



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

Posgrado en Tecnología Avanzada

ROBOT HUMANOIDE CON 14 GDL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN TECNOLOGÍA AVANZADA

PRESENTA

Mayra Hernández Torres

Director de Tesis

Dr. Eduardo Morales Sánchez





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Querétaro, Qro siendo las 14:00 horas del día 25 del mes de Noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA, Qro para examinar la tesis titulada:

ROBOT HUMANOIDE CON 14 GDL

Presentada por el alumno:

HERNÁNDEZ

Apellido paterno

TORRES

Apellido materno

MAYRA

Nombre(s)

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 9 | 0 | 0 | 7 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|

aspirante de:

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

Eduardo Morales S.
Dr. Eduardo Morales Sánchez

Eduardo Castillo Castañeda

Dr. Eduardo Castillo Castañeda

José Joel González Barbosa

Dr. José Joel González Barbosa

Alejandro Alfredo Lozano Guzmán

Dr. Alejandro Alfredo Lozano Guzmán

M.C. Maximiliano Ruiz Torres

M.C. Maximiliano Ruiz Torres

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Jorge Adalberto Huerta Ruelas
Dr. Jorge Adalberto Huerta Ruelas





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de _Querétaro el día 25 del mes de Noviembre del año 2011, el (la) que suscribe Mayra Hernández Torres alumno (a) del Programa de Maestría en Tecnología Avanzada con número de registro A090074, adscrito a CICATA, Qro, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Eduardo Morales Sánchez y cede los derechos del trabajo intitulado “ROBOT HUMANOIDE CON 14 GDL”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección Cerro Blanco No. 141 Col. Colinas del Cimatario, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. C.P.76090 emoraless@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Mayra Hernández Torres

Nombre y firma

Agradecimientos

Mis padres, pilares de mi vida.

A mi amigo, novio y ahora esposo por compartir conmigo este largo camino y ser parte de mi vida.

A mis hermanos que son mi admiración

A mi asesor, profesores y CICATA por las facilidades que me brindaron para lograr concluir mis estudios de Posgrado.

A CONACYT por su apoyo Económico

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO..... | 2 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.5 ESTRUCTURA DE TESIS | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1. INTRODUCCIÓN A LOS ROBOTS HUMANOIDES | 4 |
| 2.2. EVOLUCIÓN DE LA ROBÓTICA HUMANOIDE | 5 |
| 2.2.1 Universidad de Waseda..... | 6 |
| 2.2.2 ASIMO (Honda) | 8 |
| 2.2.3 QRIO (Sony) | 9 |
| 2.2.4 KAWADA/AIST | 10 |
| 2.2.5 KAIST-HUBO..... | 11 |
| 2.2.6 JOHNNIE | 12 |
| 2.2.7 HOAP-1 | 13 |
| 2.2.8 TOYOTA..... | 14 |
| 3. ESTUDIO DE LA LOCOMOCIÓN HUMANA Y BÍPEDA..... | 15 |
| 3.1 BIOMECÁNICA HUMANA..... | 15 |
| 3.2 PLANOS DE ORIENTACIÓN DEL CUERPO HUMANO | 15 |
| 3.3 LOCOMOCIÓN HUMANA | 17 |
| 3.3.1 Fase de soporte único (Single Support Phase) | 17 |
| 3.3.2 Fase de Soporte Doble (Double Support Phase) | 18 |
| 3.4 ESTUDIO DE LA CAMINATA EN ROBOTS BÍPEDOS | 18 |
| 3.4.1 Centro de Gravedad | 18 |

| | |
|---|----|
| 3.4.2 ZMP | 19 |
| 4. DISEÑO MECÁNICO | 21 |
| 4.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO | 21 |
| 4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL | 22 |
| 4.2.1 Consideraciones de Diseño | 22 |
| 4.2.2 Locomoción Humana y Caminata Bípeda | 22 |
| 4.3 DISEÑO MECÁNICO | 24 |
| 4.3.1 Propuesta de Estructura | 24 |
| 4.3.2 Tipo de Articulaciones | 25 |
| 4.3.3 Diseño en CAD | 26 |
| 4.4 DISEÑO CONCEPTUAL | 27 |
| 4.4.1 DIBUJO 3D | 28 |
| 4.4.2 SIMULACIÓN | 34 |
| 5. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA | 37 |
| 5.1 DIMENSIONADO | 37 |
| 5.2 DISEÑO MECÁNICO A DETALLE | 38 |
| 5.2.1 ACTUADORES | 38 |
| 5.3 DISEÑO ELECTRÓNICO | 54 |
| 5.3.1 Tarjeta de Movimiento de Servomotores | 54 |
| 6. RESULTADOS | 57 |
| 6.1 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO | 57 |
| 6.2 PRUEBA DE MOVIMIENTO | 58 |
| 7. CONCLUSIÓN | 60 |
| REFERENCIAS | 61 |
| ANEXOS | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2. 1 Hardy-Man de Mosher (General Electric, 1958) | 5 |
| Figura 2. 2 Primer Prototipo WABOT-1 y WABOT-2 (Waseda, 1980-1984) | 6 |
| Figura 2. 3 Prototipo Wabian 2 (Apsua, 2009) | 7 |
| Figura 2. 4 Cronología de ASIMO (HONDA, 2009) | 9 |
| Figura 2. 5 QRIO (Sony, 2011) | 10 |
| Figura 2. 6 HRP-2 | 10 |
| Figura 2. 7 Serie de Robots KHR a) Albert Hubo b) KHR-4 Hubo (Hubo, Lab.) | 12 |
| Figura 2. 8 Johnnie Universidad de Múnich (Biped Robot Johnnie) | 12 |
| Figura 2. 9 HOAP-1 (Ltd., 2001) | 13 |
| Figura 2. 10 Modelos de la Toyota Co (Toyota Partner Robots) | 14 |
| Figura 3. 1 Planos de Orientación del cuerpo Humano ©NASA (NASA, 1995) | 16 |
| Figura 3. 2 Etapas del ciclo de caminata (Human Walking, 1981) | 17 |
| Figura 3. 3 Centro de masa y polígono de soporte | 18 |
| Figura 3. 4 Representación del ZMP (Hamil and Knutzen, 1995) | 20 |
| Figura 4. 1 Metodología de diseño propuesta | 21 |
| Figura 4. 2 Secuencia de Caminata | 23 |
| Figura 4. 3 Propuesta de los GDL en la estructura | 24 |
| Figura 4.4 Comparación articulación anatómica y mecánica (Sistema Oseo, Las Articulaciones Humanas, 2008) | 26 |
| Figura 4. 5 Diseño de servomotor en CAD | 28 |
| Figura 4. 6 Disco de servomotor a) parte interior, b) parte posterior | 29 |
| Figura 4. 7 a) carcasa soporte b) motor montado en carcasa | 29 |
| Figura 4. 8 soporte brazo | 30 |
| Figura 4. 9 Articulaciones a) unión entre carcasa motores b) unión en rodilla | 31 |
| Figura 4. 10 parte superior del torso | 31 |
| Figura 4. 11 parte inferior del torso | 32 |
| Figura 4. 12 Ensamble de extremidad superior derecha | 32 |
| Figura 4. 13 Ensamble de extremidad inferior derecha | 33 |
| Figura 4. 14 Ensamble del Robot | 35 |
| Figura 5. 1 Servomotor HITEC Mod. HS-311 | 38 |
| Figura 5. 2 Rango de operación en servomotor (HITEC Data Sheet) | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 5. 3 Tiempos de duración pulso | 53 |
| Tabla 5- 2Características técnicas del servomotor HITEC HS-311 | 54 |
| Figura 5. 4 USB 16 servo-controller | 55 |
| Figura 5. 5 Interface de conexión..... | 56 |
| Figura 6. 1 Ensamble de prototipo final..... | 57 |
| Figura 6. 2 Secuencia de movimiento | 59 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2- 1 Distribución de GDL en ASIMO..... | 8 |
| Tabla 2- 2 Distribución GDL de HRP-2 | 11 |
| Tabla 2- 3 Distribución GDL HOAP-1..... | 13 |
| | |
| Tabla 4- 1 Configuración de GDL propuestos | 25 |
| Tabla 4- 2 Propiedades Físicas de diseño en CAD de ensamble..... | 36 |
| | |
| Tabla 5- 1 Número de piezas maquinadas..... | 37 |
| Tabla 5- 2 Características técnicas del servomotor HITEC HS-311 | 54 |
| Tabla 5- 3 Especificaciones tarjeta de movimiento | 55 |

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de la estructura mecánica de un robot bípedo humanoide conformado por 14 grados de libertad conectada por articulaciones de tipo rotoide accionado por servomotores RC.

Se propone una estructura mecánica con 2 extremidades inferiores de 3 GDL cada una, 2 extremidades superiores de 3 GDL cada una, 1 tronco con 1 GDL y una cabeza con 1 GDL. En total se tiene una estructura de 14 GDL. La estructura mecánica se diseñó tomando en cuenta las características necesarias para realizar el movimiento de caminata.

La propuesta de diseño de la estructura mecánica está realizada en Solidworks. Se realizó la simulación de los movimientos de la estructura del robot bípedo humanoide y se propuso un diseño conceptual. Se realizó el dibujo a detalle de la estructura mecánica para su construcción. Se construyó el mecanismo del robot bípedo humanoide con piezas maquinadas en lámina de acero calibre 16.

Ensamblada la estructura se probó cada articulación por medio de una tarjeta de control, demostrando la movilidad de los 14 GDL. El robot bípedo humanoide construido tiene una altura de 28 cm y un peso de 7.6 Kg totales.

ABSTRACT

This project presents the design and construction of the mechanical structure of humanoid biped robot with 14 degrees of freedom linked by joints powered by actuators type RC.

We propose a mechanical structure with 2 lower limbs of 3 DOF each, 2 upper limbs of 3 DOF each, 1-DOF in a trunk and 1 DOF in the head. In total the structure has 14 DOF. Mechanical structure was designed taking into account the characteristics necessary for the movement of walking.

The proposed of the mechanical structure design was made on Solidworks. We performed the simulation of the movements of the biped humanoid robot structure and proposed a conceptual design. We performed a detailed drawing of the mechanical structure to the construction of the humanoid biped robot mechanism with parts machine on steel sheet 16 gauges.

Assembled the structure is tested each joint using a control card, showing the mobility of the 14 DOF. The built humanoid biped robot has a height of 28 cm and a weight of 7.6kg.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 ANTECEDENTES

Con la revolución industrial los seres humanos empezaron el desarrollo de máquinas complejas para facilitar los trabajos arduos, difíciles y peligrosos. Sus primeros usos fueron en tareas que requerían esfuerzos físicos y mucho tiempo para completarse.

El desarrollo de dispositivos electrónicos capaces de procesar información permitió la automatización de procesos de producción y una optimización en el procesamiento de información surgiendo así nuevas líneas de investigación como es la robótica.

La robótica es la rama de la tecnología que estudia todos los aspectos involucrados en la construcción y operación de robots. El término robot fue utilizado por primera vez en 1921, por el escritor Checo Karel Capek (1890-1938) en su obra (R.U.R) Rossum's Universal Robot, y proviene de la palabra eslava "robota" que hace referencia a trabajo forzado (Sandler, 1991).

El estudio de la robótica ha tenido un amplio crecimiento en los últimos años, llevando al hombre a construir máquinas capaces de realizar distintas tareas repetitivas o con cierto grado de complejidad de manera automática. El enfoque en la creación de robots de servicio que pueden asistir a los seres vivos se ha incrementado considerablemente en los últimos años, permitiendo la adaptación de máquinas a entornos diseñados para personas.

La compañía Honda con la creación de "ASIMO" considerado el primer gran humanoide que pudo interactuar con la sociedad es la muestra clara del desarrollo en robótica bípeda humanoide, ASIMO ha sido considerado como el principal referente (A.H.M, 2003).

1.2 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y simular la estructura mecánica de un robot humanoide con 14 GDL.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Proponer diseño de estructura mecánica de un robot humanoide con 14 GDL
- Diseño conceptual de un robot humanoide con 14 GDL
- Diseño a detalle de estructura mecánica en CAD
- Construcción y ensamble de la estructura mecánica de un robot humanoide con 14 GDL
- Etapa de acoplamiento de servomotores para el movimiento de los 14 GDL
- Demostración de la funcionalidad de movimientos en los 14 GDL

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los avances de la tecnología y los constantes cambios en la vida moderna han impulsado el desarrollo de la robótica en el mundo y trabajos de investigación sobre robots humanoides, siendo el motivo central de este trabajo de investigación.

Actualmente existe gran variedad de diseños de estructuras mecánicas de robots humanoides y con este proyecto se busca adquirir conocimientos sobre el estado del arte en robots humanoides y los proyectos más importantes con características de caminata bípeda. Se busca proponer un diseño mecánico y tener un primer prototipo para investigaciones posteriores en CICATA.

1.5 ESTRUCTURA DE TESIS

El capítulo 1 comienza con una breve introducción, la definición de los objetivos generales y específicos y la justificación sobre la realización de este trabajo de investigación.

En el capítulo 2 se hace una descripción sobre robots humanoides y una descripción de los proyectos más importantes en la actualidad.

El capítulo 3 hace un análisis del estudio de la locomoción humana, las principales características de la biomecánica humana y planos de orientación del cuerpo humano.

En el Capítulo 4 se plantea el diseño conceptual, la metodología para llevar a cabo el diseño mecánico y sus principales consideraciones.

El capítulo 5 habla sobre la construcción de la estructura mecánica y su dimensionado. Se describe un diseño a detalle, las características de materiales, actuadores y sistema de control de movimiento.

En el capítulo 6 y 7 se discuten los resultados y conclusiones sobre este proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN A LOS ROBOTS HUMANOIDES

La palabra robot de acuerdo a la Enciclopedia Británica se define como “máquina de funcionamiento automático que reemplaza el esfuerzo humano, aunque no puede parecerse a los seres humanos en apariencia o funciones de una manera semejante a la humana”, por lo tanto, la robótica es la disciplina de la ingeniería que se ocupa del diseño, construcción y operación de los robots (Británica, 1973) .

Un robot humanoide es la reproducción parcial o total del comportamiento y movimientos del ser humano. La razón principal de algunos investigadores en robótica es construir robots que tengan una similitud muy cercana a una persona tanto en cuerpo como en comportamiento. (Sandler, 1991).

El comienzo de la robótica surgió a principios de la década de los 60, en 1958, Ralph Mosher, ingeniero de General Electric, desarrolló un dispositivo Hardyman que consistía en dos brazos robóticos teleoperados mediante un maestro del tipo exoesqueleto.

En 1968 aparece el primer sistema bípedo teleoperados, el mecanismo de Witt desarrollado por la universidad de Oxford, su objetivo principal era obtener un sistema capaz de ayudar a las personas discapacitadas. El sistema estaba provisto de dos piernas telescópicas con movimientos muy restringidos lo que lo limitada en sus distintos planos.



Figura 2. 1Hardy-Man de Mosher (General Electric, 1958)

En 1969 Miomir Vukobratovic pionero en la investigación de robots humanoides en conjunto con el equipo de desarrolló del Instituto Mikhail Pupin de Belgrado enuncia el concepto de ZMP (zero moment point) generando así un avance fundamental en la investigación sobre robots humanoides (McGhee, 1966).

El empleo del ZMP se hace fundamental a la hora de diseñar el control dinámico de cualquier robot bípedo y es un elemento básico a la hora de planificar la estrategia de diseño, tanto de la máquina como de la secuencia de movimiento. (Vukobratovic M, 1990)

2.2. EVOLUCIÓN DE LA ROBÓTICA HUMANOIDE

Son muchos los proyectos e investigaciones que se están desarrollando actualmente a nivel mundial, algunos de ellos han tenido mayor trascendencia, entre los más importantes se encuentran:

2.2.1 Universidad de Waseda

En los años 60 en la Universidad de Waseda en Tokio se desarrollaron algunos prototipos en robots humanoides, centrados en el diseño y análisis extremidades artificiales (Ichiro, 1987).

En 1967 se diseña un mecanismo conocido como WAM-1 que fue considerado como la base para el diseño en sistemas de locomoción bípeda. En 1986 la segunda generación de la serie WL-12RDIII y su sucesor WL-3, tenía la capacidad de sentarse y levantarse por medio de actuadores electrohidráulicos y con él surge el concepto maestro-esclavo en un sistema de control.

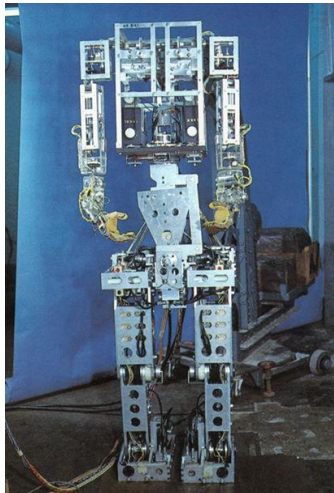


Figura 2. 2 Primer Prototipo WABOT-1 y WABOT-2 (Waseda, 1980-1984)

Posteriormente en 1971 el WL-5 estaba provisto de 10 GDL y 1 más en la cadera que permitía desplazar su centro de gravedad en plano horizontal logrando así una estabilidad. En 1980 aparece el modelo WL-9DR, empleaba una computadora de 16 bits, y requería 10 s/paso. Entre los años 1982 y 1984 aparece el WL-10R y el WL-10RD fabricado con materiales como fibra de carbono y plástico logrando aminorar la velocidad de paso a 4.4 s/paso. El modelo WL-10RD estaba provisto de un control dinámico del movimiento, y sensores en el tobillo y cadera. En 1986

los modelos WL-12 y WL-12RDIII con su control les permitían subir y bajar escalones, siendo la culminación de esta serie.

Empleando los conocimientos adquiridos, la Universidad de Waseda desarrolla el robot WABOT-1 considerándose el primer robot bípedo con forma humanoide y autónomo construido en el mundo. Este modelo estaba provisto de un sistema de comunicación, sensores mediante los cuales podía medir distancias y reconocer determinados objetos (Takahashi, 1997).



Figura 2. 3 Prototipo Wabian 2 (Apsua, 2009)

La última serie de robots bípedos desarrollados por la Universidad de Waseda son los robots WABIAN (1995) y sus sucesores WABIAN-RII (1996), WABIAN-RIII (1997) Y WABIAN-RV (1998) (Waseda Bipedal Humanoid) continuando su desarrollo para presentar su última evolución en 2006, entre sus características se encuentran la capacidad de portar objetos, mayor grado de libertad, una mayor estabilidad y velocidad de movimiento.

2.2.2 ASIMO (Honda)

ASIMO (Advanced Step in Innovative Mobility) es considerado el robot humanoide más avanzado en la actualidad (Y. Sakagami, 2002). Honda ha empleado una gran cantidad de recursos humanos y financieros. La investigación comenzó en 1986 pero en el año 2000 se dio a conocer al mundo el primer prototipo. La versión más reciente mide 130 cm, pesa 54Kg y está provisto de 34 GDL distribuidos de la siguiente manera:

| Distribución | Articulación | GDL |
|------------------------------|---|------------|
| Cabeza | Cuello (A/A, D/I, Rot) | 3 |
| Brazo | Hombro (AD/AT, A/A, Rot) codo (AD/AT) muñeca (A/A, D/I, Rot) | 7X2 |
| Mano | 4 dedos (para sostener objetos/ pulgar) | 2x2 |
| Cadera | Rot | 1 |
| Piernas | Entrepierna, (AD/AT, D/I, Rot) Rodilla (AD/AT) Tobillo (AD/AT, L/R) | 6x2 |
| Total | | 34 |
| A/A:arriba/abajo | D/I: derecha/izquierda | |
| AD/AT: adelante/atrás | Rot: rotación | |

Tabla 2- 1 Distribución de GDL en ASIMO

ASIMO implementa la tecnología llamada i-WALK (Intelligent Real-Time Flexible Walking (Caminado flexible e inteligente en tiempo real), que le permite girar cuando camina sin pausas en su movimiento. Usando la información de sus sensores, evita obstáculos y reconoce su posición.

Es capaz de ubicar una fuente de sonido y reconocer algunas palabras, posee también una gran capacidad de interacción con las personas gracias a su tecnología de reconocimiento visual. Puede reconocer rostros de 10 personas diferentes y asociarlas con su nombre. Corre a una velocidad de 6 km/h en línea recta y a 5 km/h de manera circular. (A.H.M, 2003)



Figura 2. 4 Cronología de ASIMO (HONDA, 2009)

2.2.3 QRIO (Sony)

Qrio (Quest for Curiosity) es la culminación de una investigación sobre robots humanoides por parte de Sony, sus orígenes se remontan al año de 1997 cuando la compañía empezó a desarrollar sus primeros prototipos. Este robot posee un sistema de caminata dinámicamente estable y es capaz de adaptarse a terrenos irregulares, detecta obstáculos esquivándolos, tiene reconocimiento de rostro, sonido, palabras, diálogo e interacción con personas. Tiene una longitud de 58 cm y un peso de 7 Kg, una capacidad de ejecución de 1,000 diferentes movimientos con un total de 28 grados de libertad mas 5 dedos en cada mano, camina a una velocidad de 1.188 km/h. Cuenta con un sistema operativo de tiempo real llamado APERIOS desarrollado por Sony. Así mismo posee diversos sensores de distancia, aceleración, presión y de contacto (Sony, 2011).



Figura 2. 5 QRIO (Sony, 2011)

2.2.4 KAWADA/AIST

Este robot fue diseñado por Kawada Industries (Yokoi, 2003) junto con un grupo de investigadores del Instituto Nacional de Ciencia Industrial y Tecnología Avanzada (AIST). Su primer prototipo fue el HRP-1, posteriormente el HRP-2's con una altura de 154 cm y un peso de 58 Kg con baterías incluidas; posee 30 grados de libertad incluyendo dos en la cadera. Sus extremidades inferiores fueron diseñadas para caminar en terrenos irregulares. Tiene conexiones y una rigidez axial que permite mejorar el movimiento durante su desplazamiento.



Figura 2. 6 HRP-2

El robot HRP-3 Promet Mk-II es su versión más reciente. Tiene una estructura mecánica diseñada para prevenir la penetración de polvo u otras sustancias que pueden dañarlo (Yokoi K. , 2003). El diseño de sus manos le permite la manipulación de diversos objetos y cuenta con un avanzado software para la interacción en ambientes reales. Construido sobre la base robótica del HRP-2, este robot mide 160.6 cm y pesa 68 kg incluyendo las baterías. Este robot cuenta con 42 GDL configurados de la siguiente manera:

| Distribución | GDL |
|---------------------|------------|
| Cabeza | 2 |
| Brazo | 7X2 |
| Mano | 6x2 |
| cadera | 2 |
| Piernas | 6x2 |
| Total | 42 |

Tabla 2- 2 Distribución GDL de HRP-2

2.2.5 KAIST-HUBO

Unos de los más conocidos robot humanoides en Corea del Sur desarrollado por el Instituto Superior Coreano de Ciencia y Tecnología; es Hubo presentado en el año 2003, el último desarrollo de la serie de robots KHR-1, KHR-2 y KHR-3-Hubo, tiene una estatura de 125 cm y un peso de 56 Kg. Tiene la capacidad de caminar a una velocidad de 30 cm/seg, una capacidad de hablar usando un sistema de reconocimiento de palabras, un sistema de visión y está provisto de 41 GDL.



Figura 2. 7 Serie de Robots KHR a) Albert Hubo b) KHR-4 Hubo (Hubo, Lab.)

2.2.6 JOHNNIE

Desarrollado por la Universidad de Múnich en Alemania es un robot bípedo que posee una caminata estable por su dinámica y logra adaptarse a terrenos irregulares como curvas. Su caminata la realiza en una velocidad de 2.6 km/h gracias al diseño de sus brazos que le facilitan la estabilidad; tiene un peso de 49 Kg, una altura de 180 cm y cuenta con 17 GDL. (München, 2003-2011)



Figura 2. 8 Johnnie Universidad de Múnich (Biped Robot Johnnie)

2.2.7 HOAP-1

La compañía Fujitsu también incursionó en el área de humanoides en el año 2003 con el HOAP-1 por sus siglas (Humanoid Open Architecture Platform), tiene la capacidad de aprendizaje provisto de una red neuronal para el control de locomoción evitando así la modelación cinemática, dinámica o la generación de trayectorias estables con el uso de criterios complejos, además de utilizar RTLinux con un sistema operativo en tiempo real (Ltd., 2001).



Figura 2. 9 HOAP-1 (Ltd., 2001)

Tiene un peso de 6 Kg. y una altura de 48 cm con una velocidad de caminata a 2 km/h. este robot recibió el premio de innovación tecnológica de la sociedad de robótica japonesa. Posee 28 GDL distribuidos de la siguiente manera:

| Distribución | GDL |
|---------------------|------------|
| Cabeza | 3 |
| Brazo | 5X2 |
| Mano | 1x2 |
| Cadera | 1 |
| Piernas | 6x2 |
| Total | 28 |

Tabla 2- 3 Distribución GDL HOAP-1

2.2.8 TOYOTA

Toyota también ha presentado una serie de robots uno de ellos puede caminar en dos piernas y puede ser montado encontrando su aplicación en rehabilitaciones, tiene un peso de 75 Kg. y una altura de 180 cm. También ha trabajado en el diseño de un robot capaz de tocar la trompeta con una semejanza a la que un humano podría, otros de sus modelos son un bípedo con un peso de 35 Kg y una estatura de 120 cm y otro móvil con un peso de 35 Kg igualmente y una altura de 120 cm con la habilidad además de sujetar variedad de objetos. (Toyota, 1995)



Figura 2. 10 Modelos de la Toyota Co (Toyota Partner Robots).

Toyota ve la robótica como uno de sus principales negocios en el futuro, ha intensificado esfuerzos en los últimos años para desarrollar el estilo de vida con apoyo de androides para su utilización en la enfermería y la atención de la salud. La compañía también cree que la investigación conduzca al desarrollo del cerebro-máquina interfaces que permitan a los usuarios manejar el equipo mediante el pensamiento (Saavedra, 2008).

3. ESTUDIO DE LA LOCOMOCIÓN HUMANA Y BÍPEDA

3.1 BIOMECÁNICA HUMANA

El cuerpo humano está compuesto de aproximadamente 350 pares de músculos que permiten al hombre realizar actividad esquelética completa. Todo este sistema en si posee una gran complejidad dinámica.

La biomecánica de movimientos humanos puede definirse como un estudio interdisciplinario que describe, analiza y estudia los movimientos humanos. La caminata humana está compuesta de distintos movimientos físicos que envuelven varios factores como son los planos de orientación del cuerpo humano, el sistema muscular-esquelético está compuesto por huesos cartílagos uniendo así las articulaciones, músculos y tendones que actúan en cada parte del cuerpo el cual resulta difícil de reemplazar por componentes mecánicos. (Introducción a la Anatomía, la Cinesiología y la Biomecánica, 2009)

Al igual que en el cuerpo humano, el análisis de movimiento para un sistema robótico resulta complejo, debido al gran número de grados de libertad; considerando además el control para la estabilidad durante la locomoción y el contacto del pie con el suelo, produciendo así cadenas cinemáticas cerradas y abiertas de forma cíclica y periódica como sucede con el ser humano.

3.2 PLANOS DE ORIENTACIÓN DEL CUERPO HUMANO

Existen tres planos que corresponden a las tres dimensiones de espacio. Cada plano es perpendicular con respecto a los otros dos. Desde la posición anatómica, se pueden trazar estos tres cortes o planos anatómicos, el plano sagital, coronal y transversal que permiten conocer la dirección que tiene las estructuras del cuerpo

humano. Los ejes de movimiento representan aquella línea imaginaria alrededor de la cual se realiza el movimiento articular de un segmento corporal (Xu, 1998). La figura 3-1 muestra los planos de orientación.

El plano sagital es un plano vertical que pasa a través del cuerpo en dirección desde el frente hacia atrás, dividiendo a este en mitades: derecha e izquierda. El plano frontal representa un plano vertical que pasa a través del cuerpo de lado, dividiéndolo en porciones anterior y posterior y formando un ángulo recto (perpendicular) en el plano sagital.

El plano transversal es un plano horizontal que pasa a través del cuerpo, dividiendo al plano transversal en superior e inferior. El plano cardinal se refiere a un término de orientación utilizado cuando el movimiento ocurre en un plano que pasa a través del centro de gravedad.

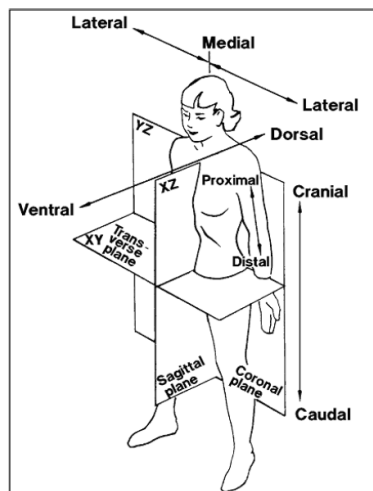


Figura 3. 1 Planos de Orientación del cuerpo Humano ©NASA (NASA, 1995)

Los planos de orientación del cuerpo humano son de importancia en el desempeño del robot humanoide y su funcionalidad radica en el diseño mecánico. Un diseño mecánico óptimo permite desarrollar piezas ligeras y resistentes, aumentando la capacidad de respuesta. El ensamble de todas ellas debe producir un sistema mecánico estable, sólido y robusto

3.3 LOCOMOCIÓN HUMANA

El andar humano puede verse desde varias perspectivas, mecánico, geométrico, energético y anatómico. Durante el desplazamiento cada parte del cuerpo tiene un movimiento específico que ayuda a mantener el equilibrio. La caminata se considera un proceso cíclico y se analiza en una serie de fases: fase de soporte doble (double support phase) y fase de soporte único (single support phase). Estas fases se determinan haciendo referencia a todo el cuerpo y sobre como el cuerpo es soportado por cada pierna.

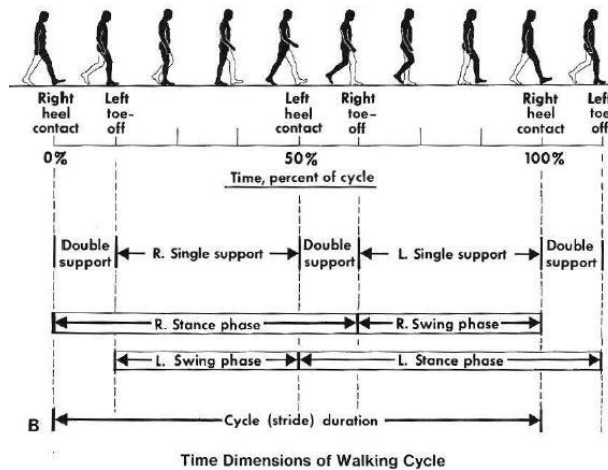


Figura 3. 2 Etapas del ciclo de caminata (Human Walking, 1981)

3.3.1 Fase de soporte único (Single Support Phase)

En esta fase, el pie que está apoyado en el suelo es el que se toma como referencia y es el que mantiene todo el peso del cuerpo. La fase de soporte único comienza cuando la pierna que no es considerada soporte se eleva y los dedos del pie son el único contacto con el suelo. La duración del ciclo concluye cuando este pie vuelve a tocar el suelo con el talón. (Ayyappa., 1997).

3.3.2 Fase de Soporte Doble (Double Support Phase)

En esta fase ambos pies se encuentran en contacto con el suelo de tal manera que el soporte del cuerpo es sostenido por ambas extremidades. El comienzo de esta fase se da cuando el talón de una pierna toca por primera vez el suelo y termina cuando los dedos del pie de la otra pierna se despegan del suelo. Esta fase es relativamente corta pero indispensable para que el soporte cambie de una pierna a otra (Ayyappa., 1997).

3.4 ESTUDIO DE LA CAMINATA EN ROBOTS BÍPEDOS

3.4.1 Centro de Gravedad

El centro de gravedad es el centro de simetría de masa y es donde se intersecan los planos sagital, frontal y horizontal; aquí se concentran las resultantes de todas las fuerzas de gravedad que son aplicadas a un cuerpo. El concepto de centro de masa que es el punto donde está concentrada toda la masa y el centroide es la intersección de los planos que dividen al cuerpo en partes iguales logrando la simetría del cuerpo. La figura 3-3 muestra la localización del centro de masa que se encuentra dentro del polígono de soporte.

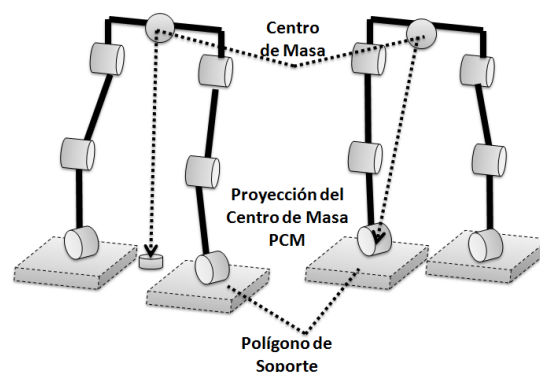


Figura 3. 3 Centro de masa y polígono de soporte

En la caminata bípeda existen dos tipos de caminata y depende de la ubicación donde se encuentra el centro de masa (Kang, 1999), en el caminado por balanceo estático el centro de masa del robot se encuentra siempre dentro del polígono de soporte y no resulta muy eficiente por lo que requiere de áreas del pie mayores haciendo la caminata más lenta y el consumo de energía en los actuadores se incrementa; mientras que en el balanceo dinámico el centro de masa se encuentra fuera del polígono de soporte y permite una velocidad de caminata mayor siendo un modelo que se basa en el que utiliza el ser humano para caminar reduciendo el consumo de energía en los actuadores.

3.4.2 ZMP

El criterio de estabilidad dinámico ha sido uno de los modelos más utilizados para lograr una marcha estable. Miomir Vukobratovic (1970) propuso el criterio de estabilidad del momento cero mejor conocido como “ZMP”, se introdujo como parámetro de la medida de la estabilidad hace aproximadamente tres décadas y es considerado la base de casi todo el control de estabilidad de caminata en robots bípedos (Vukobratovic M, 1990).

El ZMP es definido como el punto en el suelo en el cual las fuerzas de reacción en contacto con el pie no producen momento alguno (a excepción del eje vertical), el pie no se resiste a cambiar su posición debido a las fuerzas de reacción. Mientras el ZMP se encuentre dentro del polígono de soporte, el robot se puede considerar estable y habilitado para caminar (Vukobratovic M, 1990). Es considerado una herramienta muy importante en referencia a la generación de caminata en robots humanoides.

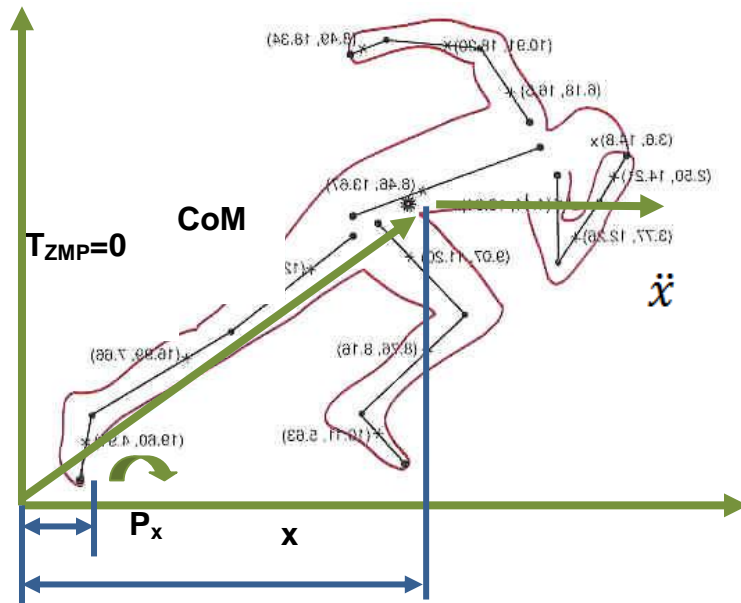


Figura 3. 4 Representación del ZMP (Hamil and Knutzen, 1995)

Esta definición engloba tanto para la caminata estática y dinámica, dado que el ZMP es cero, el momento de inflexión con el tiempo se convierte cero, esto quiere decir que hay un momento de inflexión que actúa sobre el cuerpo. Si el ZMP está fuera del polígono de soporte entonces hay un momento de torsión neto que actúa sobre el cuerpo diferente de cero y la marcha se vuelve inestable. Es así como se puede concluir que la marcha no es estable y el cuerpo puede caer con el tiempo, que es lo que sucedería en la figura 3-4 si la persona no acelerara y avanzara hacia adelante.

4. DISEÑO MECÁNICO

4.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Diseñar es formular un plan para resolver un problema. Si el plan propicia la creación de algo que tiene una realidad física, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se pueda fabricar y comercializar. Para recordar que los diseños tienen limitaciones y que tienen que presentar al principio cualidades conocidas y está sujeto a restricciones de la solución del problema a partir de un componente, sistema o proceso para realizar una tarea específica y poder obtener una solución lo más óptima posible (Hubka, 1992).

El diseño de un robot humanoide está compuesto por varios elementos mecánicos, eléctricos y de control que lo convierten en un sistema mecatrónico complejo, cada elemento en particular requiere un estudio a detalle. Por lo anterior este trabajo se centra únicamente en los elementos mecánicos y eléctricos. La metodología de diseño propuesta se muestra en la figura 4-1 y permite definir las características necesarias para obtener un modelo óptimo y que cumpla con las consideraciones de diseño.

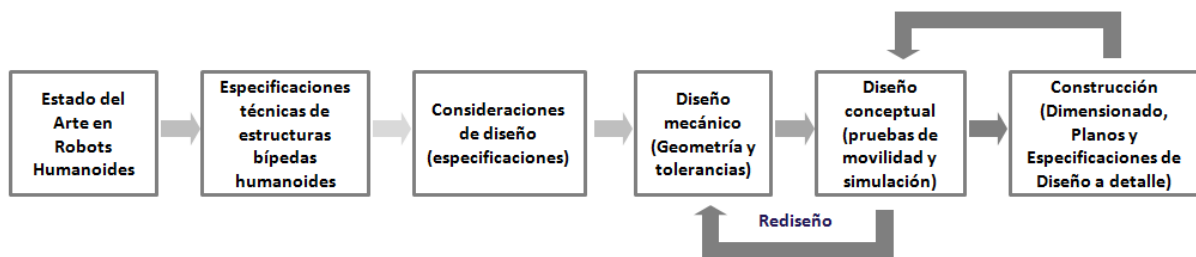


Figura 4. 1 Metodología de diseño propuesta

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

4.2.1 Consideraciones de Diseño

Las especificaciones de diseño dan una visión más amplia de los requerimientos que se necesitan para cumplir con los objetivos mostrados en el capítulo 1; los requerimientos a cubrir en la estructura bípeda humanoide se muestran a continuación:

- Una estructura que facilite la caminata bípeda
- La estructura debe poseer 14 GDL: 12 GDL para las extremidades, 1 GDL para el tronco y 1 GDL para la cabeza
- Articulaciones de tipo rotoide a utilizar
- Actuadores de tipo RC a utilizar
- Diseño mecánico eléctrico de articulaciones
- Propuesta de cada articulación mecánica
- Propuesta de estructura global.

4.2.2 Locomoción Humana y Caminata Bípeda

El andar humano puede verse desde varias perspectivas, mecánico, geométrico, energético y anatómico. Este trabajo se centra en un modelo mecánico que tenga los movimientos más simples del ser humano.

La caminata se considera un proceso cíclico y se analiza en una serie de fases, fase de soporte simple (single support phase) y fase de soporte doble (double support phase). Estas fases se determinan haciendo referencia a todo el cuerpo y sobre como el cuerpo es soportado por cada pierna como se explicó en el capítulo anterior.

Considerando que la fase de soporte simple comienza cuando una de las piernas deja el suelo y los dedos del pie son el último contacto con el suelo mientras que la fase de soporte doble empieza cuando el talón de una pierna toca por primera vez el suelo y termina cuando los dedos del pie de la otra pierna se despegan del suelo; la base para proponer una caminata en este proyecto es una fase de soporte simple haciendo las consideraciones de Centro de gravedad, masa y centroide descritas en el capítulo 3.

La secuencia de caminata propuesta que muestra la figura 4-2 comienza cuando una de las piernas comienza a flexionar el grado de libertad que hace la función de rodilla y el grado de libertad que se encuentra en el pie y que se encuentra dentro del polígono de soporte se mueve de tal manera que flexione todo el pie hacia afuera permitiendo un ligero balance en la estructura completa y esto permita que la rigidez en la otra pierna sea menor y se pueda habilitar así el grado de libertad provisto en la rodilla. Posteriormente se realiza el mismo movimiento en la segunda pierna y la primera pierna comienza a regresar a su posición original.

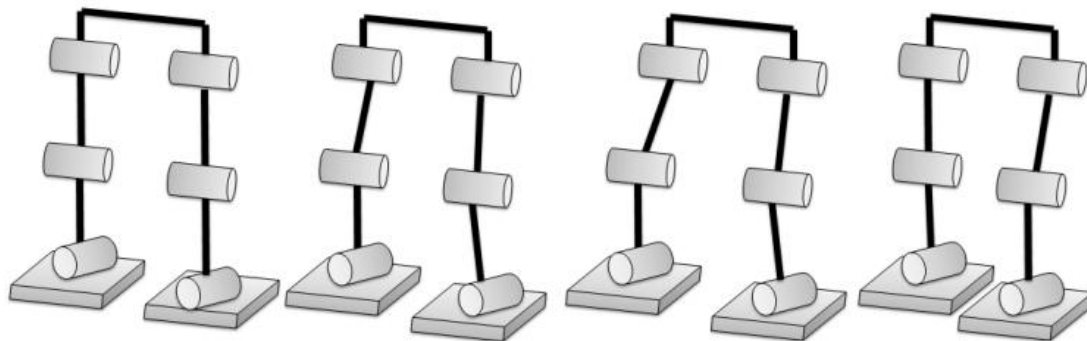


Figura 4. 2 Secuencia de Caminata

4.3 DISEÑO MECÁNICO

4.3.1 Propuesta de Estructura

La estructura mecánica comprende la configuración de los grados de libertad utilizados para generar el movimiento en cada una de las articulaciones del robot. Esta estructura está constituida por 14 GDL. En la descripción de movimiento de una estructura un grado de libertad se puede definir como el número de variables de posición independientes que tendrían que especificarse para poder localizar todas las piezas del mecanismo. El número de articulaciones es igual al número de grados de libertad (Bruno & Sciavicco, 2009).

Un grado de libertad es el número de variables de posición independientes que tendrían que especificarse para poder localizar todas las piezas del mecanismo (Craig, 2007). El número de articulaciones es igual al número de grados de libertad. La configuración de los grados de libertad se encuentran distribuidos como lo muestra la figura 4-3, esta consideración se hace a partir del objetivo de tener 14 grados de libertad.

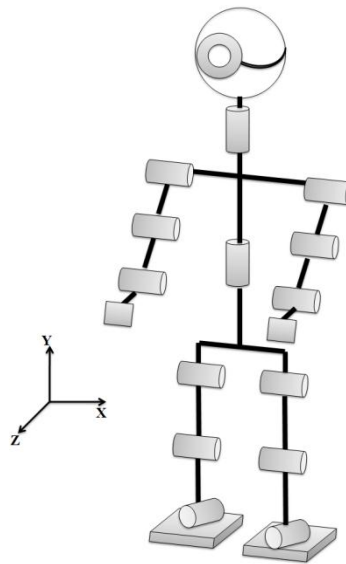


Figura 4. 3 Propuesta de los GDL en la estructura

Los grados de libertad propuestos para esta estructura se muestran en la tabla 4-1 se distribuyen de la siguiente manera

| Articulación | | GDL |
|---------------------|---------|------------|
| Pierna | Cadera | 1 |
| | Muslo | 1x2 |
| | Rodilla | 1x2 |
| | Tobillo | 1x2 |
| Brazo | Hombro | 1x2 |
| | Codo | 1x2 |
| | Muñeca | 1x2 |
| Cabeza | Cuello | 1 |

Tabla 4- 1 Configuración de GDL propuestos

4.3.2 Tipo de Articulaciones

Una articulación en anatomía es el medio de contacto que hace la unión entre dos huesos próximos, su función más importante es constituir puntos de unión del esqueleto y producir movimientos mecánicos (Las Articulaciones en el Cuerpo Humano , 2007). Fisiológicamente las articulaciones se dividen de la siguiente manera:

Movimiento mono axial: el movimiento angular solo es en un eje como el comportamiento del codo.

Movimiento biaxial: el movimiento se realiza en dos ejes distintos, como por ejemplo el de la muñeca

Movimiento triaxial: el movimiento se realiza en tres ejes como el movimiento de la cadera.

Movimiento noaxial: el movimiento solo es de deslizamiento

Las articulaciones son las uniones que permiten interactuar el sistema muscular con el esqueleto. La forma de clasificar las articulaciones es por la cantidad de ejes que posee y su estructura. La figura 4-4 muestra una comparación entre la estructura atómica humana y una mecánica.

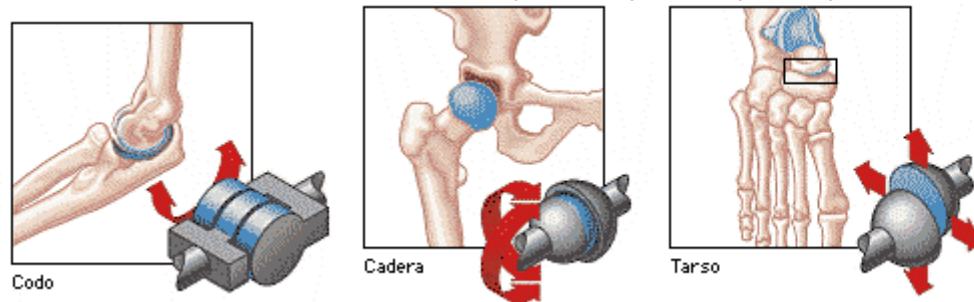


Figura 4. 4 Comparación articulación anatómica y mecánica (Sistema Oseo, Las Articulaciones Humanas , 2008)

De acuerdo al tipo de articulaciones mencionadas el desempeño de la estructura mecánica se basa en el diseño mecánico, las piezas deben tener una menor inercia posible y tener una similitud con las articulaciones mencionadas, para esta estructura las articulaciones que se utilizaron fueron del tipo rotatorias. Esto en conjunto con los grados de libertad propuestos permitirá tener mayor movimiento en cada una de las piezas que se propondrán para el diseño limitado al tipo de servomotores que se utiliza.

4.3.3 Diseño en CAD

El diseño mecánico está compuesto por tres fases importantes que permiten la realización de la etapa de diseño. El diseño asistido por computadora o CAD es un método que facilita el diseño y modelado de objetos virtualmente. Esta opción permite un ahorro en tiempo, costo y construcción por la flexibilidad que tiene para modificar la estructura así como los materiales que se utilizan en cada diseño.

La etapa de diseño en CAD se dio en dos fases: la primera fue el diseño individual de piezas en base a los requerimientos y dimensiones de los servomotores a utilizar. Posteriormente se realizó el ensamble de las piezas para obtener las extremidades inferiores del robot.

Debido a que el diseño de las piezas son del tipo universal en el modelo permitió que el ensamble se pudiera utilizar tanto en las extremidades inferiores como las superiores, permitiendo que el ensamble fuera sencillo.

El diseño del tronco se realizó tomando en cuenta dos aspectos: 1) Las dimensiones proporcionales al tamaño del robot 2) Dimensiones de la tarjeta USB-16 servo Controller que se utilizaron para la secuencia de movimiento de los servomotores y las especificaciones de las piernas, brazos y cabeza. El tronco está formado por dos piezas específicamente, la primera parte unida a las extremidades inferiores y en esta se posicionara el servomotor que permitirá el movimiento de 1 GDL en la cadera, la segunda parte es la que permite la unión con la cabeza y los brazos, ambas piezas están separadas y reforzada por unos bujes que evitara fricción entre cada una de estas y de igual manera evitara un trabajo forzado por parte del servomotor.

4.4 DISEÑO CONCEPTUAL

La primera fase del desarrollo de este proyecto comprende el estado del arte que en el capítulo 2 se explico detalladamente, posteriormente con las consideraciones de diseño y la propuesta de la estructura se considera la pre-selección de actuadores para posteriormente llegar a la etapa de diseño en CAD misma que será simulada para tener una idea del comportamiento de la estructura

El diseño conceptual es la propuesta en 3D del prototipo. El diseño conceptual parte de las consideraciones de diseño, características mecánicas, articulaciones mecánicas con actuadores y que permite una vez que la estructura se encuentra

en CAD realizar la simulación de movimientos para comprobar la funcionalidad de estos.

4.4.1 DIBUJO 3D

El diseño en 3D del robot humanoide está compuesto de varias etapas. La primera etapa corresponde a los actuadores que para este proyecto serán los servomotores HICTEC-311 en el capítulo 5 se hace una descripción de estos actuadores sin embargo por sus características de potencia fueron los que se tuvieron en consideración siendo este aproximadamente 3.7Kg/cm y un peso aproximado de 43 grs., además que resulta ser un actuador que fácilmente se encuentra en el mercado y que puede ser sustituido sin ningún problema y considerando que para este correo se requieren 14 servomotores. Lo importante a considerar en esta etapa son las dimensiones y la forma de los actuadores para proponer las articulaciones que los contendrán. La figura 4-5 muestra el diseño en CAD del servomotor con las dimensiones reales para que en base a esto comenzar con el de las piezas que harán la función de soporte para el servomotor.

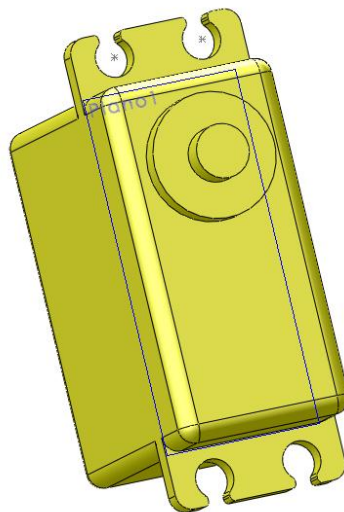


Figura 4. 5 Diseño de servomotor en CAD

Para realizar el acoplamiento entre el servomotor y las articulaciones necesarias para la construcción del prototipo se diseñó los ejes al engrane del servomotor la figura 4-6 muestra el diseño de esta pieza.

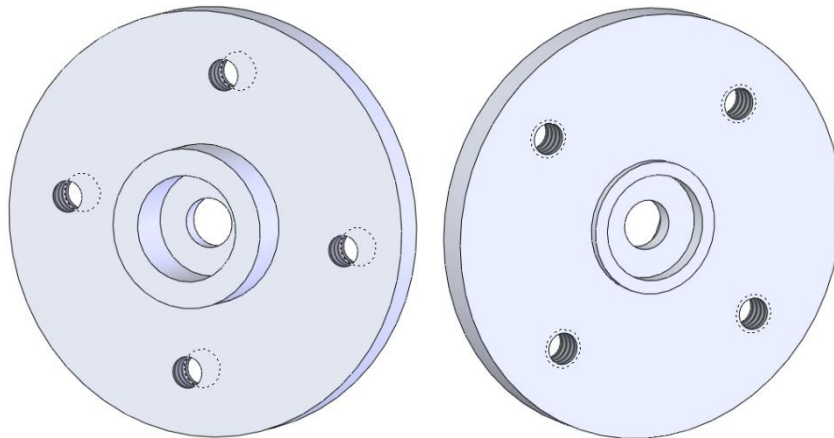


Figura 4. 6 Disco de servomotor a) parte interior, b) parte posterior

Para el soporte del servomotor se diseñó la pieza mostrada en la figura 4-7, esta carcasa por su diseño permite la colocación y reemplazo rápido del servomotor, esta pieza es de fundamental importancia debido a que en todo el ensamble se utilizó para el soporte de los 14 servomotores.

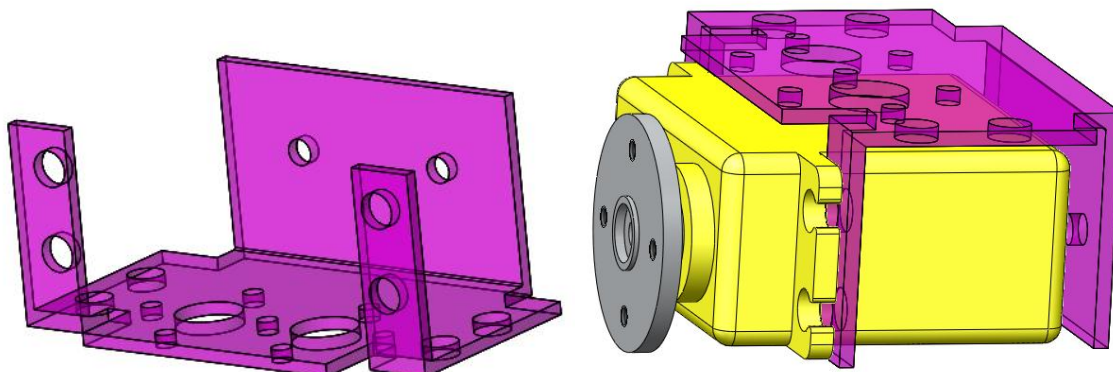


Figura 4. 7 a) carcasa soporte b) motor montado en carcasa

Se propone que las piezas de las extremidades tengan un diseño de “U” y “L” para facilitar la unión entre ellas para hacer eslabones o bien para la unión con los actuadores

La pieza mostrada en la figura 4-8 fue diseñada para la unión en las extremidades superiores con el torso, esta pieza hace la función de hombro haciendo una analogía con el cuerpo humano. Esta pieza tiene una forma de “U”.

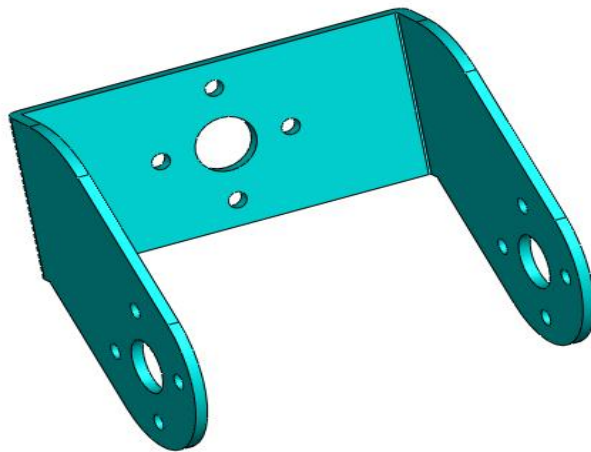


Figura 4. 8 soporte brazo

Para hacer las uniones de las extremidades inferiores y superiores se diseñaron las piezas mostradas en la figura 4-9, la primera pieza a) fue utilizada para la unión entre las carcasas de los servomotores ensambladas por cada extremo consecutivamente, la forma de esta pieza es en forma de “U” y las dimensiones fueron de acuerdo al servomotor considerado para el ensamble; la pieza b) es la que permite la unión de la parte media de las extremidades inferiores la forma de esta pieza es en “L”.

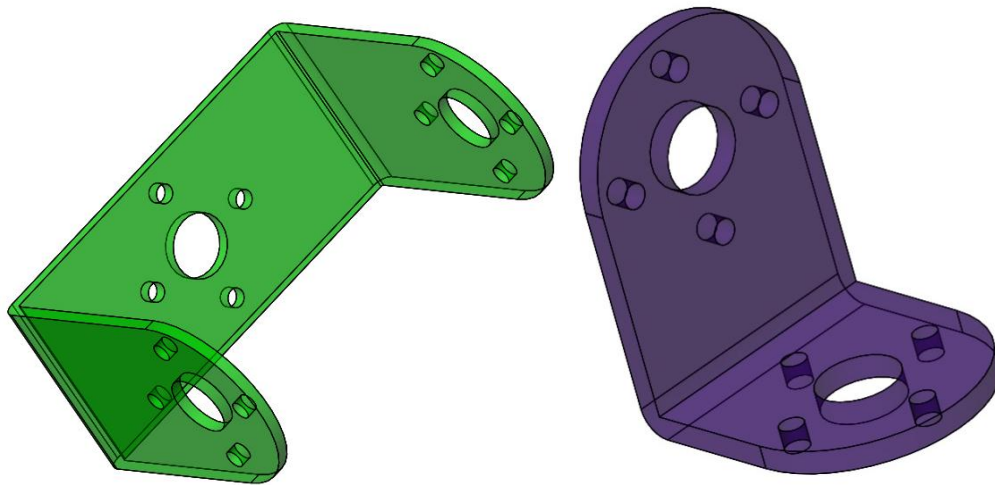


Figura 4. 9 Articulaciones a) unión entre carcasa motores b) unión en rodilla

El torso está dividido en dos partes esto para permitir el giro que está proyectado como un grado de libertad, la figura 4-10 muestra la parte superior del torso donde irán unidas las extremidades superiores, la tarjeta de movimiento para los servomotores y el servomotor que le dará movimiento a la cabeza.

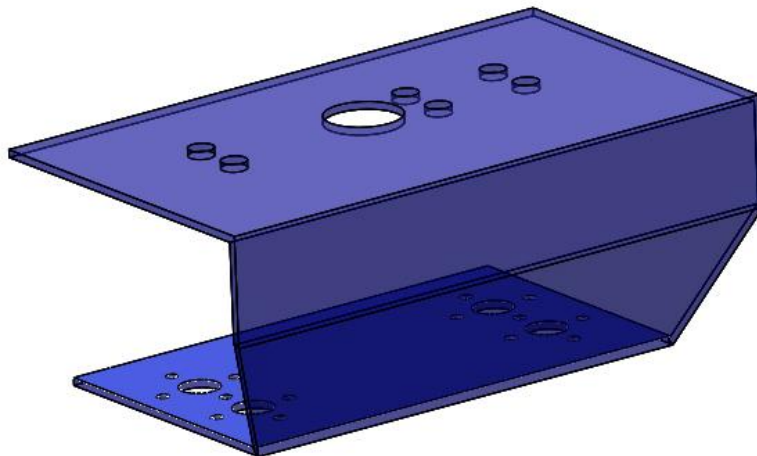


Figura 4. 10 parte superior del torso

La figura 4-11 muestra la segunda parte del torso, en esta pieza se hace el acople del servomotor que dará el giro del torso en dirección horizontal así como los bujes

donde descansara la parte superior del torso, de igual manera en esta pieza van sujetas las extremidades inferiores.

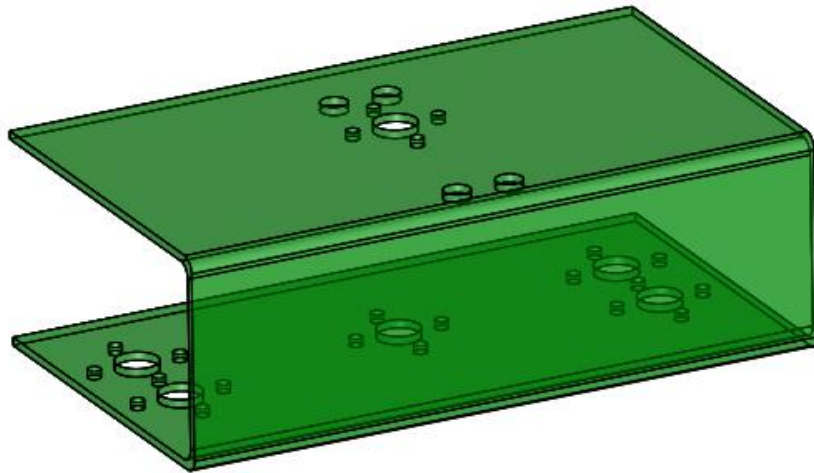


Figura 4. 11 parte inferior del torso

La figura 4-12 muestra una perspectiva de la propuesta de diseño del brazo con respecto al diseño en CAD y cada uno de los grados de libertad generados.

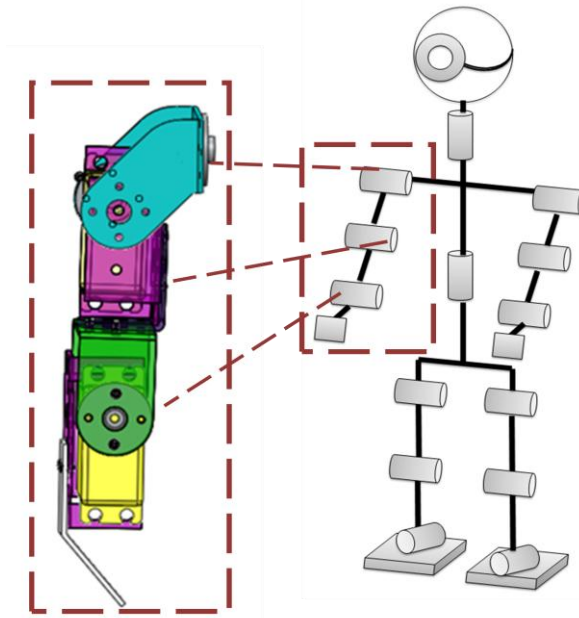


Figura 4. 12 Ensamble de extremidad superior derecha

La figura 4-13 es una comparación de la extremidad inferior derecha con respecto a la propuesta de estructura

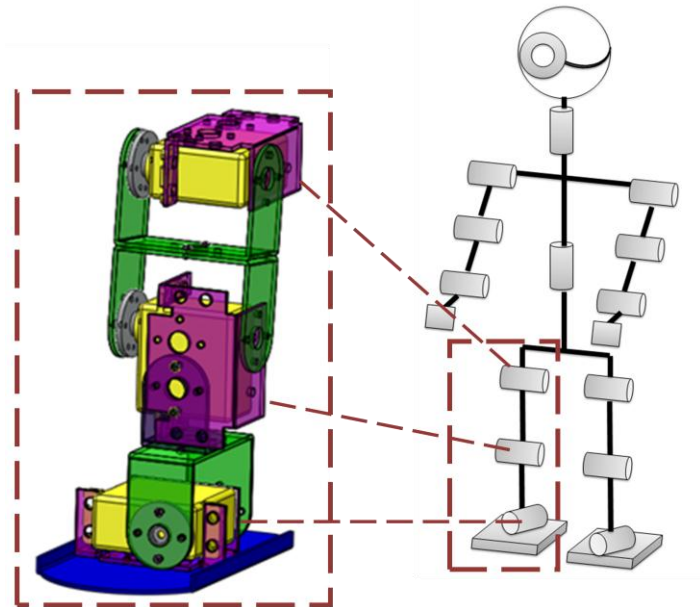


Figura 4. 13 Ensamble de extremidad inferior derecha

Tanto la longitud del brazo como el de las piernas fueron aleatorios y se presenta un ligero alargamiento en ambas extremidades debido a las limitaciones de diseño que se encontraron y a las dimensiones de los servomotores, sin embargo cumple con la cantidad de grados de libertad propuestos dentro de los objetivos.

De acuerdo a McGeer los parámetros mecánicos como la longitud y las distribuciones de masa pueden mejorar el andar humano, por lo que la correcta selección de las dimensiones de la estructura como longitud de acoplamiento con la pierna y brazos es pieza fundamental para mejorar el rendimiento del diseño (Mc Geer, 1990).

4.4.2 SIMULACIÓN

La simulación determinará el funcionamiento mecánico del prototipo realizando simulaciones de movimiento. La simulación permite también determinar el centro de masa de cada posición en el movimiento, para que se asegure que el movimiento del robot en el caminado se encuentre dentro del polígono de soporte.

La masa del robot y la distribución de esta están en función de las fuerzas que alimentan al robot. Si la masa del robot es muy grande su desempeño no será el más adecuado y esto también afecta el rendimiento de los servomotores, es por eso que la simulación es la mejor opción para optimizar los pesos y dimensiones de la estructura.

La ventaja de los diseños en CAD permiten hacer un bosquejo y determinación de las posibles fallas que pudieran llegar a presentarse en el mecanismo una vez que se construya por esa razón es importante realizar esta simulación antes que se lleve a un prototipo físico.

La figura 4-14 muestra el acoplo de todas las piezas provistas en las extremidades que forman esta estructura, ensamble final en CAD da un panorama general de cómo será físicamente el diseño presentado en este trabajo.

La siguiente etapa es realizar la construcción del prototipo. La actividad siguiente es el dimensionado para generar los planos de construcción de las piezas que se maquinaron y poder construir el primer prototipo. Se propuso una altura de 28 cm para garantizar que los motores tengan el par suficiente para realizar los movimientos requeridos de caminata.

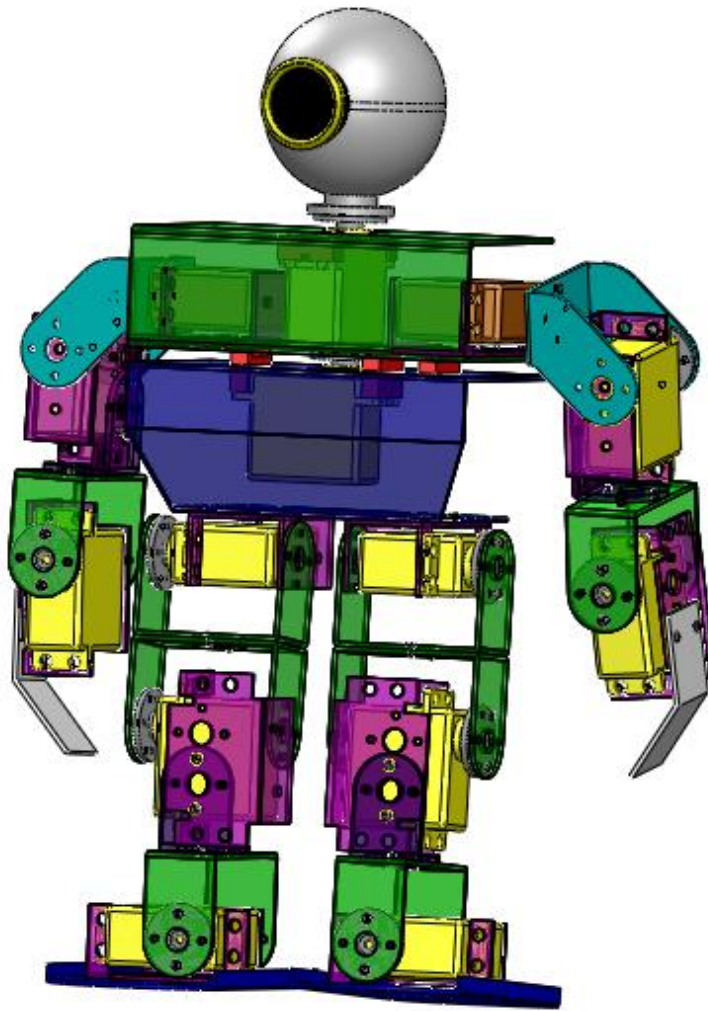


Figura 4. 14 Ensamble del Robot

Entre las ventajas que presenta el uso de un software de CAD, es la de simular algunas características del ensamble en base a las selección de propiedades de los materiales y dimensiones de cada una de las piezas que conforman al ensamble. Algunas de estas propiedades físicas pueden ser masa, volumen, area de superficie y centro de masa como los que se presentan en la tabla 4-2.

El material que se utilizo para hacer esta simulación fue le que se empleo en la construcción: Lamina de Acero calibre 16 y en el caso de los servomotores se considero que el material era plástico, tomando en cuenta el peso de cada servomotor que fue de 43 g.

| | |
|---|----------------------------|
| Masa | 1276.85 gramos |
| Volumen | 1254320.54 mm ³ |
| Área de superficie | 609797.54 mm ² |
| Centro de masa: (milímetros) | X=-6.40 |
| | Y=53.72 |
| | Z=-34.66 |

Tabla 4- 2 Propiedades Físicas de diseño en CAD de ensamble

5. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA

5.1 DIMENSIONADO

El dimensionado de piezas como se explicó en el capítulo anterior permitió obtener los dibujos a detalle de todas las piezas a utilizar para la construcción del robot, para cada extremidad se utilizaron las piezas como se muestra en la tabla 5-1, se considera que las piezas por su diseño permitió tener una fácil adaptación para cada extremidad construida.

| Extremidad | Pieza | Cantidad |
|-------------------|-------------------------|-----------------|
| Brazo | Carcasa motor | 2x2 |
| | Hombro | 1x2 |
| | Unión de articulaciones | 1x2 |
| | escuadra | 1x2 |
| Pierna | Carcasa motor | 3x2 |
| | Unión articulación | 3x2 |
| | escuadra | 1x2 |
| | Pie | 1X2 |
| Torso | Unión torso superior | 1 |
| | Unión torso inferior | 1 |
| Cabeza | cámara | 1 |
| Total | | 28 |

Tabla 5- 1 Número de piezas maquinadas

En el anexo se encuentra el dibujo a detalle y las dimensiones de cada pieza mecánica del robot construido.

5.2 DISEÑO MECÁNICO A DETALLE

5.2.1 ACTUADORES

Los actuadores utilizados para este proyecto son servomotores. Un servomotor es un motor de DC con una gran precisión que normalmente es usado en una aplicación específica como puede ser un control de lazo cerrado; y por lo general el motor debe ser capaz de mantener un cambio de posición rápido, velocidad y una aceleración; de ahí su importancia de tener una gran capacidad en torque, la Fig. 5-1 muestra el servomotor utilizado para este proyecto de investigación

Un servomotor es un motor de DC con un encapsulado electrónico que contiene un control PWM y es utilizado para propósitos específicos por ejemplo en el modelado de aviones, carros o robots bípedos humanoides.

El servomotor consta de tres cables de conexión:

- Alimentación
- Tierra
- Señal de entrada de control del PWM



Figura 5. 1 Servomotor HITEC Mod. HS-311

Como características tiene que el pulso de la señal de entrada para servos no es transformada en velocidad, sino que este pasa de una entrada de control analógico a una posición específica deseada de la rotación del disco colocado en el eje; por lo tanto el disco colocado en el eje de un servo no puede realizar una rotación continua como un motor de DC. Este solamente tiene un rango de alrededor de $\pm 120^\circ$ desde su posición media, la figura 5-2 muestra gráficamente su rango de operación. Internamente un servo es una combinación de un motor de DC con un simple circuito de retroalimentación, y a menudo usando un potenciómetro el eje del servo encuentra su posición.

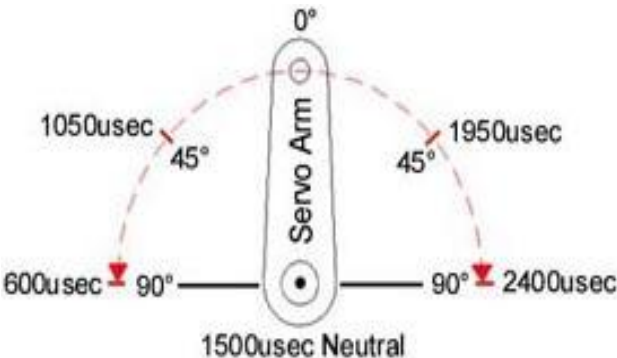


Figura 5. 2 Rango de operación en servomotor (HITEC Data Sheet)

La señal de PWM usada para los servomotores es casi siempre de 50 Hz, así los pulsos son generados cada 20 ms. Los valores exactos de la duración del pulso y el ángulo dependen del modelo de cada servo y puede representarse como en la figura 5-3.

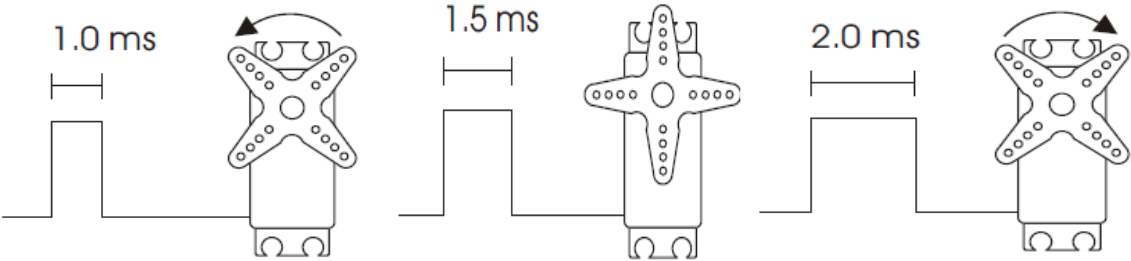


Figura 5. 3 Tiempos de duración pulso

El actuador seleccionado para este proyecto fue un servomotor marca HITEC HS-311 estándar, por sus características técnicas como muestra en la tabla 5-2 lo hace versátil y de fácil manejo, este servomotor tiene entre sus características un costo relativamente bajo comparado con otros encontrados en el mercado.

| Características Técnicas | | | |
|---------------------------------|-----------|-------------|--------------|
| Peso | | 43 grs | |
| Voltaje de operación | | 4.8-6 Volts | |
| Velocidad de operación | de | 4.8 Volts | 0.19 seg/60° |
| | | 6.0 Volts | 0.15 seg/60° |
| Torque | | 4.8 Volts | 3.0 Kg/cm |
| | | 6.0 Volts | 4.5 kg/cm |
| Corriente | | 4.8 Volts | 160 mA |
| | | 6.0 Volts | 180 mA |

Tabla 5- 2 Características técnicas del servomotor HITEC HS-311

5.3 DISEÑO ELECTRÓNICO

5.3.1 Tarjeta de Movimiento de Servomotores

La tarjeta de control de movimiento utilizada para los 14 servomotores es una tarjeta marca Pololu USB servo-controller para una operación de hasta 16 servomotores secuencialmente. La figura 5-4 muestra la tarjeta utilizada.

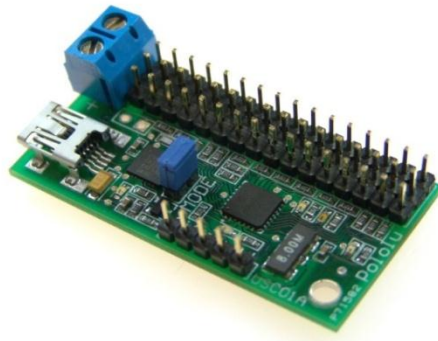


Figura 5. 4 USB 16 servo-controller

La tabla 5-3 muestra las características técnicas de esta tarjeta que por su tamaño la hace más versátil y de fácil manejo.

| Especificaciones | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Tamaño de PCB | 1.0"x1.9" (puerto USB incluido) |
| Numero de puertos disponibles | 16 |
| Velocidad de ancho de pulso | 0.25-2.75 ms |
| Resolución | 0.5 microseg. |
| Voltaje de alimentación | 5 V |
| Voltaje E/S | 0 y 5 V |
| Corriente de consumo | 40 Ma |

Tabla 5- 3 Especificaciones tarjeta de movimiento

El software que sirve de interface para el movimiento de los servomotores es un programa llamado Visual SC2, esta interface permite la conexión por puerto USB de la tarjeta y consta de 16 botones deslizadores numerados de 0 a 15 que harán

la función del rango movimiento de los servomotores, estos botones tienen un rango de operación de 1 a 255 que representan los grados del servomotor que van de 0 a 180°, la figura 5-5 muestra la interface desplegada al obtener conexión por medio del puerto USB.

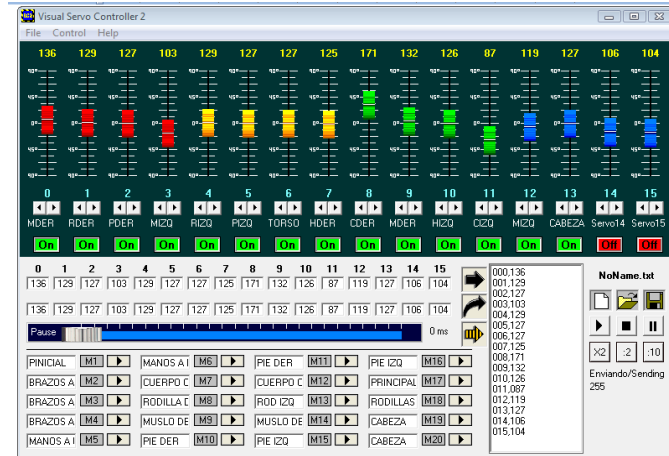


Figura 5. 5 Interface de conexión

6. RESULTADOS

6.1 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO

La figura 6-1 muestra la construcción final del prototipo, este se logró una vez que se tuvo el maquinado de todas las piezas y se procedió a realizar el ensamble completo del humanoide.

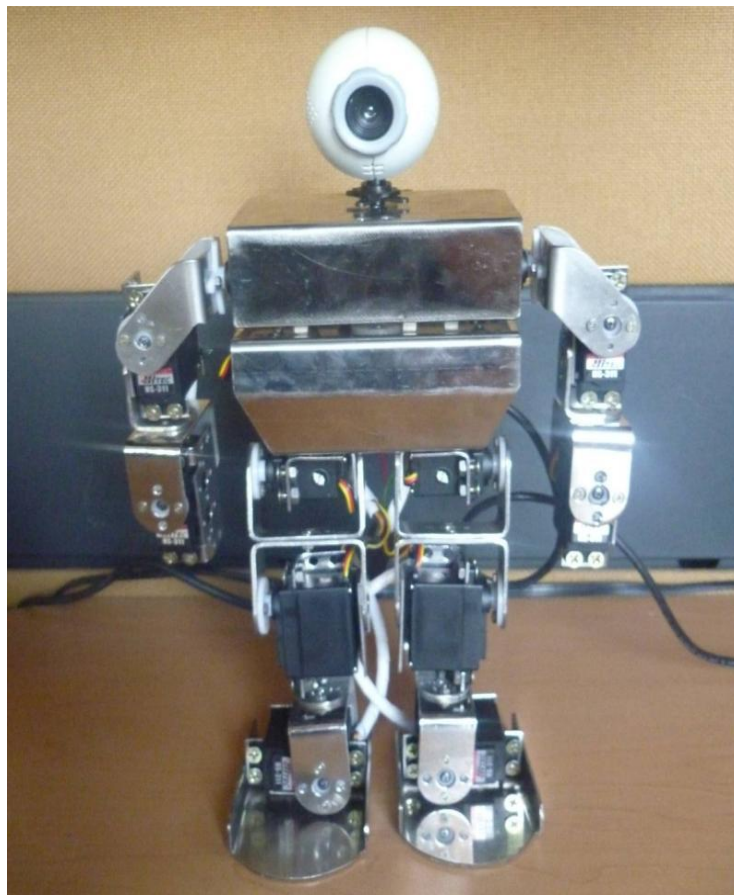


Figura 6. 1 Ensamble de prototipo final

Se realizó la construcción del robot humanoide de 14 GDL propuesto. El material de construcción fue lámina de Acero Inoxidable calibre 16. El tamaño fue de 28 cm, el peso es de 7.3 Kg.

6.2 PRUEBA DE MOVIMIENTO

Los resultados obtenidos de acuerdo a la secuencia de movimiento programada en la interface en Visual SC2 se muestra en las figura 6-2.

La prueba de movimiento consiste accionar la articulación y verificar para cada GDL:

- Que la rotación de cada servomotor se dé en los 60°
- El espacio de trabajo de la articulación corresponda a “movimientos humanos” y que los movimientos estén dentro de la estabilidad del robot.

Para realizar la prueba se utilizó la tarjeta USB-16 Servo Controller la cual tiene una interface Visual SC2 permitiendo realizar secuencia de movimientos de los servomotores.

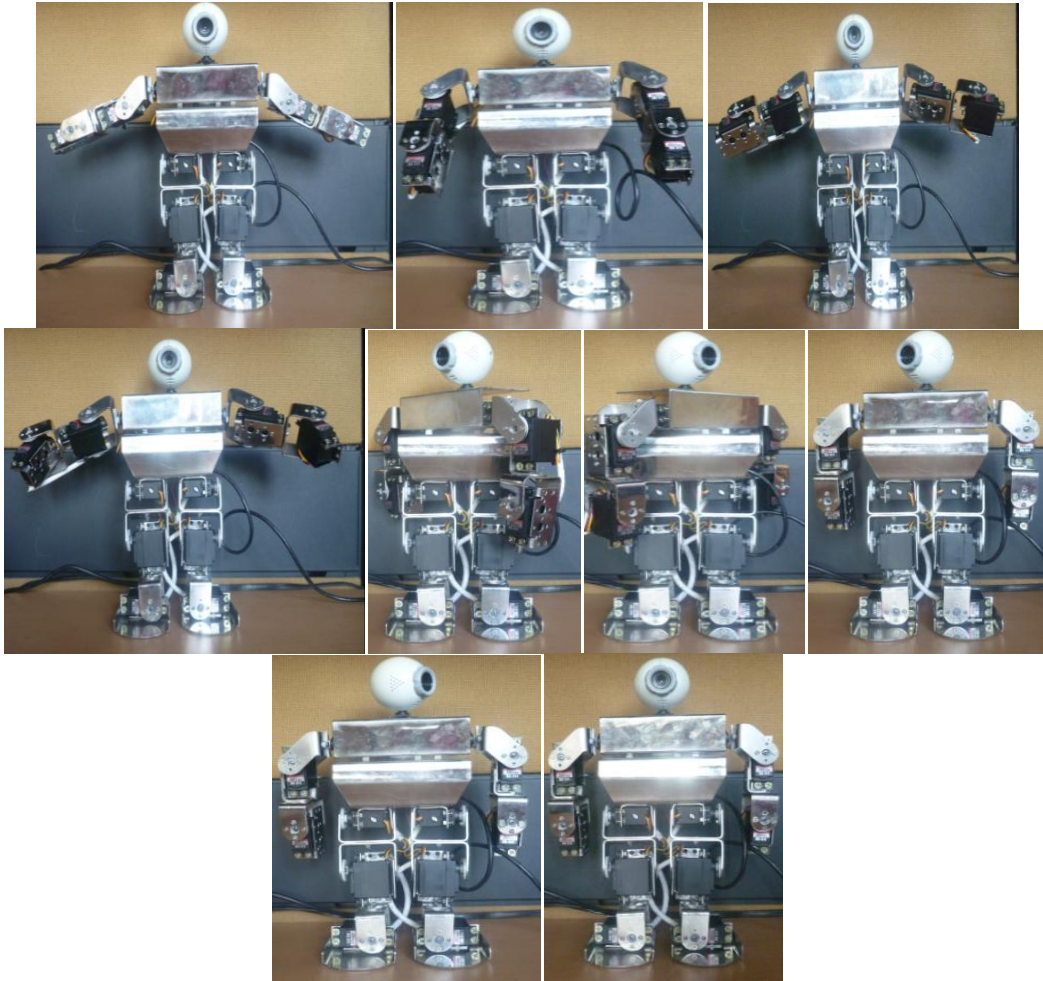


Figura 6. 2 Secuencia de movimiento

7. CONCLUSIÓN

Se diseñó una estructura mecánica funcional de un robot bípedo humanoide , conformado por articulaciones activas rotatorias basadas en servomotores tipo RC.

La estructura mecánica propuesta para el robot bípedo humanoide se basó en las características para poder ser funcional al realizar una caminata bípeda.

El robot humanoide está conformado por 14 grados de libertad con eslabones basados en piezas metálicas planas tipo “U” y “L”.

Se construyó un prototipo de robot bípedo humanoide de 28 cm de altura con un peso total de 7.8 Kg.

Se comprobó la movilidad de los 14 GDL del robot bípedo humanoide utilizando una tarjeta de control de movimiento para servomotores tipo RC.

REFERENCIAS

A.H.M, C. (January de 2003). *ASIMO Technical Information*. Obtenido de <http://world.honda.com>.

Adelstein, B. D., Ho, P., & Kazerooni, H. (1996). Kinematic Desing of a Three Degree of Freedom Parallel Hand Controller Mechanism. *ASME Dynamic System and Control Division* (págs. 539-546). California, EUA: ASME.

Biera, R., Lopes, M., Praca, M., Santos-Victor, J., Bernardino, A., Metta, G., y otros. (2006). Design of teh Robot-Cub (iCub) Head. *IEEE International Conference on Robotics and Automation* . Orlando: IEEE.

Di Gregorio, R. (2003). Kinematics of the 3-UPU wrist. *Mechanism and machine theory* , 253-263.

Fu, K., Gonzales, R., & Lee, C. (1990). *Robotica, control, deteccion, vision e inteligencia*. Mexico: Mc Graw Hill.

Gas, B. (2010). Space dimension perception from the multimodal sensorimotor flow of a native robotic agent. Francia.

Gong, J., Zhang, Y., & Gao, F. (2007). Type synthesis of parallel robot based on the kinematic element. Besancon, Francia: 12th IFToMM World Congress.

Gosselin, C., & Angeles, J. (1989). The optimum kinematic design of a spherical three-degree-of-freedom parallel manipulator. *Journal of Mechanism, Transmission and Automation* , 202-207.

Ichiro, K. (1987). Wabot, Autonomous Robot with Dexterous finger-arm. *IEEE International Conference on Robotics ans Automation* .

Ltd., F. A. (2001). *Fujitsu The possibilities are Infinite* . Obtenido de Fujitsu Laboratories Ltd.: <http://pr.fujitsu.com/en/news/2001/09/10.html>

Majou, F., Wanger, P., & Chablat, D. (2002). Design of a 3 axis parallel machine tool for high speed machining: The orthoglide. Clermont-Ferrand, Francia: IDMME.

Merlet, J.-P. (2000). *Parallel Robots*. Holanda: Kluwer Academic Publishers.

München, T. (2003-2011). *Technische Universität München*. Obtenido de <http://portal.mytum.de/pressestelle/pressemitteilungen/news-612?searchterm=johnnie>

Sandler, B.-Z. (1991). *Robotics Designing the Mechanisms for Automated Machinery*. Prentice-Hall, Inc.

Shaoping, B., Hansen, M., & Angeles, J. (2009). A robust forward-displacement analysis of spherical parallel robots. *Mechanism and Machine Theory*.

Sony, C. (2011). *SONY*. Obtenido de <http://www.sony.net/SonyInfo/CorporateInfo/History/sonyhistory-j.html>

Takahashi, T. A. (1997). Posture Control for biped robot walk with foot toe and sole. En I. P. Systems (Ed.), *Industrial Electronics Society*, (págs. 329-334).

Takeda, Y., & Huda, S. (2007). Dimensional Synthesis of 3-URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Respect to Singularity and Workspace. *12th IFTOMM World Congress*, (págs. 18-21). Besancon, Francia.

Takeda, Y., Funabashi, H., & Sasaki, Y. (1996). Development of spherical in-parallel actuated mechanism with three degrees of freedom with large working space and high motion transmissibility. *39* (3).

Toyota. (1995). *TOYOTA MOTOR CORPORATION*. Obtenido de http://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/

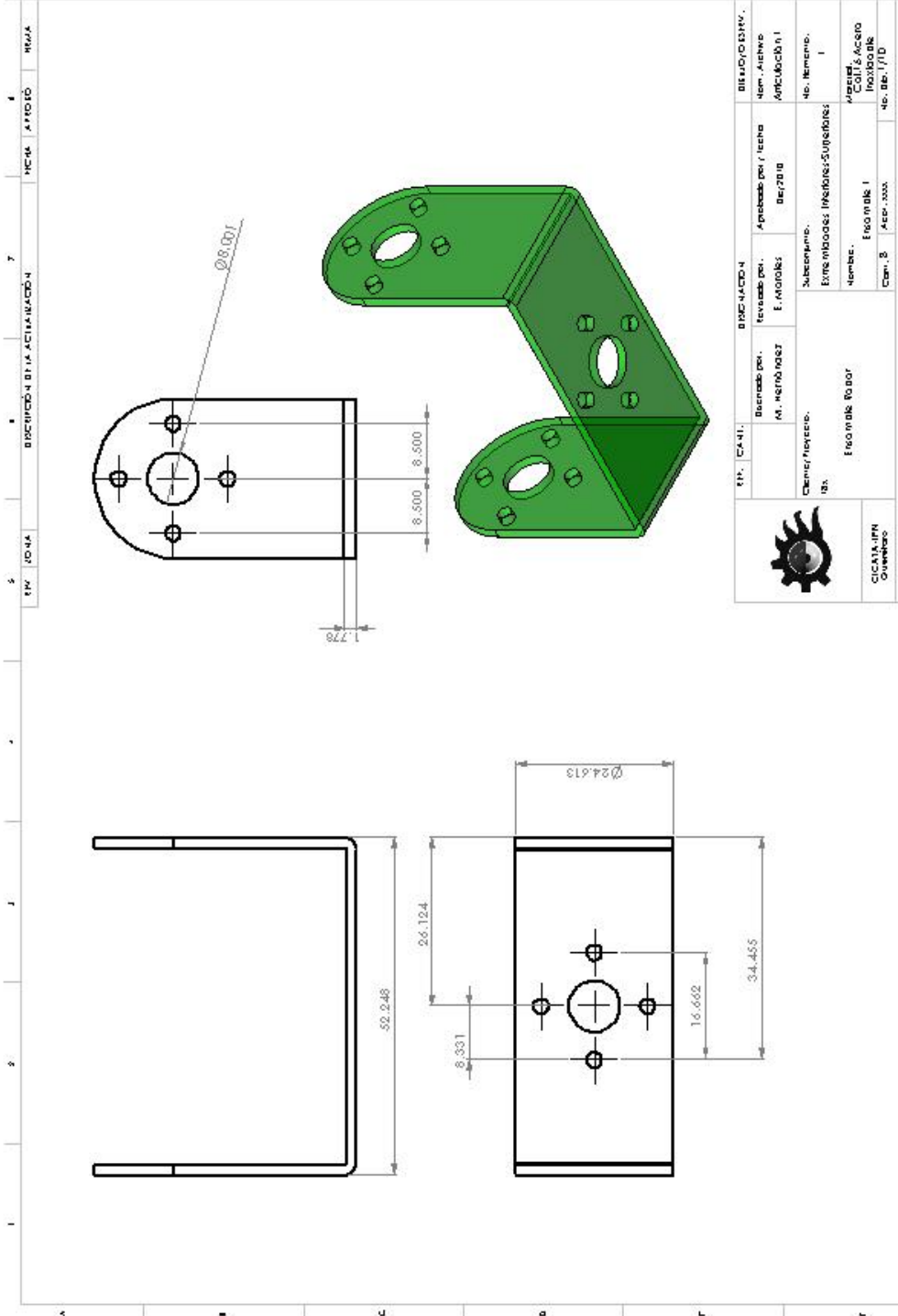
University, W. (s.f.). *Humanoid Robotics Institute, Waseda University*. Obtenido de <http://www.humanoid.waseda.ac.jp/index.html>

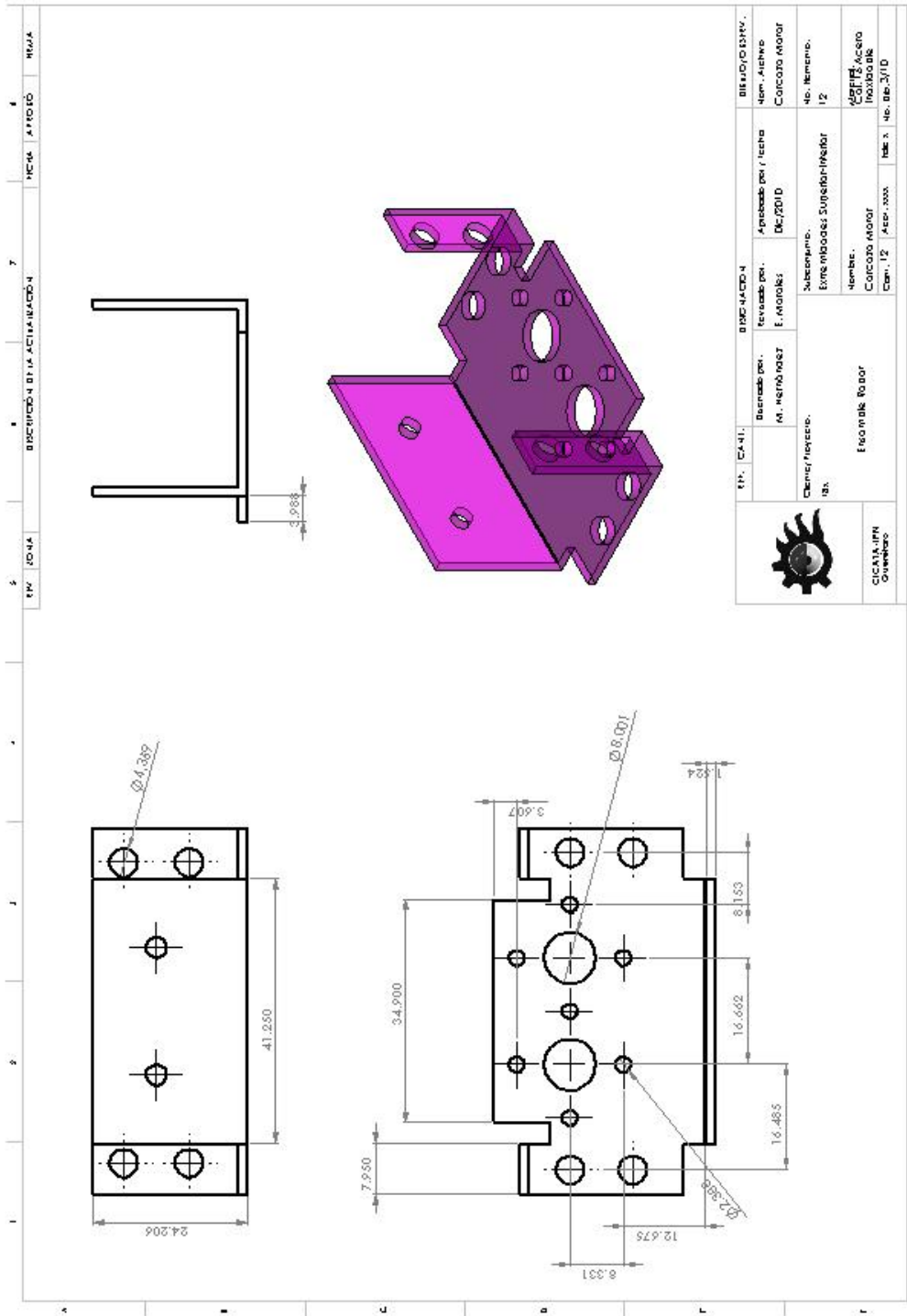
Varios. (1973). *Enciclopedia Británica*. William Benton Publisher.

Vischer, P., & Clavel, R. (2000). Argos: mecanismo paralelo de tres grados de libertad para una muñeca. *The international Journal of Robotics Research* , 19;5.

Vukobratovic M, B. B. (1990). Biped Locomotion Dynamics Stability Control and Application. *Springer-Verlag* .






ANEXOS





EN 1044 BICICLO B14 ACTIVACION 7 HC14 AFICED RMA

| | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|
| CCM S.p.A. Grosseto | 017 CA-11 BICICLO B14 | BICICLO B14 | BICICLO B14 |
| | Discreto per M. MOTO RAS | Revuelto per E. MOTO RAS | Aplicable per / Usado DE 2010 |
| Cliente / Cliente | Cliente / Cliente | Subconjunto Eje mbbobol Superior-Interior | BICICLO B14 |
| Eje mbbol Ro Bor | Eje mbbol Ro Bor | Membr. Coilcoo Motor | Membr. Coilcoo Motor |
| | | Cam. 12 | Cam. 12 |
| | | 4 esp. xxx | 4 esp. xxx |
| | | Tab. 3 | Tab. 3 |
| | | No. BB-3/10 | No. BB-3/10 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|---|---|---|--|--|--------------------|--------------|---------------|--------------|---------------------------------|--|
| EN | JOMIA | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD | | | | MCM | AFIPIED | RMAA | | |
|  |  | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | |
|  | ITEM: CA-11 | DESCRIPCIÓN: Descrito por: M. KRZYWICKI Cliente/Proveedor: | REVISIÓN: Revisado por: E. Morales Subconjunto: | Aprobado por / Fecha: DE/2010 Estructura: | Empleado Superior: | Nombre: | No. Material: | No. Memoria: | DETALLE: No. Archivo: | |
| Empleado: | Cam. 2 | Año: 2000 | Tabla: | No. Det. A/B | No. Det. A/B | No. Det. A/B | No. Det. A/B | No. Det. A/B | No. Det. A/B | |

