabajando en un espacio pequeño se genera un campo electromotriz que varía dependiendo del torque ejercido por cada motor. Esta interferencia puede llegar a ser tan grande que provoque fallas en el suministro de energía a la parte digital. Con el chasis de metal y los filtros independientes por canal que contiene el regulador se atenúa el ruido electromotriz que genera el robot.
- Contiene un indicador de nivel de carga (voltímetro discreto). Se cubren dos requerimientos con un solo dispositivo; por una parte tenemos las propiedades del regulador y con el voltímetro discreto se monitorea el nivel de carga de la batería. Un arreglo de 4 led (dos rojos y 2 verdes) indica el porcentaje de carga de la batería. los leds encendidos nos permite saber el porcentaje de carga.
- Tiene un peso de 46g. El peso y las dimensiones del dispositivo terminan por ser la mejor opción para el robot.

El monitoreo del nivel de energía nos ayuda a tomar la decisión de realizar una recarga a la batería o hacer el cambio por una completamente cargada.

El tiempo de descarga depende del ritmo de trabajo al que esté sometido el robot. En promedio con una rutina que no requiere alto consumo de corriente, puede trabajar aproximadamente 30 minutos antes de perder la comunicación inalámbrica. En la tabla 3.5 se indica el estado de los leds del voltímetro discreto, así como la reacción de los dispositivos con los que cuenta el robot y el tiempo estimado de descarga.



Figura 3.4: Regulador UBEC 15A – TURNIGY

Tabla 3.5: Monitoreo del nivel de energía con sus efectos y estimación de tiempo transcurrido.

Porcentaje de energía	Indicadores Led	Estado de alimentación	Tiempo aproximado de descarga
0% - 25%	LED1 – ON LED2 – OFF LED3 – OFF LED4 – OFF	Tarjetas digitales : Inestables Sensores: Apagados Actuadores: Inestables Comunicación Bluetooth: Nula	Más de 30min.
25% - 50%	LED1 – ON LED2 – ON LED3 – OFF LED4 – OFF	Tarjetas digitales : Inestables Sensores: Inestables Actuadores: Inestables Comunicación Bluetooth: Inestable	30min.
50 % - 75%	LED1 – ON LED2 – ON LED3 – ON LED4 – OFF	Tarjetas digitales : Estables Sensores: Estables Actuadores: Estables Comunicación Bluetooth: Estable	25 min.
75% - 100%	LED1 – ON LED2 – ON LED3 – ON LED4 – ON	Tarjetas digitales : Estables Sensores: Estables Actuadores: Estables Comunicación Bluetooth: Estable	0 min. - 10min.

3.4 Diagrama general

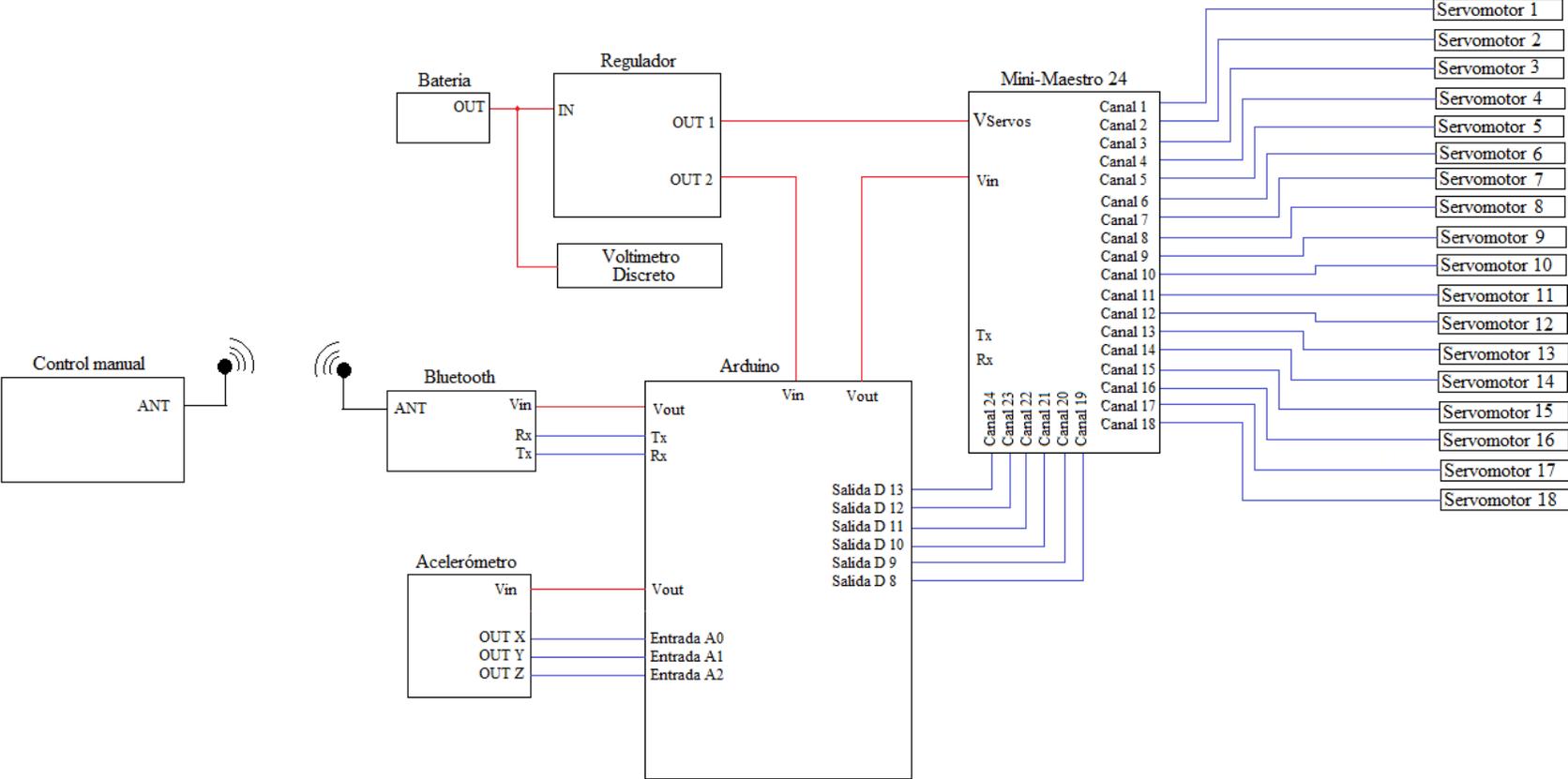


Figura 3.5: Diagrama electrónico general del robot bípedo.

Capítulo 4

SISTEMA DE CONTROL

En este capítulo se presenta la estructura de control que permite sincronizar los actuadores desde diferentes fuentes de información para que finalmente se generen movimientos específicos en las articulaciones del Robot bípedo.

El Robot bípedo tiene la característica de ser manipulado de tres formas; secuencial, manual y autónomo sin que una dependa de otra. Esto se logra gracias a que su estructura está diseñada por módulos.

Una de las aportaciones importantes en este trabajo es la propuesta de tener un “banco de datos” donde se tiene el registro de la información necesaria para que los actuadores estén en una posición estática, a esta base de datos la nombramos “álbum de fotografías”, donde cada página del álbum en realidad es una dirección de memoria y la fotografía es el resultado de la modulación de la señal para cada actuador.

4.1 Sistema de control general

Para completar la arquitectura del robot bípedo presentamos el desarrollo del sistema de control. Como ya se ha mencionado en este documento el sistema mecánico es la base del proyecto para posteriormente elegir la electrónica que le dará la energía necesaria para generar movimiento y por ultimo generamos la lógica que brindará una estabilidad en los movimientos.

El módulo de control está formado por tres bloques independientes uno de otro lo cual nos da la ventaja de actualizar cada módulo de una forma práctica. En la figura 4.1 se muestran los tres bloques.

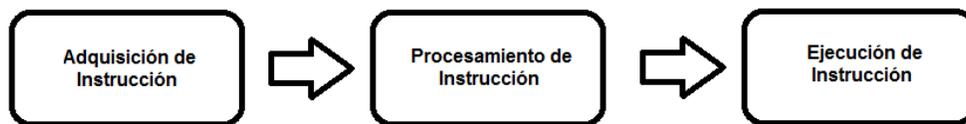


Figura 4.1: Bloques del sistema de control.

El bloque de Adquisición de Instrucción tiene como tarea proporcionar información de control al bloque de procesamiento. Los datos adquiridos pueden provenir de los sensores instalados en el robot o bien directamente de un operador por medio de una aplicación móvil.

El bloque de Procesamiento de Instrucción tiene la tarea de ordenar la información proveniente del módulo de Adquisición y tomar las decisiones necesarias para elegir un comando que se enviará para ejecutarse en el siguiente modulo.

El bloque de Ejecución recibe el comando procesado y genera la modulación de señales para dar como resultado la posición deseada de cada servomotor. Así este bloque funciona como un periférico más del sistema central de control.

4.2 Adquisición de Información

Hasta el momento se cuenta con 3 fuentes externas que influyen en el comportamiento del robot bípedo, sin embargo la idea principal es que este módulo tenga la capacidad de tener actualizaciones con nuevas tecnologías, por ejemplo que se puedan aumentar el número y el tipo de sensores, que tenga otro tipo de conectividad, etc.

4.2.1 Información de Inclinación

El robot cuenta con un acelerómetro que manda alarmas si el robot se encuentra acostado. El acelerómetro genera una señal analógica cuya amplitud depende de la posición en el que se encuentra. Como se observa en la figura 4.2, se tienen tres zonas de operación y se activan alarmas cuando se rebasa los límites definidos. Cuando el sensor manda una señal por arriba de los 135° se considera que el robot sufrió una caída y se activa una alarma de inclinación alta, así mismo cuando el sensor manda una posición por debajo de 45° activa una alarma de inclinación baja, cuando el sensor está operando dentro del rango de los 45° y 135° se considera que el robot está en buena posición para atender otras instrucciones.

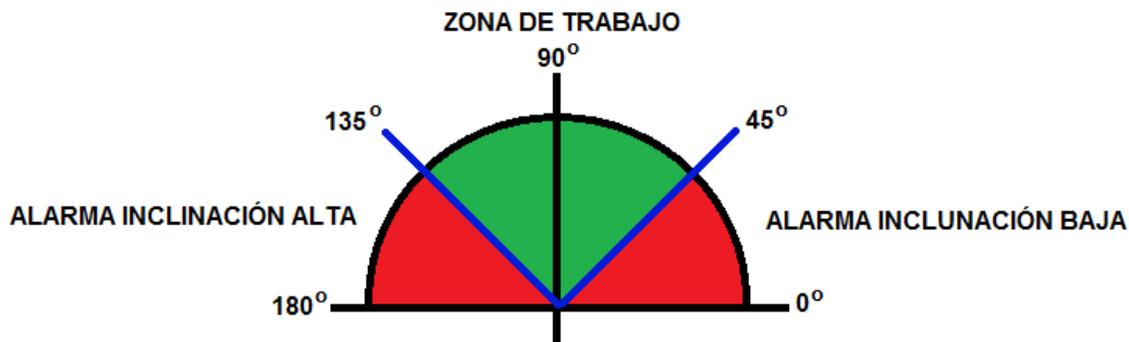


Figura 4.2: Distribución de zonas de operación del robot bípedo.

4.2.2 Información de obstáculos

Una mejora reciente es la colocación de un sensor ultrasónico. El sensor de ultrasonido, además de dar una apariencia que el robot tiene ojos, nos permite obtener la distancia de un objeto a partir de la medición del tiempo de ida y vuelta del pulso de ultrasonido (medición del tiempo del eco) para ello, utilizaremos el sensor HC-SR04, en la figura 4.3, se ilustra el sensor ultrasónico mandando una señal que rebota en un obstáculo y por medio del tiempo que tarda en el trayecto se calcula la distancia del objeto. Cuando la distancia es menor a 30 cm, se activa una alarma de obstáculo detectado.

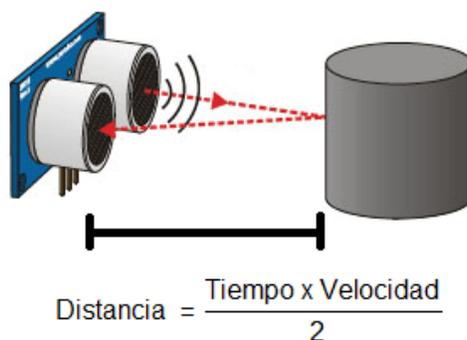


Figura 4.3: Sensor ultrasónico rebotando una señal en un objeto.

4.3 Aplicación android UAMITO 2.0.

Durante varios años se han utilizado controles diseñados con hardware específico para cada robot, lo que implica que no se puede reutilizar en otros proyectos. En este proyecto también existe la posibilidad de manipular el robot bípedo de manera manual por medio de un control a distancia. El control puede ser desde un teléfono inteligente hasta una tableta electrónica que opere con un sistema Android.

Con el desarrollo tecnológico se ha notado la importancia de tener aplicaciones móviles y las ventajas que éstas nos ofrecen, por ejemplo en un celular podemos tener varias aplicaciones como reloj, teléfono, redes sociales, mensajería, juegos, incluso varias aplicaciones para diferentes robots sin la necesidad de cambiar de hardware. Por otra parte el sistema operativo Android se ha convertido en el preferido por los usuarios de celulares y tabletas electrónicas.

En el diseño del control manual se alcanzaron tres objetivos:

- Controlar de manera remota el robot bípedo.
- Armar una red de comunicaciones donde el emisor sea un teléfono inteligente y el receptor el robot bípedo.
- Realizar una aplicación que tenga una interfaz amigable, que permita interactuar con el robot de manera intuitiva.

Se eligió utilizar la plataforma App Inventor Beta, proporcionada por MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Básicamente es un editor de programación de bloques en JavaScript para crear un lenguaje visual, que posteriormente se compila para traducir el lenguaje visual en lenguaje de programación adecuado para el sistema operativo Android. App Inventor permite crear aplicaciones en menor tiempo que otros que utilizan lenguajes tradicionales basados en texto además es un Software con licencia libre.

4.3.1 Diseño de la interfaz

El primer paso para la programación de nuestra aplicación es colocar imágenes y botones, crear la interfaz que tendrá el usuario al interactuar con la aplicación y el robot. En una primera versión de la aplicación sólo se colocaron botones y leyendas que daban la función de cada botón. Al llevar la primera versión de la aplicación a la práctica, comprobamos que

la interfaz no era amigable con el usuario. En la segunda versión se propone que los botones sean imágenes de la parte del robot que tendrá movimiento al accionar la imagen, con este cambio se logra que los usuarios tengan confianza de manipular el robot y que intuitivamente sepan qué acción realizará el robot, además de dar una mejor apariencia a la interfaz.

En la figura 4.4 podemos ver la interfaz de la aplicación UAMITO 2.0, está dividida en tres secciones. En la primer sección se encuentran los botones correspondientes a la marca del robot indicada con flechas, al centro se encuentra el botón de “STOP” que detiene cualquier acción del robot y lo coloca en un estado inicial, a la derecha se encuentran los botones que controlan las manos y brazos del robot y se puede apreciar que estos botones fueron implementados con imágenes que facilitan identificar cuál parte del robot se moverá. En la segunda sección se encuentran botones con rutinas específicas, por ejemplo: simular que el robot lanza una patada, hacer movimientos para aparentar que el robot realiza ejercicio muscular, activar una rutina para colocar al robot en descanso, etc. La tercera sección tiene botones que manipulan la cabeza del robot para contestar preguntas con las señales que corresponden a un “SI” o un “NO”, también se encuentran los botones dedicados para la comunicación y el cierre total de la aplicación.

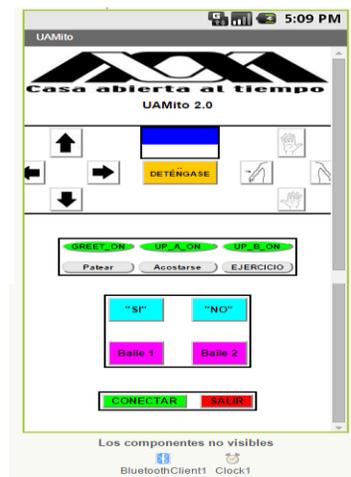


Figura 4.4: interfaz de la app UAMITO 2.0.

4.3.2 Lógica de la aplicación.

El código de la aplicación está basada en la programación grafica de bloques y la filosofía de la plataforma App Inventor, que es, “Hasta un niño puede crear aplicaciones” y es la razón principal por la que se eligió programar en un entorno gráfico. En la figura 4.5 se muestra un ejemplo de lo que es la programación en bloques, en este caso se utiliza un bloque para cuando se realiza un clic en el botón llamado ejercicio se envía el carácter “E” por el periférico Bluetooth.



Figura 4.5: Ejemplo de programación con bloques en la plataforma App Inventor.

Al correr la aplicación se realizan acciones para configurar el sistema. Se vincula el bluetooth del dispositivo móvil con la tarjeta bluetooth del robot bípedo, cuando esta acción sucede el botón “conectar” cambia a color verde, en este momento la aplicación está lista para ser utilizada.

Una vez que se tiene la interfaz gráfica se programan las acciones que van a realizar los botones. Cada botón dentro de la aplicación tiene la tarea de mandar un carácter de control por medio del periférico Bluetooth del dispositivo. Los caracteres de control asignados se encuentran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1; Asignación de caracteres enviados de la aplicación UAMITO 2.0.

Acción	Carácter enviado
Avanzar	1
Retroceder	2
Vuelta Izquierda	3
Vuelta Derecha	4
STOP	0
Mano Derecha	5
Mano Izquierda	6
Brazo Derecho	7
Brazo Izquierdo	8
Habilitar Saludo	A
Habilitar Levantarse	B
Patear	P
Acostarse	C
Ejercicio	E
“SI”	Q
“NO”	T
Baile 1	Y
Baile 2	J
CONECTAR	Z

4.4 Procesamiento de instrucción

Este módulo es el cerebro de nuestro robot. El dispositivo encargado de realizar las tareas asignadas está a cargo de una tarjeta Arduino UNO.

Como se explicó en el capítulo 3, se eligió un Arduino por tres principales razones; lo comercial del producto (bajo costo), la inmensa cantidad de información en la red Internet (ejemplos de programas para integrar variedad de sensores) y por qué actualmente se está tomando como una tarjeta estándar para el desarrollo de proyectos en la academia. El recibir los datos provenientes del módulo de adquisición de información, poner prioridades a los datos y ejecutar un algoritmo para tomar una decisión, son las tareas que realiza este módulo.

Uno de los objetivos es brindar una herramienta de experimentación para la Universidad Autónoma Metropolitana. La razón por la que existe este módulo dedicado al procesamiento de información, es dar la opción de experimentar con diferentes técnicas de programación. Para cubrir nuestro objetivo, proponemos que en este módulo se programen algoritmos como por ejemplo; rutinas para lograr movimientos específicos, algoritmos para que el robot pueda ser manipulado manualmente, algoritmos híbridos (que es el caso del programa UAMITO 2.0), incluso se pueden adaptar algoritmos de Inteligencia Artificial en un futuro.

El algoritmo que se diseñe rige el comportamiento del robot y está relacionado directamente a la aplicación que se le quiera dar al robot. Es decir, el robot es una herramienta que se puede adaptar a varios escenarios sin la necesidad de re-diseñar toda su estructura. Es suficiente con la re-programación del módulo de procesamiento de información para usar el robot en una competencia de fútbol, en una carrera de robots, impartir una clase de ejercicio aeróbico, entre otras aplicaciones.

A lo largo de este proyecto el robot bípedo se programo con diferentes series de movimientos para que los niños lo imitaran, se logró con solo programar un algoritmo en la tarjeta Arduino sin necesidad de modificar alguna otra parte del robot.

4.4.1 Estructura de algoritmo de procesamiento de información.

La semejanza entre la estructura de programación y un álbum fotográfico es la mejor forma de explicar lo que proponemos en este trabajo.

Proponemos una analogía para entender cómo trabaja nuestro sistema. Imaginemos que tenemos un álbum de fotografías del robot. Cada página del álbum tiene una posición del robot diferente a las demás. Entonces de lo que se trata es elegir una serie de páginas una

tras otra, de tal manera que al enumerar las paginas generamos una trama. En la figura 4.6, se ilustra la idea de elegir varias páginas, como se observa se tienen 5 fotografías, si le pedimos al robot que reproduzca esas 5 imágenes, lo que tenemos como resultado es un movimiento simulando que el robot está dando un paso. Entonces la idea principal, usando la analogía es que el algoritmo ordene las páginas.

Una vez que el algoritmo decide qué posición (fotografía) quiere que el robot reproduzca le manda la dirección de la página al módulo de ejecución de información.

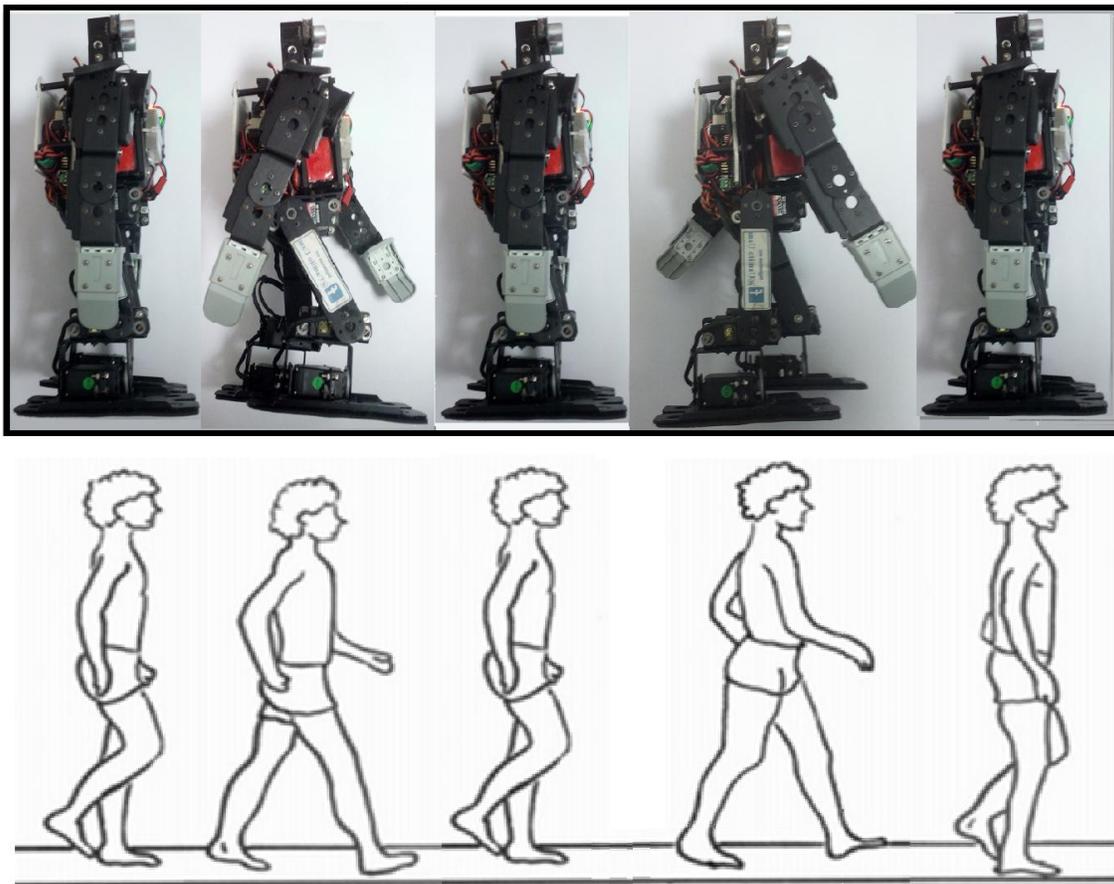


Figura 4.6: Secuencia de movimiento por medio de 5 fotografías.

4.4.2 Algoritmo UAMITO 2.0.a

Actualmente el módulo de procesamiento de información tiene un algoritmo híbrido. El robot es manipulado mediante una aplicación móvil, pero también tiene autonomía para resolver situaciones por sí mismo cuando sufre una caída o cuando detecta un obstáculo.

En la figura 4.7, está el diagrama de flujo del algoritmo híbrido UAMITO 2.0. El algoritmo está dividido en dos partes.

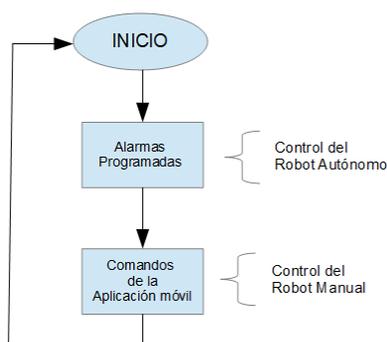


Figura 4.7: Diagrama de flujo reducido a dos procesos del algoritmo UAMITO 2.0.a.

La primer parte corresponde a las rutinas que se activan de manera autónoma, estas rutinas contienen una secuencia de comandos que se envían al módulo de ejecución de información y así lograr los movimientos esperados por el robot. El control autónomo tiene una arquitectura de interconexión de comportamientos jerárquica (figura 4.8). Al ser una arquitectura jerárquica se tienen que establecer prioridades en el orden de ejecución. Al inicio del programa revisa el nivel de voltaje de la batería, al detectar un nivel bajo suspende todo el programa para evitar daños por mal funcionamiento del sistema. La segunda consideración es tener la certeza que el robot se encuentre en posición para ejecutar movimientos, para ello tiene dos sensores que producen alarmas específicas de la posición del robot y su entorno. El sensor de inclinación activa dos alarmas, la alarma de inclinación alta hace que corra una rutina que manda los movimientos necesarios para poner el robot en la zona de trabajo (figura 4.2), la alarma de inclinación baja hace lo propio con una secuencia de movimientos y asegurar que el robot puede trabajar sin

problemas. El sensor de detección de obstáculos se encuentra en el último lugar de importancia para este algoritmo, al encontrarse activada la alarma de detección de obstáculo, el algoritmo ejecuta una rutina para emular un saludo del robot o se puede prescindir de esa rutina y solamente usar la alarma para evitar reproducir movimientos, hasta que la alarma se haya desactivado.

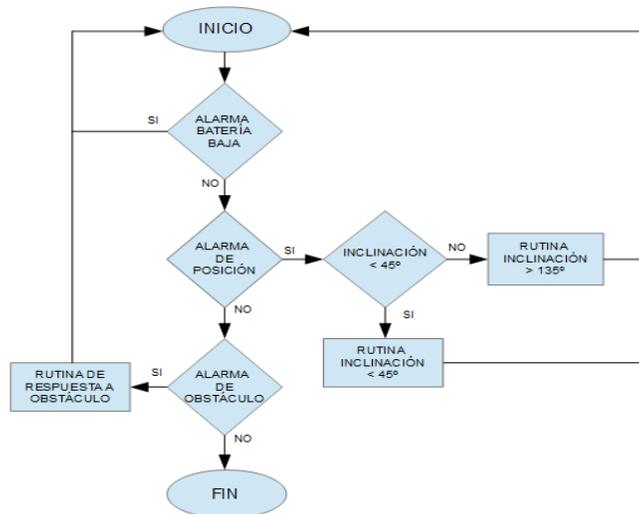


Figura 4.8: Diagrama de flujo del módulo de alarmas del algoritmo UAMITO 2.0.a.

La segunda parte del algoritmo corresponde al control manual. Las instrucciones del control manual vienen de la aplicación móvil, la instrucción que se recibe corresponde a una rutina de movimientos. Las instrucciones del control manual no tienen nivel de prioridad y cuando una rutina está corriendo no se interrumpe hasta que termina. Como se observa el diagrama de flujo de la figura 4.9, una vez que una rutina activada por un comando manual termina el flujo del algoritmo llega al final sin revisar si sea activado otro comando. Al salir de la parte manual, el algoritmo vuelve a comenzar y se completa el ciclo.

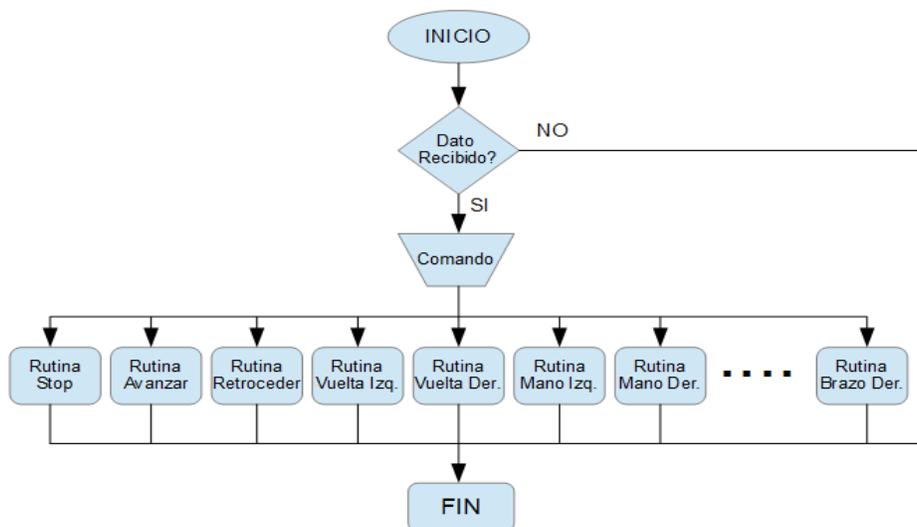


Figura 4.9: Diagrama de flujo del módulo de control manual del algoritmo UAMITO 2.0.a.

4.5 Ejecución de la instrucción

Este módulo es el encargado de ejecutar las instrucciones de movimiento. Tiene la tarea de recibir una instrucción y generar las señales moduladas para asignar una posición a cada servomotor. Para el desarrollo se utilizó una tarjeta Mini-maestro 24 que cuenta con su propia plataforma de programación.

Comenzamos estableciendo la programación de una base de datos que contendrá la información necesaria para generar señales de PWM, para el control de los 18 servomotores, a esta parte la hemos llamado “álbum de fotografías” por la analogía que existe entre nuestro proyecto y un álbum fotográfico. Consideremos que las páginas de nuestro álbum están enumeradas, en programación se le conoce como asignar dirección. La programación de esta base de datos esta implementada en la plataforma “Pololu Maestro Control Center” para la tarjeta mini-maestro 24.

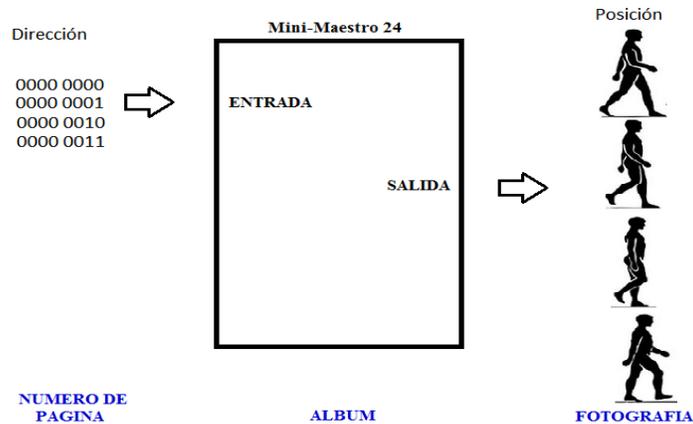


Figura 4.10: Analogía entre el sistema de datos de un álbum fotográfico.

Como podemos apreciar en la figura 4.1, el sistema recibe como entrada una dirección y como respuesta genera una posición estática del robot la cual llamamos fotografía o escena. La tarjeta mini-maestro sólo realiza esta tarea y es independiente del resto del control del robot.

Para generar movimientos se tiene que ir ejecutando diferentes fotografías, por ejemplo para correr una rutina de levantar y bajar los brazos se ejecuta la fotografía que tiene el robot con las manos abajo y después del tiempo que consideremos adecuado ejecutamos la fotográfica que tiene al robot con las manos arriba y repetimos para formar una secuencia.

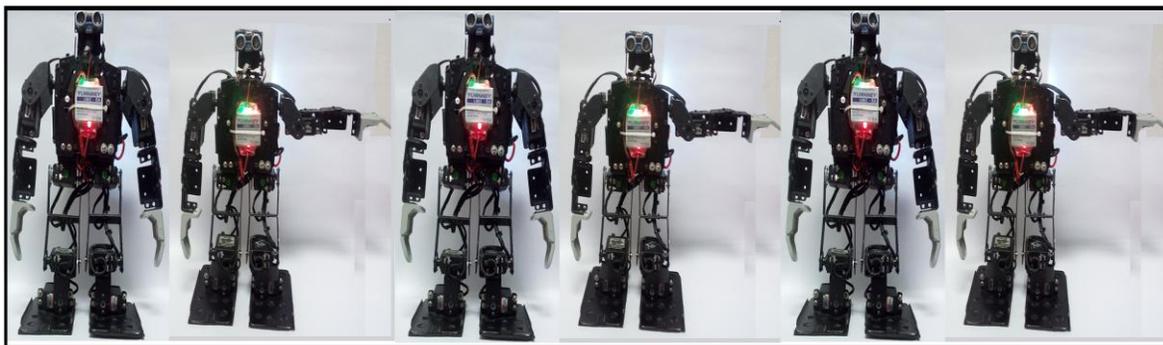


Figura 4.11: Secuencia para levantar y bajar la mano izquierda del robot.

Resultados, Conclusiones y Trabajo futuro

En este capítulo daremos los resultados de la construcción de un robot bípedo, se harán comparaciones en referencia a otros robots en la industria y en la Universidad. Se reporta porqué el robot es catalogado un robot con fines pedagógicos. Se hará un resumen de los eventos que consideremos de mayor impacto donde participamos con los robots. Mencionamos las rutinas programadas para apoyar en terapias con niños con autismo. Por último se proponen diversos trabajos que se pueden seguir realizando.

5.1 Caracterización del robot Bípodo

Al final del proyecto construimos dos robots humanoides que cumplen las características de las dimensiones de la IEEE para ser considerados robots humanoides. Los dos robots siguieron la estrategia de construcción descrita en el cuerpo del trabajo.

PANTERA: Es un robot con 18 servomotores que están estratégicamente ensamblados para representar las articulaciones más importantes para que un ser humano realice movimientos. Es alimentado una pila LIPO de 7.4 V a 2200 mAh. Y tiene un peso aproximado de 1.785 Kg, se puede apreciar su estructura en la figura 5.1a

UAMito; Es un robot con 12 servomotores y alimentado con una pila LiPo de 7.4V a 2200 mAh. La construcción de UAMito inició con la necesidad de ahorrar energía en las presentaciones, tener un robot más ligero en comparación a Pantera, programar de manera mas rápida cualquier cambio en sus rutinas de movimiento. Pero con la desventaja de que no representa las 18 articulaciones más significativas del cuerpo humano. Tiene un peso aproximado 1.500 kg , se puede apreciar su estructura en la figura 5.1b

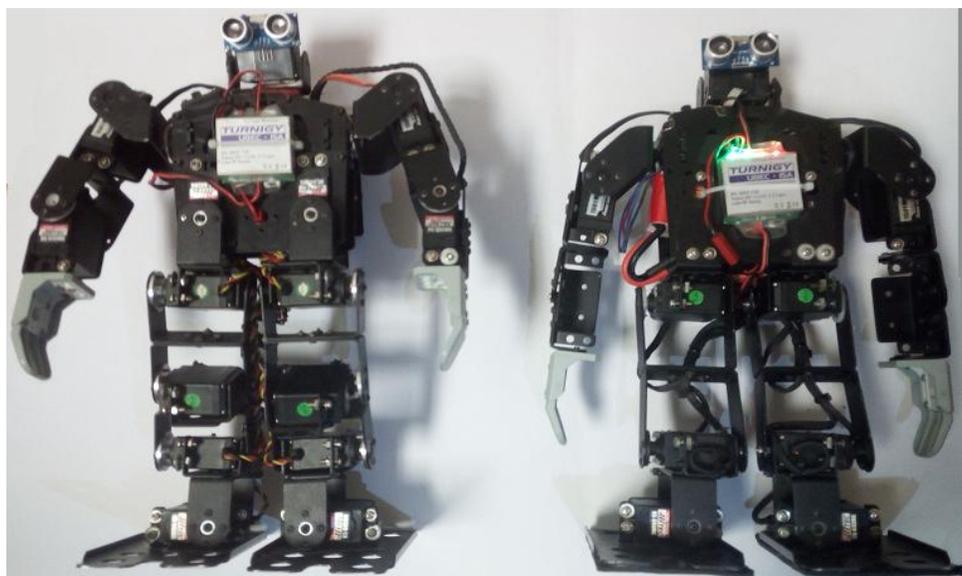


Figura 5.1: A la derecha el Robot PANTERA (a), A la izquierda el Robot UAMito (b).

5.1.1 Cotización de materiales de cada robot

La cotización se realizó el 11 de noviembre del 2018, los precios fueron consultados en tres páginas web (www.robotshop.com, www.pololu.com y www.ebay.com). El precio del DÓLAR a considerar es 18.75 MXN de y el precio del EURO es de 21.71 MXN en el día de la cotización. Los precios se reportan en la tabla 5.1. Donde el costo del robot PANTERA es aproximadamente 11,713 MXN y el costo de UAMito es de 8883 MXN, estos precios se podrían reducir si utilizamos piezas de menor calidad.

Tabla 5.1; Precios comerciales de las piezas utilizadas para ensamblar los robot PANTERA y UAMito.

Material PANTERA	Cantidad	Precio Unitario	Total	Material UAMITO	Cantidad	Precio Unitario	Total
Servo Power 1501 MG	18	300	5400	Servo Power 1501 MG	12	300	3600
BT-01 (Torso)	1	315	315	BT-01 (Torso)	1	315	315
ARF-02 (pies)	1	333	333	ARF-02 (pies)	1	333	333
ASB-04	16	110	1760	ASB-04	10	110	1100
ASB-06	4	55	220	ASB-06	6	55	330
ASB-09	12	120	1440	ASB-09	2	120	240
ASB-10	0	120	0	ASB-10	6	120	720
ASB-11	2	120	240	ASB-11	2	120	240
Arduino UNO	1	150	150	Arduino UNO	1	150	150
Mini-Maestro 24	1	600	600	Mini-Maestro 24	1	600	600
Pila (Li-Po) de 7.4 voltios , 2200 mAh	1	480	480	Pila (Li-Po) de 7.4 voltios , 2200 mAh	1	480	480
Regulador de Voltaje TURNIGY	1	335	335	Regulador de Voltaje TURNIGY	1	335	335
Sensor Ultrasonico HC-SR04	1	20	20	Sensor Ultrasonico HC-SR04	1	20	20
Giroscopio	1	50	50	Giroscopio	1	50	50
Bluetooth HC-05	1	70	70	Bluetooth HC-05	1	70	70
Manos Humanoide	2	150	300	Manos Humanoide	2	150	300
		TOTAL	11713			TOTAL	8883

Para hacer una comparación con un robot comercial elegimos el robot Bioloid Premium que por sus características se asemeja bastante al diseño propuesto, además de ser un robot con los mismos propósitos (un robot pedagógico). En la tabla 5.2 se reportan las características del robot Pantera, UAMito y Bioloid.

Tabla 5.2: Algunas características de los robots PANTERA, UAMito y Bioloid.

Característica	Pantera	UAMito	Bioloid
PRECIO	11713 MXN	8883 MXN	22500 MXN
ROBOT Pedagógico	SI	SI	SI
Numero de articulaciones	18	12	18
Plataforma de Programación	IDE ARDUINO	IDE ARDUINO	RoboPlus
Servomotores	ESTÁNDAR	ESTÁNDAR	DYNAMIXEL AX-12A
Brackets	Aleación de Fibra de Carbón	Aleación de Fibra de Carbón	Plástico
Conectividad Bluetooth	SI	SI	SI
Control Manual	SI	SI	SI
Alimentación	LiPo 7.4V 2200mA	LiPo 7.4V 2200mA	LiPo 11.1V 1000mA
Giroscopio	SI	SI	SI
Sensor de distancia	SI	SI	SI
Micrófono	NO	NO	SI
Audio	NO	NO	SI

El costo de un Robot Bioloid Premium aproximadamente es 22500 MXN, que supera al más del doble el precio de cualquiera de los dos robots (UAMito, PANTERA). Otra ventaja que tenemos sobre el robot Bioloid, son los brackets de fibra de carbono en comparación al plástico que utiliza Bioloid. EL numero de articulaciones son las mismas para el robot PANTERA y Bioloid. Los tres robots se programan en lengua C. Los Servomotores del robot Bioloid son específicos lo que entra en conflicto con el propósito que será reproducible con piezas estándar para facilitar la reproducción de los robots. A pesar que el robot PANTERA y UAMito no cuentan con sensores de audio el sistema está abierto para que en una futura versión se incluya, para los propósitos propuestos no fue necesaria su implementación.

La duración de la batería del robot PANTERA es aproximadamente 45 min. Mientras que la duración de la batería para el robot UAMito es de aproximadamente 3 horas. Esta diferencia es por el número de actuadores que tiene cada robot.

5.2 Robot bípedo como una herramienta pedagógica en la UAM-i

La robótica pedagógica nos dice que por medio de un prototipo despertamos el interés de los alumnos por interactuar con el proceso de concepción, creación y puesta en funcionamiento de mecanismos robóticos. Actualmente en la UAM-I el profesor titular Omar Cabrera Jiménez dentro de sus tareas en la universidad apoya la iniciativa de tener robots pedagógicos que pasan de generación en generación, tal es el caso del robot Ludovico. El robot bípedo descrito en este trabajo cumple con la característica de ser un robot con fines pedagógicos y generar una renovación en tecnología a los robots que actualmente se utilizan para este fin en la UAM-I.

La arquitectura mecánica que se propone hace que el robot sea 100% reproducible, gracias a que es ensamblado con piezas estándar de robótica. La distribución de grados de libertad del robot PANTERA representan las articulaciones más importantes del ser humano para realizar movimientos, por lo que podemos decir que es un robot preparado para utilizarse en diferentes investigaciones de la cinemática del cuerpo humano, así como para ejecutar movimientos que sirven para terapia a los niños con autismo. El material fue proyectado para que tenga el mayor tiempo de vida posible y sea un robot que se utilice en diversos proyectos. Si bien la aleación de polímero de fibra de carbono aumenta el costo del robot, es justificado por las ventajas que ofrece (alta resistencia, bajo peso). La estructura del robot cumple con las medidas exigidas por la IEEE para ser considerado un robot Humanoide, por lo tanto, el robot puede participar en la categoría de robot bípedo humanoide de exhibición o directamente en un torneo de fútbol de humanoides (RoboCup). El robot

UAMito puede ser escalable con más gdl, sin embargo, por la práctica podemos decir que los movimientos son muy parecidos y el ahorro de energía al tener menos servomotores es dos horas de trabajo más que el robot PANTERA.

La arquitectura Electrónica fue pensada para que el tiempo de aprendizaje para trabajar con el robot sea muy breve. Actualmente la mayoría de instituciones educativas trabajan con la tarjeta de desarrollo ARDUINO, la familiaridad de los alumnos que tienen con la plataforma de ARDUINO genera que de inmediato comprendan como el procesamiento de los datos recibidos por los sensores, con lo cual logramos que alumnos trabajen con nuevas formas de manipulación para el robot bípedo. El separar en una tarjeta dedicada la modulación que controla los servomotores nos da la ventaja de trabajar por separado el procesamiento de información y la ejecución de los movimientos, esto también contribuye a reducir el tiempo de adaptación de un nuevo alumno al proyecto.

Por otra parte, la interfaz humana (app UAMito) es muy amigable con el usuario al tener imágenes de las partes del cuerpo que se moverán y botones con instrucciones muy específicas. En el Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad durante una exposición de prototipos se realizó un experimento con la interfaz humana, se invitó a 10 niños (entre 5 y 10 años) que controlaran al robot y 8 de ellos no necesitaron ninguna explicación, dos de ellos mostraron timidez y no controlaron de manera consciente al robot, después se invitaron a 10 jóvenes (entre 10 y 18 años) a controlar el robot y ninguno necesitó ayuda para saber perfectamente cómo controlar el robot bípedo.

La arquitectura de control es un sistema híbrido que permite que el robot realice acciones ordenadas gracias a los sensores, dándole autonomía y al mismo tiempo atiende la interfaz humana que para nuestro proyecto es una aplicación en una tableta electrónica. Este sistema híbrido permite dotar al robot de medidas de seguridad al momento de estar interactuando con el público, además de realizar rutinas que llaman la atención como por ejemplo las rutinas para incorporarse cuando el robot sufre una caída.

La propuesta de tener programadas varias posiciones de los servomotores que llamamos “álbum fotográfico” permite que se puedan crear algoritmos más completos, sin necesidad de preocuparse por la modulación de los servomotores. En especial pensamos que nuestro diseño puede implementar algoritmos de ordenamiento. Al ordenar las paginas (fotografías) se puede reproducir movimientos en el robot.

5.2.1 Difusión de la Ciencia y la Tecnología

Una vez terminado el robot, participamos en diferentes foros de divulgación de la ciencia y la tecnología, acercando las propuestas de innovación y de impacto social. La tabla 5.3, resume algunos eventos en los que participamos, donde intentamos abarcar diferentes tipo de públicos. En junio del 2014 se participo en la feria de robótica para niños en el Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad (MUTEC), donde se trabajó en despertar el interés por las ciencias y tecnologías principalmente con niños. Alejandro Madrigal reportero de Milenio noticias realizó un reportaje de nuestro trabajo [22], donde se describe la experiencia que tuvo Isaac un niño de ocho años de edad con nuestro prototipo, después de la experiencia de manipular el robot bípedo Isaac le dijo, al reportero “Me gustaría crear un robot para que ayude a la gente y a mi familia en la casa”, mientras sostenía la tableta en su mano. Este ejemplo resume el resultado de nuestro trabajo de llevar un robot que sea lo más fácil y entendible para los niños, que su primer acercamiento con los robots sea una experiencia muy agradable, que estos sean amigables y que tengan una morfología que no les cause miedo.

La contribución con la Universidad, es participar en la expo-UAM, Feria de la Ciencias UAM-I y en la semana de Ingeniería Eléctrica, así como en los eventos donde se nos solicita. PANTERA y UAMito hacen equipo junto con el Robot Ludovico para llamar la atención de los visitantes a nuestra Universidad logrando impactar en la experiencia de interacción con robots.

Tabla 5.3: Eventos donde participaron de los robots bípedos.

Lugar	Evento	Fecha
Tecnológico de Ecatepec	Feria de La Ciencia y Tecnología	2013
Universidad Marista de Tlahuac	Concurso de Robótica de Exhibición	2014
Instituto Politécnico Nacional	Concurso de Robótica Aplicada	2014
UAEM-TEXCOCO	IV congreso Nacional de Tecnología Computacional e Informática	2014
Universum (UNAM)	Roboteando	2014
Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad (Mutec)	Octava feria RobotiX Faire	2014
Expo UAM-I	Exposicion de proyectos	2014,2015,2016 2018.
Centro Internacional de Acapulco	Expo ROBOT Acapulco 2018	2018

5.3 Rutinas de movimientos que ayudan a niños con autismo

Uno de los factores importantes por las que se trabaja con robot en terapia es captar la atención del niño y que desarrolle los movimientos terapéuticos para determinar el grado de control de sus extremidades.

Partiendo del hecho de que un niño con autismo tiene lapsos muy cortos para que algo le sea interesante propusimos rutinas cortas pero con movimientos precisos, donde se logra que el niño interactúe con el robot y comienza a imitar los movimientos, el terapeuta puede observar en que movimiento tiene dificultad. Las rutinas de movimientos de extremidades duran aproximadamente 5 minutos. En donde se tienen movimientos de cabeza, cuello, brazos, hombros, piernas, rodillas y pies.

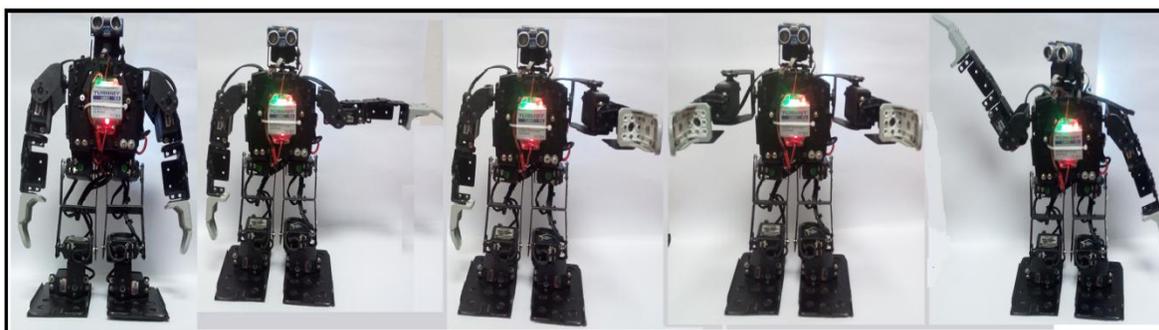
Otra de las características del autismo es que se considera un espectro muy amplio porque cada niño con autismo presenta diferentes rasgos y en distinto grado. En ese sentido es importante saber que cada niño tiene que trabajar con rutinas diferentes. Por ejemplo existen niños que trabajan más la zona del cuello, otros trabajan los brazos, etc. Para facilitar la programación de diferentes rutinas, proponemos tener el “álbum” fotográfico,

así sólo se tienen que seleccionar las imágenes que tiene que reproducir el robot y generar una secuencia específica para cada niño

Un ejemplo de programación de rutinas lo vemos en la figura 5.2 donde se muestra la imagen del robot en 5 posiciones diferentes. Si a cada imagen le damos un tiempo de ejecución de 5 seg. Tenemos 25 segundos de movimiento del robot. En este punto es importante trabajar de la mano de los terapeutas ya que ellos ponen las pautas del tiempo y las repeticiones.

En la actualidad se cuenta con rutinas reprogramadas en la aplicación Android que permite en primer lugar ganar la atención del niño, por medio de movimientos de la cabeza, el robot contesta preguntas que el niño realiza, brindando seguridad y empatía.

Hasta el momento no se logrado tener una sesión de terapia en un ambiente controlado y avalado por terapeutas, pero se han corrido pruebas piloto en las exposiciones donde hemos participado dejando que los niños controlen el robot, corriendo rutinas de aeróbicos que los niños repiten y entablando una comunicación entre los niños y el robot. Hemos tenido resultados favorables en estas pruebas, por lo que podemos decir que el robot está listo para ser usado como herramienta en terapia. Cabe mencionar que en ningún momento proponemos que el robot sustituya la labor de los terapeutas pero que si sea una herramienta que facilite la interacción con el niño.



5.2: secuencia de 5 movimientos en los brazos del Robot UAMito.

5.4 Trabajo futuro

Se debe dar continuidad a la difusión de las Ciencias y Tecnologías, participando en más foros y formando parte del equipo de Robots del profesor Omar Lucio Cabrera J.

Utilizar el robot para implementar técnicas de programación más avanzadas, así como, agregar más sensores que sirvan para darle cada vez un grado mayor de autonomía. También mejorar la aplicación para agregar nuevas funciones.

Sin duda, se debe conseguir una institución que trabaje en las terapias con niños autistas y que quiera formar un equipo para levantar una investigación más profunda de la interacción entre los niños con autismos y el robot bípedo.

5.5 Conclusiones

Se logro satisfactoriamente la construcción de dos robots bípedos, dotándolos de características en sus materiales para asegurar la continuidad del proyecto.

Sin duda la robótica pedagógica juega un papel importante en el desarrollo de las habilidades de los estudiantes independientemente de sus edades, por lo que cubrimos el procedimiento básico que marca la literatura sobre la construcción de un prototipo pedagógico, que es, el Análisis del problema, en la que se investiga y explora el entorno para proponer el problema que se desea resolver (terapia de movimientos de niños con autismo), diseño, en la que se buscan posibles soluciones y se proyecta las metas a cubrir, construcción, en la que se ensambla el modelo con las piezas y materiales adecuados al problema, programación, en la que a través del software se definen los movimientos y comportamientos del prototipo, pruebas, en la que se pone en funcionamiento el prototipo y se analizan los resultados, documentación, en la que se recopilan evidencias que prueban la funcionalidad del diseño, presentación, en la que se expone el prototipo creado como

alternativa de solución al problema. Dejando en la Universidad un robot que tiene bajo costo en comparación con el robot Bioloid y en donde se pueden realizar futuras investigaciones.

La participación en foros de divulgación de la Ciencia y la Tecnología, hace que el conocimiento y las propuestas para resolver problemáticas de la sociedad se refresquen y al mismo tiempo abren la posibilidad de recibir comentarios y críticas del desarrollo del proyecto. Además se tuvo la oportunidad de dejar una huella de curiosidad por la robótica al público en especial a los niños que mostraron entusiasmo al manejar el robot.

Llevamos al robot bípedo al punto de funcionamiento, donde lo proyectamos como una herramienta para terapeutas que se dedican a la estimulación de movimiento de las articulaciones con niños que tienen cierto grado de autismo. Con la ventaja de ser un robot fácil de programar mediante la propuesta de tener pre-programado un “álbum de fotografías”. En comparación con Robot que ya realizan terapias con niños (robot NAO), el robot bípedo propuesto tiene la ventaja de ser mucho más económico y realizar los movimientos que se necesitan en terapia. Con esta investigación contribuimos a la problemática planteada en el artículo de “ Nao-dance therapy for children with ASD”, donde exponen la falta de prototipos dedicados a la interacción entre los robots y los niños con autismo ya que los robots NAO tienen un costo muy elevado y existen pocos expertos que los saben programar.

Bibliografía

- [1] Willis, Chris and Serrat, Regis. Android World. [Online] 10 11, 2009. [Cited: 01 19, 2010.] <http://www.androidworld.com/>.
- [2] Wikipedia contributors. Humanoid robot. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online] Enero 15, 2010. [Cited: Enero 19, 2010.] http://en.wikipedia.org/wiki/Humanoid_robot.
- [3] Guzmán Valdivia, C. H. "Construcción de un robot bípedo basado en caminado dinámico." Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (2010).
- [4] Karel C. R.U.R.(Rossum's universal robots). Penguin Classics.
- [5] Sakagami, Yoshiaki, et al. "The intelligent ASIMO: System overview and integration." Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on. Vol. 3. IEEE, 2002.
- [6] Nagasaki, Takashi, et al "A running experiment of humanoid biped", Robots y sistemas inteligentes, 2004. (IROS 2004). Actas. Conferencia Internacional IEEE / RSJ 2004 sobre. Vol. 1. IEEE, 2004.
- [7] Chestnutt, J., Lau, M., Cheung, G., Kuffner, J., Hodgins, J., & Kanade, T. . Footstep planning for the Honda ASIMO humanoid. In Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on. IEEE. 2005
- [8] Aguilera, A., Aguilar, J., & Subero, A. (2012). Aplicación de apoyo al diagnóstico en marcha patológica mediante análisis cinemático. Universidad Ciencia y Tecnología, 15(58).
- [9] Schuitema, E., MartijnWisse. Using a controller based on reinforcement learning for a passive dynamic walking robot, IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. 2005. pag. 232 - 237.
- [10] Liliana Badilla, Frida Elordi. Análisis de Movimiento, 2011.
- [11] Vukobratovic, M. , B. Borovac, D. Surla, and D. Stokic. Biped Locomotion: Dynamics, stability, Control and application, Editorial Springer. 1990.
- [12] Duncan, William R. "A guide to the project management body of knowledge." (1996).

- [13] Vazquez, J. A., and M. Velasco Villa. "Análisis del deslizamiento en el punto de apoyo de un robot bípedo de 5-gdl." *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial* 10.2 (2013): 133-142.
- [14] Burgueño, Loli, and Jose Carlos Canal-Velasco. "Introducción a los ordenadores." *Tecnología de la Información y Comunicación aplicada a la Terapia Ocupacional* (2018).
- [15] Suzuki, Ryo, Jaeryoung Lee, and Ognjen Rudovic. "Nao-dance therapy for children with ASD." *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. ACM, 2017.
- [16] Solé, Antonio Creus. *Neumática e hidráulica*. Marcombo, 2012.
- [17] Hibbeler, Russell C. *Mecánica de materiales*. Pearson educación, 2006.
- [18] <http://www.lynxmotion.com/>
- [19] <https://www.robocuphumanoid.org/wp-content/uploads/HumanoidLeagueRules2015-06-29.pdf>.
- [20] Schneider, Edward, Yifan Wang, and Shanshan Yang. "Exploring the Uncanny Valley with Japanese Video Game Characters." *DiGRA Conference*. 2007.
- [21] Guerrero, Francisco Armando Payan, Gloria Peña Ramos, and David Lira Leyva. "¿ARDUINO, PLATAFORMA DE DESARROLLO DE APLICACIONES PARA ESTUDIANTES EN ÁREAS COMPUTACIONALES?." *ANFEI Digital* 5 (2016).
- [22]<http://www.milenio.com/cultura/arranca-feria-de-robotica-para-ninos-en-el-mutec>



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00671
México: 212503441

Robot Pedagógico Sipedo.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 13:00 horas del día 6 del mes de diciembre del año 2019 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. DAVID JAIME GONZALEZ MAXINEZ
MTRO. AGUSTIN SUAREZ FERNANDEZ
MTRO. OMAR LUCIO CABRERA JIMENEZ
DR. RENE MAC KINNEY ROMERO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



LUIS MIGUEL PEREZ HERNANDEZ
ALUMNO

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario al último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS (CIENCIAS Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION)

DE: LUIS MIGUEL PEREZ HERNANDEZ

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

REVISÓ



DR. JOSE ANTONIO DE LOS REYES HEREDIA
SECRETARIO GENERAL

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTOR DE LA DIVISION DE CBI



DR. JESUS ALBERTO OCHOA TAPIA

PRÉSIDENTE



DR. DAVID JAIME GONZALEZ MAXINEZ

VOCAL



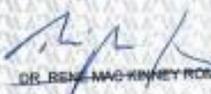
MTRO. AGUSTIN SUAREZ FERNANDEZ

VOCAL



MTRO. OMAR LUCIO CABRERA JIMENEZ

SECRETARIO



DR. RENE MAC KINNEY ROMERO