



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA
DEL TORSO DE UN INTÉRPRETE HUMANOIDE DE
MÚLTIPLES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA ENSEÑANZA
DEL LENGUAJE DE SEÑAS BÁSICAS PARA NIÑOS CON
DISCAPACIDAD AUDITIVA EN LA UNIDAD EDUCATIVA
ESPECIALIZADA COTOPAXI.”**

AUTOR: MILTON VLADIMIR BUSTILLOS PÉREZ

DIRECTOR: ING. FAUSTO ACUÑA
CODIRECTOR: ING. MARCO SINGAÑA

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICADO

ING. FAUSTO ACUÑA (DIRECTOR)

ING. MARCO SINGAÑA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL TORSO DE UN INTÉRPRETE HUMANOIDE DE MÚLTIPLES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA ENSEÑANZA DEL LENGUAJE DE SEÑAS BÁSICAS PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI.”** realizado por el señor: Milton Vladimir Bustillos Pérez; ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Latacunga, Agosto de 2015.

Ing. Fausto Acuña
DIRECTOR

Ing. Marco Singaña
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

BUSTILLOS PÉREZ MILTON VLADIMIR

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL TORSO DE UN INTÉRPRETE HUMANOIDE DE MÚLTIPLES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA ENSEÑANZA DEL LENGUAJE DE SEÑAS BÁSICAS PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI.”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan manteniendo normas APA, y cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Agosto de 2015.

Milton Vladimir Bustillos Pérez
C.C.:0503398158

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORIZACIÓN

Yo, BUSTILLOS PÉREZ MILTON VLADIMIR

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL TORSO DE UN INTÉRPRETE HUMANOIDE DE MÚLTIPLES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA ENSEÑANZA DEL LENGUAJE DE SEÑAS BÁSICAS PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Latacunga, Agosto de 2015.

Milton Vladimir Bustillos Pérez
C.C.:0503398158

DEDICATORIA

Este proyecto dedico a mis padres queridos Milton y Zoila, ya que soy fruto del esfuerzo que día a día realizaron durante muchos años por verme superar y salir a delante, por su educación, comprensión y cariño quedare eternamente agradecido. A mi hermano Romel quien ha sido mi apoyo incondicional, por llenar mi vida de alegría y ser el motor que impulsa mis sueños. Y a toda mi familia quien ha estado apoyándome incondicionalmente en toda mi formación profesional y personal con valores y principios inculcados en mí desde muy pequeño.

Milton Bustillos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, día tras día, y poder seguir luchando por un sueño tan anhelado como es este. A mis padres por haberme apoyado en todo momento, por darme la confianza y seguridad de que con esfuerzo y perseverancia todos mis sueños los lograré. A Mony por darme todo el amor del mundo quien es mi inspiración. A Vero y Fer quienes me abrieron las puertas de su amistad y confianza para luchar juntos en este sueño tan grande. Y a todos mis amigos quienes hemos vivimos experiencias inolvidables.

Finalmente un agradecimiento muy especial a los Ingenieros Fausto Acuña, Marco Singaña y a la Licenciada Fabiola Cusco, por brindar sus conocimientos incondicionalmente y guiar de mejor manera en el desarrollo de este proyecto.

Milton Bustillos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACION	ii
DECLARACION DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACION	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
PRESENTACIÓN	xix

CAPÍTULO I

1. ESTADO DEL ARTE Y FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Investigaciones relacionadas con el diseño y construcción de robots humanoides.	2
1.4. Investigaciones relacionadas en las instituciones de educación superior en el país.	7
1.5. Planteamiento del problema	10
1.6. Justificación	11
1.7. Discapacidad auditiva	11
1.7.1. Definición	12
1.7.2. Lenguaje de señas.....	12
1.8. Estructura superior del cuerpo humano	13
1.8.1. Anatomía	13

1.8.2.	División robótica del sistema óseo	13
1.8.3.	Articulaciones	16
1.9.	La locomoción humana.....	17
1.9.1.	Biomecánica	18
1.9.3.	Movimientos del ser humano	18
1.9.4.	Medidas antropométricas del cuerpo humano.....	21
1.10.	Robots humanoides.....	24
1.10.1.	Definición	24
1.10.2.	Generalidades	24
1.10.3.	Morfología de un robot humanoide	28
a.	Estructura mecánica de un robot	28
b.	Elementos de transmisión y reducción.....	30
c.	Sensores	31
d.	Actuadores	32
1.10.4.	Cinemática del robot	32
1.11.	Relación entre el cuerpo humano y un robot humanoide	33
1.12.	Prototipado rápido	34
1.12.1.	Introducción	34
1.12.2.	Generalidades	34
1.12.3.	Tipos de prototipado	34
1.12.4.	Impresión en tres dimensiones (3D PRINTING).....	35
1.12.5.	Materiales ABS	36
1.12.6.	Impresoras 3D	37

CAPÍTULO II

2.	DISEÑO MECÁNICO Y SIMULACIÓN	40
2.1.	Parámetros de diseño.....	40
2.2.	Diseño del sistema mecánico	42
2.2.2.	Diseño mecánico de la muñeca	43

2.2.3.	Diseño mecánico del antebrazo	43
2.2.4.	Diseño mecánico del brazo	44
2.2.5.	Diseño mecánico del hombro.....	45
2.2.6.	Diseño mecánico del cuello	46
2.2.7.	Diseño mecánico de la cabeza	47
2.2.8.	Diseño mecánico del torso	47
2.2.9.	Diseño del cuerpo completo del humanoide.....	48
2.3.	Selección de material y proceso de manufactura.....	49
2.4.	Cálculos de los mecanismos del humanoide	52
2.4.1.	Cálculos en la mano	53
2.4.2.	Cálculos muñeca	54
2.4.3.	Cálculos en el antebrazo.....	55
2.4.4.	Cálculos en el hombro	57
2.4.5.	Cálculos en el cuello	70
2.5.	Análisis estático de la estructura del humanoide mediante simulación.....	72
2.5.1.	Análisis estático de la clavícula.....	73
2.6.	Cinemática del robot humanoide	76

CAPÍTULO III

3.	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE	80
3.1.	Proceso de manufactura.....	80
3.2.	Proceso de ensamblaje	84
3.2.1.	Ensamblaje de la mano.....	85
3.2.2.	Ensamblaje de la muñeca.....	86
3.2.3.	Ensamblaje del ante brazo y porta servos	87
3.2.4.	Ensamblaje de bíceps.....	90
3.2.5.	Ensamblaje del hombro	92
3.2.6.	Ensamblaje del cuello	93

CAPÍTULO IV

4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	99
4.1.	Pruebas de fuerza de ABS	99
4.2.	Pruebas de campo de operación de movimientos.....	100
4.2.1.	Movimiento de los dedos	100
4.2.2.	Movimiento de muñeca	101
4.2.3.	Movimiento del antebrazo	101
4.2.4.	Movimiento del hombro	102
4.2.5.	Movimiento de la cabeza	103
4.3.	Tiempo de ejecución de movimiento de señas	105
4.4.	Validación de la hipótesis	106
4.5.	Análisis de costos	111

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
5.1.	Conclusiones	113
5.2.	Recomendaciones	116

BIBLIOGRAFÍA	118
---------------------------	-----

LINKOGRAFÍA	119
--------------------------	-----

ANEXOS	122
---------------------	-----

ANEXO A: Planos de la mano

ANEXO B: Planos de la muñeca

ANEXO C: Planos del antebrazo

ANEXO D: Planos del brazo

ANEXO E: Planos del hombro

ANEXO F: Planos del cuello

ANEXO G: Ensamblaje de la cabeza

ANEXO H: Ensamblaje del torso

ANEXO I: Características de los materiales del mercado

ANEXO J: Propiedades de los materiales del mercado

ANEXO K: Impresión de las piezas del robot humanoide

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Cabeza de humano.....	14
Figura 1. 2: Cuello de humano.....	14
Figura 1. 3: Tronco de humano.....	15
Figura 1. 4: Extremidad de humano.....	15
Figura 1. 5: Tipos de articulaciones	17
Figura 1. 6: Movimientos del cuello.....	19
Figura 1. 7: Movimiento de hombros.....	19
Figura 1. 8: Movimiento de codos	20
Figura 1. 9: Movimiento de muñecas	20
Figura 1. 10: Distancias del cuerpo humano en posición parada	22
Figura 1. 11: Distancia del cuerpo humano en posición sentada	23
Figura 1. 12: Robot humanoide de Toshiba Aiko Chihira	25
Figura 1. 13: Robot humanoide de gestos	25
Figura 1. 14: Robot Asimo	26
Figura 1. 15: Robot Nao.....	27
Figura 1. 16: Robot Atlas	28
Figura 1. 17: Robot humanoide bípedo.....	29
Figura 1. 18: Robot humanoide con ruedas	29
Figura 1. 19: Diagrama de relación entre cinemática directa e inversa	33
Figura 1. 20: Impresión 3D	36
Figura 1. 21: Impresora DIMENSION STRATASYS SST.....	37
Figura 1. 22: Impresora CubeX single.....	38
Figura 1. 23: Impresora 3D auto replicable	39
Figura 2. 1: Diseño de las manos	42
Figura 2. 2: Diseño de la muñeca	43
Figura 2. 3: Diseño del antebrazo	44
Figura 2. 4: Diseño del brazo (tornillo de potencia)	44
Figura 2. 5: Diseño del brazo (tornillo sinfín).....	45

Figura 2. 6: Diseño del hombro (tornillo de potencia).....	45
Figura 2. 7: Diseño del hombro (tornillo sinfín).....	46
Figura 2. 8: Diseño del cuello (engranajes).....	46
Figura 2. 9: Diseño del cuello (tornillo de potencia).....	46
Figura 2. 10: Diseño de la cabeza	47
Figura 2. 11: Diseño del torso	48
Figura 2. 12: Diseño completo del humanoide	48
Figura 2. 13: Propiedades físicas del humanoide	49
Figura 2. 14: Dedo meñique	53
Figura 2. 15: Engranajes de muñeca.....	54
Figura 2. 16: Diagrama de fuerzas del antebrazo	56
Figura 2. 17: Tornillo sinfín de rotación del hombro	59
Figura 2. 18: Tornillo sinfín de aducción-abducción del hombro	62
Figura 2. 19: Diagrama de fuerzas del hombro	64
Figura 2. 20: Distribución de apoyos de fuerzas	66
Figura 2. 21: Diagrama de fuerzas de la clavícula	66
Figura 2. 22: Volumen de la clavícula	67
Figura 2. 23: Diagramas de fuerzas y momentos.....	68
Figura 2. 24: Diagrama de fuerzas de cuello para extensión y contracción.....	70
Figura 2. 25: Rotación del cuello.....	71
Figura 2. 26: Partes a realizar análisis estático.....	73
Figura 2. 27: Análisis estático de la clavícula – Von Mises	74
Figura 2. 28: Análisis estático de la clavícula – FDS.....	75
Figura 2. 29: Análisis estático de torsión.....	75
Figura 2. 30: Grados de libertad del dedo.....	76
Figura 2. 31: Representación de Denavit-Hartenberg del dedo	77
Figura 2. 32: Grados de libertad del brazo.....	77
Figura 2. 33: Representación de Denavit-Hartenberg del brazo	78
Figura 2. 34: Grados de libertad del cuello	78
Figura 2. 35: Representación de Denavit-Hartenberg del cuello	79

Figura 3. 1: Proceso de impresión	80
Figura 3. 2: Guardar archivos .STL.....	81
Figura 3. 3: Empaquetado de archivo .STL.....	82
Figura 3. 4: Envío y aceptación de impresión.....	82
Figura 3. 5: Impresora en proceso	83
Figura 3. 6: Extracción de piezas impresas	83
Figura 3. 7: Pieza terminada.....	83
Figura 3. 8: Ensamblaje del dedo índice.....	85
Figura 3. 9: Ensamblaje de la mano	85
Figura 3. 10: Ensamblaje de cuerdas de la mano	85
Figura 3. 11: Ensamblaje de la muñeca.....	86
Figura 3. 12: Ensamblaje mano – muñeca.....	87
Figura 3. 13: Ensamblaje tapas de antebrazo.....	87
Figura 3. 14: Ensamblaje tapas de antebrazo y porta servos.....	88
Figura 3. 15: Ensamblaje soporte de muñeca.....	88
Figura 3. 16: Ensamblaje soporte de muñeca y antebrazo	89
Figura 3. 17: Ensamblaje soporte de muñeca y antebrazo final.....	89
Figura 3. 18: Despiece de bíceps	90
Figura 3. 19: Ensamblaje de bíceps.....	91
Figura 3. 20: Ensamblaje de bíceps - antebrazo.....	91
Figura 3. 21: Ensamblaje del hombro	92
Figura 3. 22: Ensamblaje del hombro – antebrazo.....	92
Figura 3. 23: Ensamblaje del cuello	93
Figura 3. 24: Ensamblaje del cabeza.....	94
Figura 3. 25: Cabeza armada físicamente	95
Figura 3. 26: Ensamblaje del torso	96
Figura 3. 27: Ensamblaje físico torso.....	96
Figura 3. 28: Ensamblaje de tapas del torso.....	97
Figura 3. 29: Ensamblaje físico de tapas del torso.....	97
Figura 3. 30: Ensamblaje final del robot humanoide	98

Figura 4. 1: Prueba movimiento dedos extendidos y contraídos	100
Figura 4. 2: Campo de operación del dedo	100
Figura 4. 3: Prueba de movimiento y campo de operación del dedo.....	101
Figura 4. 4: Prueba movimiento y campo de operación del antebrazo	101
Figura 4. 5: Prueba movimiento rotación y campo de operación del brazo	102
Figura 4. 6: Prueba movimiento de flexión y campo de operación del brazo...	102
Figura 4. 7: Prueba movimiento aducción y campo de operación del brazo....	103
Figura 4. 8: Prueba movimiento extensión – contracción del cuello	103
Figura 4. 9: Prueba movimiento rotación a la derecha e izquierda del cuello ..	104
Figura 4. 10: Estimación inicial de niños	107
Figura 4. 11: Taller con los niños	107
Figura 4. 12: Evaluación de los niños	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Rangos de movilidad de articulaciones	21
Tabla 1. 2 Dimensiones principales según la norma DIN 33.402 en posición parada.....	22
Tabla 1. 3 Dimensiones principales según la norma DIN 33.402 en posición sentada	23
Tabla 1. 4 Clasificación de los sensores internos	31
Tabla 1. 5 Técnica de Prototipado Vs. Herramienta.....	35
Tabla 1. 6 Propiedades ABS.....	37
Tabla 2. 1 Distribución de GDL.....	41
Tabla 2. 2 Campos de operación de movimientos	41
Tabla 2. 3 Resumen de pesos	51
Tabla 2. 4 Selección de manufactura.....	52
Tabla 2. 5 Resultados de cálculo de torque de los dedos	54
Tabla 2. 6 Medición de velocidad de rotación externa e interna.....	58
Tabla 2. 7 Medición de velocidad de flexión – extensión	58
Tabla 2. 8 Parámetros de Denavit y Hartenberg del dedo.....	77
Tabla 2. 9 Parámetros de Denavit y Hartenberg del brazo.....	78
Tabla 2. 10 Parámetros de Denavit y Hartenberg del cuello	79
Tabla 3. 1 Resumen de tiempo y material del robot humanoide.....	84
Tabla 4. 1 Resultados de ensayos ASTM D638-10.....	99
Tabla 4. 2 Porcentaje de error de campos de operación.....	104
Tabla 4. 3 Tiempo de ejecución de señas.....	105
Tabla 4. 4 Frecuencia Observada.....	108
Tabla 4. 5 Frecuencia Esperada	109
Tabla 4. 6 Valores Calculados de Chi-Cuadrado	110
Tabla 4. 7 Costos fijos	111
Tabla 4. 8 Costos Variables.....	112

RESUMEN

En el presente trabajo tiene como finalidad el Diseño y construcción de la estructura del torso de un intérprete humanoide de múltiples grados de libertad para la enseñanza del lenguaje de señas básicas para niños con discapacidad auditiva en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi. Con el objetivo principal de diseñar y construir la estructura de un robot Humanoide, que posteriormente con un trabajo complementario de (Oñate & Valdés, 2015), tener como resultado que el mismo realice el lenguaje de señas para dicha Unidad Educativa. Este robot tiene 22 grados de libertad, distribuidos en las extremidades superiores y su cabeza, se lo construyó en una impresora 3D con material ABS, su diseño se lo desarrolló en SolidWorks, con la ayuda de éste, se realizó su análisis de esfuerzos necesario, para verificar si el material soporta sus propio peso y las fuerzas que se le aplique, de igual manera se calculó el torque necesario para ejecutar cada uno de sus movimientos. Finalmente con las pruebas necesarias de esfuerzos y de tiempo en sus movimientos, se obtuvo el robot humanoide en su óptimo funcionamiento mecánico, para que posteriormente sea programado con el lenguaje de señas.

PALABRAS CLAVE:

- **MECATRÓNICA**
- **ROBÓTICA**
- **ROBOT HUMANOIDE**
- **LENGUAJE DE SEÑAS**
- **IMPRESIÓN 3D**
- **INTERPRETE HUMANOIDE**

ABSTRACT

The present project has the purpose of the Design and build of the structure of a humanoid interpreter from multiple degrees of freedom for teaching basic sign language to hearing impaired children in the Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, the main objective of this project is designing and building of the structure for a humanoid robot, then it will be completed with the work of (Oñate y Valdés, 2015). Having the result of teaching sign language for this school. This robot has 22 degrees of freedom, distributed in the upper limbs and head, it was built into a 3D printer in ABS, its design was developed in SolidWorks, with its help, the stress analysis was done, also to verify whether the material supports its own weight and the forces applied to it, just as the torque required to run each of their movements was calculated. Finally, with the necessary proof of effort and time on their movements, the humanoid robot has a perfect mechanical performance, to be subsequently programmed with sign language.

KEY WORDS:

- **MECHATRONICS**
- **ROBOTICS**
- **HUMANOID ROBOT**
- **SIGN LANGUAGE**
- **3D PRINTING**
- **HUMANOID INTERPRETER**

PRESENTACIÓN

En el presente proyecto de tesis se realiza el diseño y construcción del prototipo de la estructura del torso de un intérprete humanoide de múltiples grados de libertad para la enseñanza del lenguaje de señas básicas para niños con discapacidad auditiva en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi.

El Capítulo I se realiza una recopilación de trabajos realizados a nivel nacional e internacional, para tener referencia del estado que se encuentra actualmente este tipo de robot humanoides, o de robots de asistencia a personas con algún grado de discapacidad física o mental. Así como también información importante de discapacidad auditiva, locomoción y antropometría del cuerpo humano.

El capítulo II se desarrolla el diseño del robot humanoide, se determinan los parámetros de diseño, así como también se detalla cada uno de los movimientos que va a poder realizar, con su tipo de mecanismo. Se realiza la selección de tipo de manufactura y de material. Se calculan todos los torques necesarios para sus movimientos. Se efectúa el análisis de esfuerzos de forma manual y mediante el software SolidWorks, de este modo se comprueban los resultados.

En el capítulo III se detalla el proceso de construcción de las piezas en la impresora 3D, luego se realiza el ensamblaje de cada una de las partes del robot humanoide.

En el capítulo IV se realizan las pruebas de resistencia del material, el campo de operación de cada movimiento, así como también el tiempo de ejecución de las señas ejecutadas, se realiza la validación de la hipótesis utilizando el método del "chi-cuadrado" , finalmente se realiza un análisis de costos de proyecto.

El Capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego de concluir con el proyecto.

Mediante la bibliografía y los anexos se fortalece las bases teóricas del proyecto.

CAPÍTULO I

1. ESTADO DEL ARTE Y FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Introducción

Hoy en día, los avances tecnológicos en el campo de la robótica permiten el uso de robots en un amplio campo de la industria, siendo esto frecuente en muchos ámbitos de fabricación de productos de consumo diario, ya que realizan tareas de forma más exacta o más económica, también se les utiliza en trabajos demasiado sucios, peligrosos o tediosos para los humanos, pero la tecnología es cada vez más barata y más rápida, que ha abierto el interés en la investigación para llegar cada vez más lejos y lograr lo que algún día fue inimaginable, como es el caso de los robots humanoides, los cuales ya se realizan como prototipos y aplicaciones pequeñas, queriendo insertar esta tecnología en el aspecto social y educativo como compañeros en las actividades con los seres humanos.

Los robots humanoides serán parte de una compleja sociedad humana del futuro, que transformará completamente la sociedad. Por el momento, los que puedan comprarlos, pueden tener una idea, como los juguetes mini-robots humanoides que están disponibles en el mercado.

Los avances tecnológicos quieren demostrar las destrezas de los robots humanoides, en ámbitos como: la ayuda en el aseo de casa, en la oficina o su contribución en entornos laborales. Pero el objetivo principal de este trabajo es, mostrar que las interacciones robóticas son posibles en actividades cotidianas con las personas en entornos reales, como asistencia a enfermos, ancianos, o en la enseñanza con ayuda de un robot humanoide, como intérprete de la lengua de señas en las instituciones públicas de niños con capacidades especiales, los cuales están al frente de una barrera con este tipo de tecnología y así permitir que sean partícipes y beneficiarios del avance de esta nueva era en la robótica.

1.2. Antecedentes

A nivel mundial existen aplicaciones con robots de asistencia para las personas con algún tipo de discapacidad y así puedan tener acceso donde antes era muy difícil, en el caso de discapacidad auditiva, ya que ellos no pueden expresarse de forma que las demás personas lo entiendan, o ellos mismo entender como una persona común. Hoy en día en países desarrollados, existen equipos con tecnología los cuales satisfacen las necesidades de estas personas con este tipo de discapacidad.

En el caso de nuestro país, se está promoviendo e impulsando proyectos relacionados con el Plan Nacional del Buen Vivir (Planificación, 2013), y es política de estado la inclusión social de estas personas, para que al interactuar con las demás no exista ninguna barrera, y que pueda impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones de las demás.

Al nivel del sector de Cotopaxi existen muy pocos proyectos de este tipo, relacionados en la educación de personas con capacidades especiales, ya que en algunos casos solo se llega a realizar estudios y se desarrolla hasta un cierto punto de aplicación y no verdaderamente se llega a satisfacer las necesidades de estas personas, porque no existe un vínculo entre la tecnología actual con las personas con capacidades especiales.

1.3. Investigaciones relacionadas con el diseño y construcción de robots humanoides.

Como es de conocimiento a nivel mundial existen instituciones en las cuales su avance tecnológico es sumamente superior al de nuestro país, por tal motivo se realiza una investigación dentro del tema de robots humanoides, como se muestra a continuación, encontrando innumerables proyectos relacionados, con distintas aplicaciones, ya sea para la ayuda de las actividades diarias del ser humano, la asistencia en labores de trabajo y siendo una razón esencial la ayuda a las personas con algún tipo de capacidad espacial en el mundo.

**“Aiko Chihira, la robot humanoide que se comunica con lengua de señas”.
Universidad de Osaka e institutos nipones de tecnología Shibaura. Japon.
2014**

Resumen: La compañía japonesa Toshiba desarrollo conjuntamente con colaboración de la Universidad de Osaka un nuevo prototipo de "robot social" de aspecto humano capaz de expresarse en el lenguaje de signos y de mostrar expresiones faciales, especialmente destinado a asistir a personas de edad avanzada. Los diseñadores seguirán trabajando en su robot que ampliará su repertorio de expresiones e integrará otras funciones como la capacidad de hablar y de reconocer el habla, en el 2020 se pretende comercializarse. El prototipo está equipado con 43 motores que le permiten mover con fluidez sus extremidades superiores y cabeza, así como con sensores de movimiento, tecnología de reconocimiento facial y de aprendizaje de gestos y de expresiones.

**“Diseño, construcción de un robot domestico para asistencia y entrenamiento de movilidad”. Isela Guadalupe Carrera Calderón,
Universidad Politécnica de Madrid, Madrid – España, 2011.**

Resumen: El objetivo de este robot es ayudar a las personas con problemas de movilidad (robot de asistencia doméstica), las cuales le permiten tener una vida independiente. Se realiza una investigación técnica sobre robots de asistencia para establecer una propuesta de solución. Luego se realiza el desarrollo del prototipo a escala y la prueba de funcionamiento. Se propone una relación entre la cinemática del movimiento de levantado normal de una persona y la cinemática del robot para generar las trayectorias. Este prototipo puede ser también utilizado para rehabilitación de alguna persona determinada, al igual que sus 5 principales funciones, los cuales son: soportar el peso completo de una persona, levantar a la persona de la posición sentado, balancear a la persona durante el caminado, autonomía para navegar y trasportar objetos dentro del hogar. Este robot tiene 3 grados de libertad, el primero constituye un carro de rieles que se puede resumir con una justa prismática, el siguiente grado de

libertad es una junta rotacional que permite al usuario tener diferente orientación, finalmente se tiene otra junta prismática a lo largo de la vertical del robot y esta tiene una silla de soporte. La capacidad que puede levantar este prototipo con sus motores DC con reducción de 250:1 es de 10 a 15 Kg.

“Mecatrónica bioinspirada de robots humanoides de tamaño natural”. Luis María Cabás Ormaechea, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid-España, Junio de 2009.

Resumen: Esta tesis se enmarca dentro del área de estudio de robots humanoides y se centra específicamente en el estudio de Mecatrónico de los mismos. El problema a resolver es cómo diseñar de forma eficiente esta clase de robots, para que puedan desplazarse de forma autónoma y realizar una gran variedad de tareas. Por tal motivo, en esta tesis se desarrolla y aplica una metodología de diseño para un robot humanoide de tamaño natural, tomando como modelo algunas características del ser humano. Esta metodología pretende resolver de forma progresiva el problema del diseño de un robot humanoide, utilizando aquellas analogías físicas y mecánicas que tienen este tipo de ingenios mecánicos con el cuerpo humano y, a partir de ellas, utilizarlas para obtener los modelos que ayudarán a lograr este propósito, de construir una máquina con un nivel de desarrollo tecnológico muy grande. El diseño del robot humanoide consta de 21 grados de libertad distribuidos en toda su estructura, tanto en la parte superior como inferior.

“Diseño de un Sistema Emulando el Movimiento Articulado de una Mano, Brazo y Antebrazo”. Carlos Hernández Santos y Carlos Francisco Montoya Mejía, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Cuernavaca-México, Agosto 2007.

Resumen: Este documento presenta el diseño de un sistema robótico antropomórfico, que consta de un brazo de 7 grados de libertad (gdl) y una mano

con 15 gdl, cuya finalidad es reproducir algunos de los movimientos que realizan el brazo y la mano humana. Los rangos de movilidad y las dimensiones del sistema completo son las de un humano promedio. El propósito de este proyecto es continuar la investigación de sistemas robóticos que emulan el movimiento de partes humanas, en este caso de las extremidades superiores, que dotan al ser humano de una gran capacidad de manipular y modificar su entorno. El brazo diseñado cuenta con 7 gdl, 3 para el hombro, 2 para el codo y 2 para la muñeca. Estos gdl permiten que la movilidad y destreza del brazo sea muy parecida a la de un brazo humano. La mano tiene 15 gdl, cuenta con 5 dedos con 3 gdl en cada uno de ellos. Esto le permite realizar la mayoría de los movimientos que realiza una mano humana. Los gdl implementados se actúan con motores de CD de 12 y 24 voltios. La reducción de movimiento y el incremento del par mecánico es a base de reductores armónicos, y en algunos casos se emplean bandas y poleas. El objetivo principal de este trabajo es que tenga movimientos muy similares a los humanos y que sea capaz de manipular 0.5kg en su efector final.

“Robot humanoide con 14 grados de libertad”. Mayra Hernández Torres, Instituto Politécnico Nacional, Querétaro-México, Noviembre del 2011.

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 (giro alrededor de un eje común) 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 diseña tomando en cuenta las características necesarias para realizar el movimiento de caminata. La propuesta de diseño de la estructura mecánica está realizada en Solid Works. Se realiza la simulación de los movimientos de la estructura del robot bípedo humanoide. Se realiza el dibujo a detalle de la estructura mecánica para su construcción. Se construye el mecanismo del robot bípedo humanoide con piezas

maquinadas en lámina de acero calibre 16. El robot bípedo humanoide construido tiene una altura de 28 cm y un peso de 7.6 Kg totales.

“Diseño y construcción de un robot facial”. Oscar Barrantes, José Bonilla, Luis Melo, Universidad Pedagógica Nacional Facultad De Ciencia Y Tecnología, Bogotá-Colombia, 2008.

Resumen: En el presente trabajo presenta el diseño y construcción de un robot sociable que se caracteriza por su interpretación de gestos faciales, siendo este el que abra las puertas a la investigación de futuros desarrollos robóticos involucrados en el ámbito científico de humanoides. La construcción implica una estructura análoga al sistema óseo, mecanismos que simulen la función de los músculos y las articulaciones, para que, en conjunto, estos dispositivos realicen los movimientos correspondientes a cuatro expresiones del rostro humano (Alegría, tristeza, sorpresa y enojo). El recubrimiento exterior tiene que aproximarse a la textura y apariencia de la piel humana, así como sus demás componentes (ojos, nariz, orejas, dientes, cabello) conservando las dimensiones y proporciones antropomórficas de un cráneo adulto.

“Inmoov”. Gael Langevin, Francia, 2012.

Resumen: En este proyecto se presenta el trabajo realizado por el escultor Gael Langevin quien decidido sumarse a la comunidad que apuesta por la robótica libre (código abierto) y el intercambio de conocimiento y diseños, como prueba de ello, ha decidido compartir en la red los planos y esquemas del robot antropomórfico de tamaño real (humanoide), que está construyendo. La idea es simple, Langevin diseña e implementa el robot y, todo aquel que lo desee, puede seguir su evolución en su blog. El objetivo de este proyecto es llegar a tener el desarrollo completo de un robot humanoide con autonomía, y con la ayuda de sus seguidores o cualquier persona con interés puede reproducir o mejorar, contribuyendo así a crecer el proyecto. Su construcción lo realiza completamente en una impresora 3D, actualmente su trabajo está desarrollo hasta la parte

superior del humanoide como son sus extremidades superiores, su cuello, su cabeza, su pecho y estómago, además el robot responde a comandos de vos, también puede hablar usando un sintetizador gracias a un software de código abierto. Posee en sus ojos cámaras los cuales le permiten tener visión artificial, y así poder reconocer figuras o formas para poderlas manipular autónomamente. El escultor se encuentra en el desarrollo de sus partes físicas de sus extremidades inferiores teniendo así ya varios modelos que están a prueba en la red.

1.4. Investigaciones relacionadas en las instituciones de educación superior en el país.

A pesar que en todo el mundo las instituciones se encuentran en un alto desarrollo tecnológico, dentro de nuestro país el avance del mismo no se ha quedado atrás, existiendo instituciones las cuales si las desarrollan, como se presenta a continuación algunos de los trabajos relacionados con robots humanoides, en especial para la ayuda de personas con algún tipo de discapacidad.

“Ensamblaje y control de un rostro robótico que simule los movimientos del rostro humano”. Cesar Astudillo, Henry López, Nelson Sotomayor, Escuela Politécnica Nacional, Agosto de 2012.

Resumen: En el presente trabajo se ha desarrollado el ensamblaje y control de un rostro robótico capaz de simular las emociones expresadas por un rostro humano, el cual cuenta con distintas prestaciones como reconocimiento de voz, comunicación inalámbrica y 21 grados de libertad, que en su combinación, brindan un amplio rango de movimientos y realismo. El robot es capaz de realizar una representación sincronizada de sí mismo mostrando varios gestos y expresiones humanas, siendo esta una introducción previa a su funcionamiento usual. Su control tiene dos modos: manual y automático. El modo manual del rostro robótico puede ser controlado mediante una interfaz gráfica

inalámbicamente desde el computador, de este modo consiguiendo simular expresiones humanas previamente definidas, así como el control de cualquier parte de su rostro. En modo automático se tiene un comportamiento basado en condiciones ambientales como la temperatura, ruido e intensidad luminosa, así como la capacidad de responder ante los comandos de voz previamente asignados, todo esto gracias a varios sensores y actuadores. El control del rostro robótico comprende el control de servomotores, acondicionamiento y manejo de sensores que recogen información del medio en donde se encuentre el robot, reproducción y reconocimiento de comandos de voz preestablecidos. El prototipo es capaz de simular estados de ánimo como alegría tristeza, enojo, repugnancia, sorpresa, pensativo, dudoso entre otros. Su control se realiza mediante controladores atmega.

“Diseño e implementación de un prototipo de robot asistente para personas con discapacidad motriz y adultos mayores, basado en inteligencia artificial”. David Valencia, Luis Gonzales, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador, Julio 2014.

Resumen: El documento consiste en el diseño, construcción, ensamblaje y programación de un prototipo de robot asistente que sirve para el apoyo a personas adultas mayores y personas con discapacidad motriz. Este prototipo se desenvuelve e interactúa con las personas que la recurran ya que puede identificarlo, sea por reconocimiento facial o de voz, este robot está dirigido adecuadamente a personas de tercera edad que sufran algún tipo de trastorno mental en cuanto sea su capacidad de retención de información así como es la enfermedad de Alzheimer. La construcción del robot se realizó 100% en el Ecuador en una impresora 3D CUBEX TRIO. Consta de 3 grados de libertad para la dinámica del robot: 2 para el movimiento del cuello y uno para el movimiento del torso. En la parte de control el algoritmo de detección y reconocimiento del rostro está programado en lenguaje C y C++, de este modo posee una gran

ventaja de tener un bajo consumo de recursos y optimización de velocidad de procesamiento de imágenes, su programación fue incorporada en software libre en el sistema operativo de GNU/Linux

“Diseño y construcción de un prototipo de robot bípedo autónomo con desplazamiento dinámico para el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga”. Eduardo Morrillo, Juan Portero, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador, Agosto 2014

Resumen: En este proyecto el objetivo es desarrollar un robot bípedo capaz de caminar autónomamente, con la capacidad de detectar y esquivar los obstáculos que se encuentren frente a él a una distancia aproximada de 40 [cm]. La investigación se inicia al realizar un estado del arte de los fundamentos para la construcción de un prototipo de robot bípedo y las diferentes plataformas informáticas para su desarrollo; a partir de los parámetros de diseño obtenidos del estado del arte se diseña el robot bípedo en el programa SolidWorks, en este mismo programa se realiza el análisis estático de la estructura; en el Robotics Toolbox de Matlab se efectúa el estudio cinemático y dinámico; el modelado matemático se obtiene mediante SimMechanics de Matlab de esta manera se simula el modelo físico del robot bípedo. El diseño del robot tiene 12 grados de libertad, 4 simulan el movimiento de la cadera, 2 el giro de las rodillas, 4 el movimiento de los tobillos y 2 la articulación de los hombros. Los servomotores empleados en este robot son los Dynamixel AX-12^a. Se realiza el diseño electrónico y la técnica de control dando paso a la selección y construcción de todos los componentes que conforman el robot bípedo; se implementan todos los sistemas y se obtienen las trayectorias permitiendo la realización de las distintas pruebas con sus respectivos análisis y resultados.

“Diseño e implementación de un robot autónomo humanoide controlado por microcontroladores y con administración gráfica en visual basic para aplicaciones en automatización industrial y publicidad”. Daniel Bonilla, Luis Chuquitarco, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador, 2007

Resumen: El presente proyecto tiene por objetivo desarrollar un robot interactivo de múltiples capacidades, con una estructura base que permita su programación de múltiples maneras, su reprogramación y evolución hacia nuevas estructuras, con el fin de construir robots autónomos funcionales y operativos. A más de enmarcarse en la industria del entretenimiento, sino también en la educación, tareas del hogar y en el control de procesos productivos en la industria a través de las interfaces gráficas de control. Además formará parte de los proyectos de investigación y aplicación de Robitz Science. El robot posee 8 grados de libertad los cuales son accionados por servomotores Hitec hd-332, su estructura mecánica fue realizada con materiales como metal, plástico, lona y cuero.

1.5. Planteamiento del problema

En la provincia de Cotopaxi de acuerdo al último censo realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Sensos, 2011), existe un aproximado de 117.943 niños con capacidades especiales, de los cuales 861 corresponden a niños con discapacidad auditiva, para ello la Secretaría de Discapacidades de la provincia ha creado la Unidad Educativa Especializada de Cotopaxi, en la cual 21 niños corresponden a esta discapacidad de acuerdo con dicha unidad (Cotopaxi, 2014), donde se encuentran en una sola aula entre varias edades siendo los de menor edad los más afectados, porque no pueden transmitir en lengua de señas de forma correcta lo que ellos desean manifestar, y tampoco entender lo que expresan los alumnos más grandes y el maestro, ya que su nivel de conocimientos y práctica no son similares, necesitando así un aparato como

instrumento de educación estandarizada, que realice el lenguaje de señas básico y correcto para niños los cuales están en la etapa de adaptación y enseñanza, para ingreso a un centro de educación de este tipo.

1.6. Justificación

Se justifica este proyecto porque permitirá que el niño desarrolle una mejor comprensión en la interpretación de señas básicas de esta lengua en su aprendizaje, así como también a la adaptación de un entorno escolar con tecnología superior, de este modo cumpliendo el segundo objetivo del Plan nacional del Buen Vivir, el cual es auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial, en la diversidad (Desarrollo, 2013), que están inmersas las personas con algún grado de deficiencia auditiva, en vista de que existe un número considerable de niños con esta discapacidad en la Unidad Educativa Especializada de Cotopaxi, y además no dispone de un equipo que ayude con el aprendizaje de la lengua de señas.

Es importante que las Instituciones de Educación Superior se relacionen con este medio, para dar una solución técnica a problemas de la sociedad, que para este caso se ayudará a mejorar el aprendizaje infantil con el uso de sistemas mecatrónicos, que llamarán la atención a los niños a descubrir más allá de su discapacidad, de forma en las que ellos se incentiven y se desenvuelvan utilizando su intelecto normal que poseen.

1.7. Discapacidad auditiva

La pérdida del sentido auditivo constituye la alteración sensorial más común en la población general, según algunas estadísticas del último censo nacional publicadas en él (Telegrafo, 2011), se calcula que el 8.4% de niños entre 0 a 9 años sufren de algún tipo de problema audible y de lengua. Esta discapacidad se debe parcialmente a múltiples causas que las pueden provocar, que van desde el ámbito genético, hasta simplemente infecciones o traumatismos.

1.7.1. Definición

(Aguilar, 2008), define la discapacidad auditiva como la pérdida o anormalidad de la función anatómica y/o fisiológica del sistema auditivo, y tiene su consecuencia inmediata en una discapacidad para oír, lo que implica un déficit en el acceso al lenguaje oral.

Partiendo de que la audición es la vía principal a través de la cual se desarrolla el lenguaje y el habla, debemos tener presente que cualquier trastorno en la percepción auditiva del niño y la niña, a edades tempranas, va a afectar a su desarrollo lingüístico y comunicativo, a sus procesos cognitivos y, consecuentemente, a su posterior integración escolar, social y laboral.

1.7.2. Lenguaje de señas

(Copesa, 2012), describe que el lenguaje de señas es aquel que se basa en las expresiones faciales, movimientos corporales y gestuales para comunicarse. Como todo tipo de lenguaje, tiene claramente definido las estructuras gramaticales. Un elemento importantísimo es la percepción visual, gestual y táctil, por medio de los cuales se establece un canal de comunicación con su entorno social.

Al igual que todo sistema de lenguaje, el de señas ha pasado por procesos de cambios lingüísticos. Esto ha provocado su evolución y perfección en las distintas comunidades, lo que hace que existan más de 50 lenguas de señas, regulado por el "Sistema de Señas Internacionales (SII)".

El alfabeto manual o dactilológico es un sistema de representación simbólica o icónica de las letras de los alfabetos de las lenguas orales-escritas por medio de las manos. Dependiendo de los alfabetos o sistemas de escritura de cada país o comunidad, este lenguaje tendrá señas y códigos propios.

1.8. Estructura superior del cuerpo humano

1.8.1. Anatomía

(Pillou, 2013), define que la anatomía humana es el estudio del cuerpo y todos sus componentes según las diferentes zonas: la cabeza y el cuello, la región dorsal y el sistema nervioso central, el tórax, el abdomen, la pelvis, las extremidades. Para su estudio se necesita de un verdadero atlas del cuerpo humano, la anatomía detalla cada órgano, cada hueso, etc. Pero también su posición a través de diseños del esqueleto, los músculos, el sistema cardiovascular, nervioso o linfático, los aparatos digestivo, respiratorio, reproductor y urinario, para lo cual se recomienda ampliar su estudio en el libro de Mark N. y Shawn M. (2012), ATLAS DE ANATOMIA HUMANA, Argentina: Panamericana.

1.8.2. División robótica del sistema óseo

Las personas que estudian medicina en busca de una mejor comprensión generalmente en el estudio del sistema óseo del cuerpo humano, lo divide en: cabeza, tronco y extremidades (brazos y piernas). En robótica se realizará de igual manera, una división de la siguiente manera: en su parte superior, (conformada de cabeza, tronco y brazos) y la parte inferior, (cadera, piernas y pies). En el caso de este trabajo solo se tomará en cuenta la parte superior para su análisis y estudio.

(Dixon, 2012), detalla cada uno de los elementos de la parte superior del cuerpo humano y los describe de la siguiente manera:

- **Cabeza**

Es la extremidad superior del cuerpo, conectada al tronco por el cuello. Tiene forma ovalada y aloja al cerebro. En la parte frontal denominada rostro, la cabeza contiene cuatro órganos sensoriales: la nariz, los ojos, los oídos y la boca como se observa en la Figura 1.1. Todos transmiten mensajes sensoriales al cerebro: la nariz envía olores; los ojos, imágenes; los oídos, sonidos y la boca, gustos.

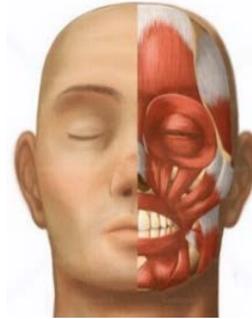


Figura 1. 1: Cabeza de humano

Fuente: <http://www.centralx.es/p/imagen/regiones-corporales/cabeza/>

- **Cuello**

Es la parte del cuerpo que conecta la cabeza con el tronco, como se muestra en la Figura 1.2. También es el sostén de la cabeza y permite que se balancee hacia arriba y abajo, de izquierda a derecha.

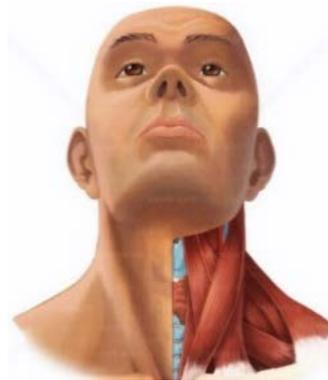


Figura 1. 2: Cuello de humano

Fuente: <http://www.centralx.es/p/imagen/regiones-corporales/cuello/>

- **Tronco**

Es el componente del cuerpo que conecta todas las otras partes y aloja a muchos de los órganos internos vitales, tales como el corazón, los pulmones, el estómago, el hígado, los riñones y los órganos reproductores, como se ilustra en la Figura 1.3. El corazón es considerado el motor del cuerpo humano, late constantemente y bombea sangre a todo el organismo. Los pulmones nos permiten respirar, mientras que el estómago descompone los alimentos y absorbe los nutrientes.

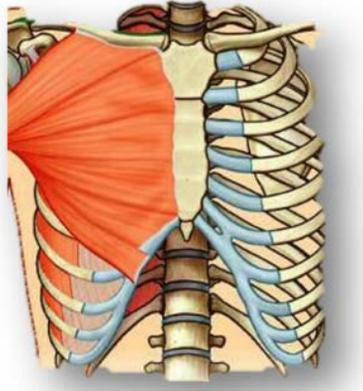


Figura 1. 3: Tronco de humano

Fuente: <http://www.centralx.es/p/imagen/torax>

- **Extremidades**

El ser humano dispone de cuatro extremidades: dos brazos y dos piernas. Los brazos son las extremidades superiores, conectadas al tronco lateralmente, uno a la izquierda y otro a la derecha. El brazo se compone de: hombro, codo, antebrazo, muñeca, palma y dedos como se presenta en la Figura 1.4. Gracias a nuestros brazos podemos agarrar, sostener y trasladar objetos.



Figura 1. 4: Extremidad de humano

Fuente: <http://www.centralx.es/p/imagen/sistema-musculoesqueletico/esqueleto/huesos/huesos-de-la-extremidad-superior/>

1.8.3. Articulaciones

Una articulación es la unión entre dos o más huesos, existen dos tipos de articulaciones las móviles y semi-móviles. Las articulaciones móviles son cuando los huesos se mueven con mayor libertad y son llamadas diartrosis. Dentro de las articulaciones en los extremos de los huesos están cubiertos por cartílagos, la cual amortigua el roce entre los huesos.

(Vega, 2011), describe los tipos de articulaciones móviles principales del cuerpo humano de la siguiente manera:

- a) Articulación troclear (BISAGRA).** Tiene una forma parecida a una polea; es troclear la articulación existente entre el húmero y el cúbito en el codo.
- b) Articulación trocoide (PIVOTE).** Parecido a un cilindro que da vueltas sobre un eje, como la articulación entre la tibia y peroné.
- c) Articulación de superficies esféricas.** El extremo de uno de los huesos es redondeado y entra en una cavidad situada en el extremo del otro hueso, como la articulación entre la escápula y el húmero.
- d) Articulación condilar.** Uno de los huesos es alargado y se ajusta perfectamente en una cavidad del otro hueso, llamada glenoidea; es condilar la articulación de la muñeca entre el hueso radio con el hueso semilunar y escafoides.
- e) Articulación artrodia (PLANA).** Es una articulación entre huesos planos, como la unión de huesos navicular y el primer y segundo hueso cuneiforme.
- f) Articulación en silla de montar.** El extremo de uno de los huesos tiene la forma de una silla de montar, sobre el que el otro hueso monta como un jinete: articulación entre el trapecio y el metacarpo en el pulgar.

En la Figura 1.5, a continuación se ilustran los tipos de articulaciones detalladas anteriormente.

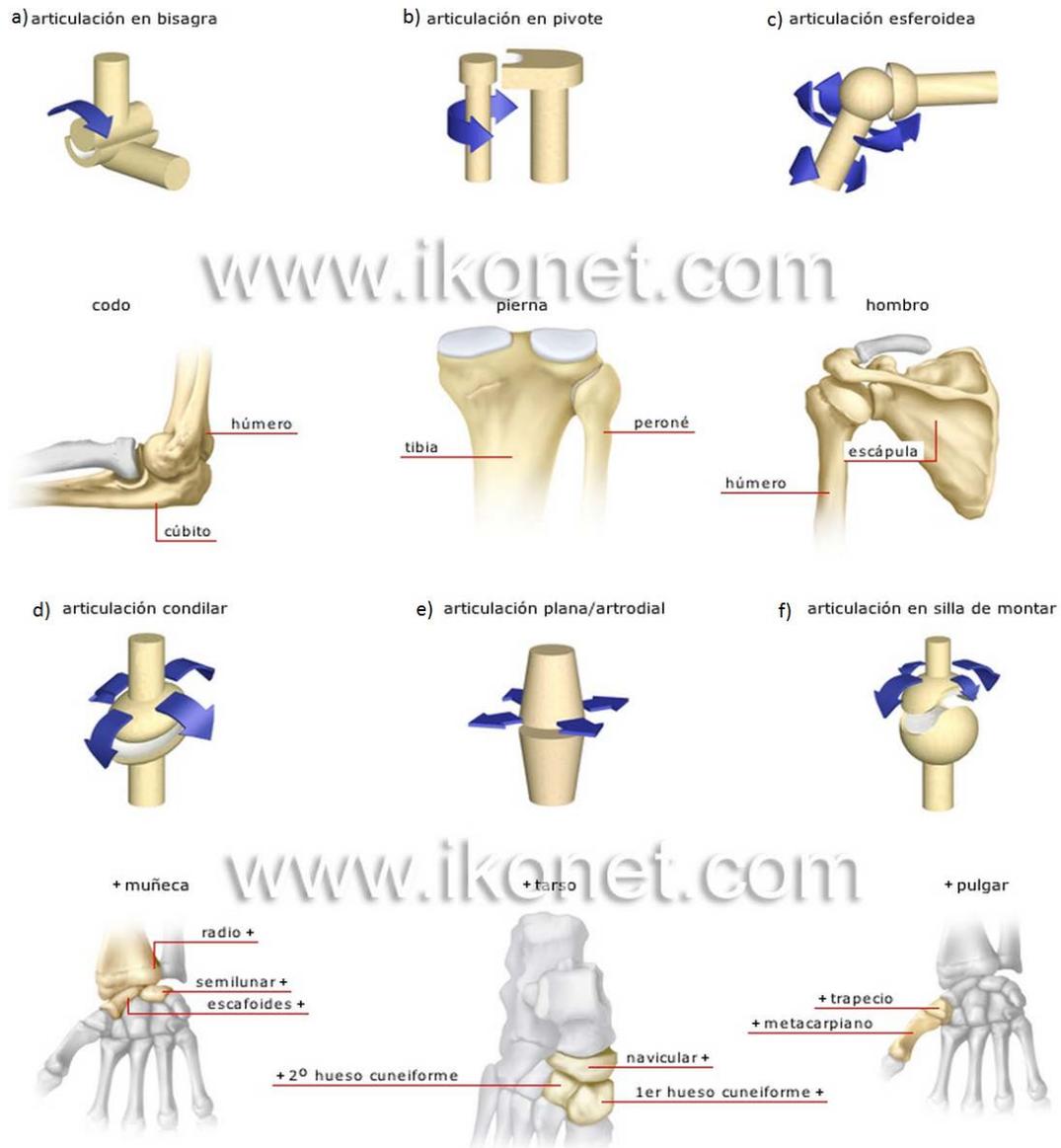


Figura 1. 5: Tipos de articulaciones

Fuente: <http://www.ikonet.com/es/diccionariovisual/ser-humano/anatomia/esqueleto/tipos-de-articulaciones-sinoviales.php>

1.9. La locomoción humana

(Acero, 2013), define que la acción motora es caracterizada por una autopropulsión manifestando una progresión de traslación de todo el cuerpo,

producida por movimientos rotatorios coordinados de cada uno de los segmentos corporales que son articulados. La locomoción es el movimiento que permite que el sujeto se desplace y además adquiera otra posición, cambie de lugar, etc. A continuación se detalla las principales definiciones y características que posee el cuerpo humano, no obstante es recomendable ampliar el estudio en el libro de Nordin M. y Frankel V. (2004), **BIOMECÁNICA BÁSICA DEL SISTEMA MUSCULO ESQUELÉTICO**, España: McGraw-Hill.

1.9.1. Biomecánica

En (Mibienestar, 2011), define que la biomecánica es una disciplina científica que se dedica a estudiar la actividad de nuestro cuerpo, en circunstancias y condiciones diferentes, y de analizar las consecuencias mecánicas que se derivan de nuestra actividad, ya sea en nuestra vida cotidiana, en el trabajo, cuando hacemos deporte, etc. Para estudiar los efectos de dicha actividad, la Biomecánica utiliza los conocimientos de la mecánica, la ingeniería, la anatomía, la fisiología y otras disciplinas.

1.9.2. Estudio del movimiento

El estudio de movimientos es el cual analiza de forma detallada los distintos movimientos del ser humano cuando efectúa un trabajo. Su análisis tiene como objetivo que los movimientos ineficientes se simplifiquen y eliminen, de esta manera los movimientos eficientes se aceleren y faciliten, llevando así el trabajo con mayor facilidad y aumentar el índice de producción.

1.9.3. Movimientos del ser humano

El cuerpo humano presenta varias zonas donde se producen movimientos, a estas zonas se les llama articulaciones y son los puntos donde se unen dos o más huesos del esqueleto. A continuación se presentan los nombres de las principales articulaciones del cuerpo humano, así como ciertos movimientos combinados y especiales según (UAL, 2013).

- Movimientos articulares para el cuello los cuales son: a) Inclinación a la derecha, b) Rotación a la derecha, c) Extensión, d) Contracción, e) Inclinación a la izquierda, f) Rotación a la izquierda, como se observa en la Figura 1.6.

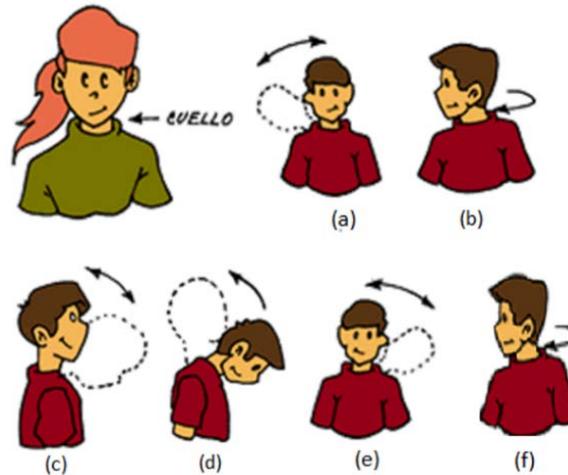


Figura 1. 6: Movimientos del cuello

Fuente: <http://algomassobreanatomia.blogspot.com/2013/01/movimientos-del-cuerpo-humano.html>

- Movimientos articulares de hombros los cuales son: a) Flexión, b) Extensión, c) Aducción o acercamiento, d) Abducción o alejamiento, e) Rotación externa, f) Rotación interna, como se presenta en la Figura 1.7.

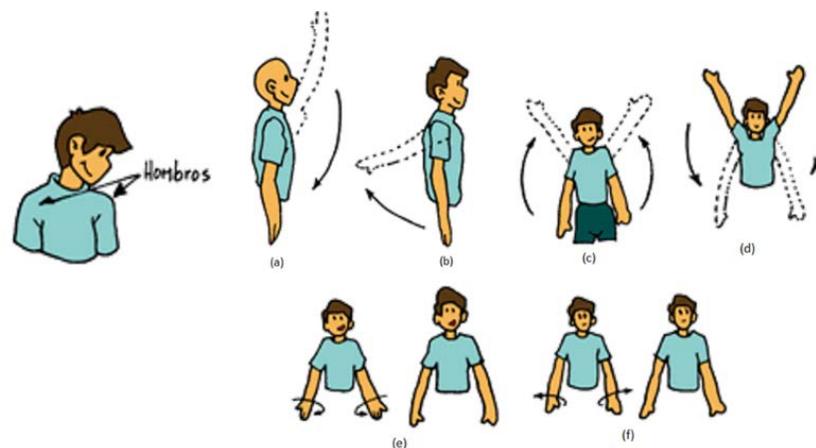


Figura 1. 7: Movimiento de hombros

Fuente: <http://algomassobreanatomia.blogspot.com/2013/01/movimientos-del-cuerpo-humano.html>

- Movimientos articulares de codos los cuales son: a) Flexión, b) Extensión, c) Rotación interna, d) Rotación externa. A continuación detalla en la Figura 1.8.

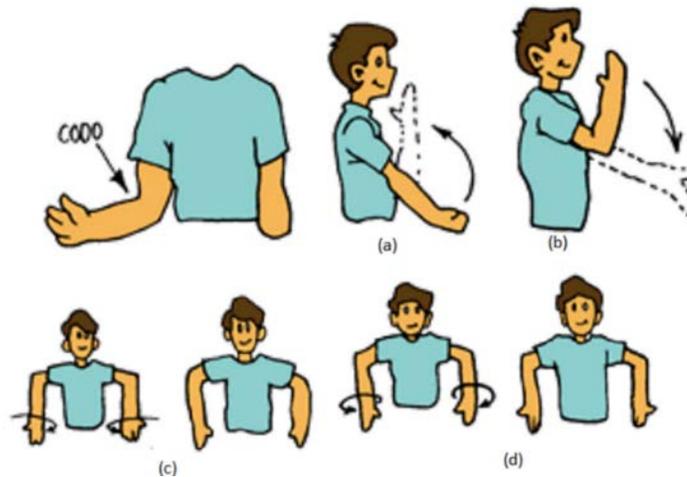


Figura 1. 8: Movimiento de codos

Fuente: <http://algomassobreanatomia.blogspot.com/2013/01/movimientos-del-cuerpo-humano.html>

- Movimientos articulares de muñecas las cuales son: a) Dorsiflexión o flexión dorsal, b) Palmiflexión o flexión palmar, c) Abducción o alejamiento, d) Aducción o acercamiento, como a continuación se presenta en la Figura 1.9.

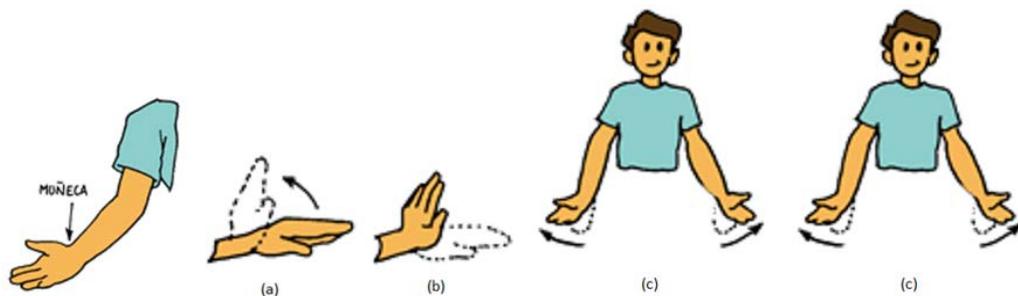


Figura 1. 9: Movimiento de muñecas

Fuente: <http://algomassobreanatomia.blogspot.com/2013/01/movimientos-del-cuerpo-humano.html>

De igual manera cada una de estas articulaciones vistas anteriormente tienen un rango de movilidad, en la Tabla 1.1, a continuación se detalla el valor de los ángulos de cada una de éstas según (Espinosa, 2013).

Tabla 1. 1
Rangos de movilidad de articulaciones

Parte del cuerpo humano	Movimiento articular	Angulo (Grados)
Cuello	Inclinación a la derecha	45
	Rotación a la derecha	90
	Extensión	90
	Contracción	90
	Inclinación a la izquierda	45
	Rotación a la izquierda	90
Hombros	Flexión	180
	Extensión	45
	Aducción o acercamiento	180
	Abducción o alejamiento	45
	Rotación externa	90
	Rotación interna	90
Codo	Flexión	135
	Extensión	0 a 5
	Rotación interna	90
	Rotación externa	90
Muñeca	Dorsiflexión o flexión dorsal	70
	Palmiflexión o flexión palmar	80
	Abducción o alejamiento	30
	Aducción o acercamiento	20
Dedos	Extensión y contracción de dedos	90

Fuente: (Espinosa, 2013)

1.9.4. Medidas antropométricas del cuerpo humano

El término antropometría según (Valero, 2011) proviene del griego anthropos (hombre) y metrikos (medida) y trata del estudio cuantitativo de las características físicas del hombre. La antropometría estática o estructural es aquella cuyo objeto es la medición de dimensiones estáticas, es decir, aquellas que se toman con el cuerpo en una posición fija y determinada como se muestra en la Figura 1.10 y Figura 1.11.

Las medidas van a depender del país, región raza, entre otros factores que existen en todo el mundo, las dimensiones principales según la norma DIN 33.402 (Melo, 2011) en milímetros, se detallan en la Tabla 1.2 y la Tabla 1.3 a continuación:

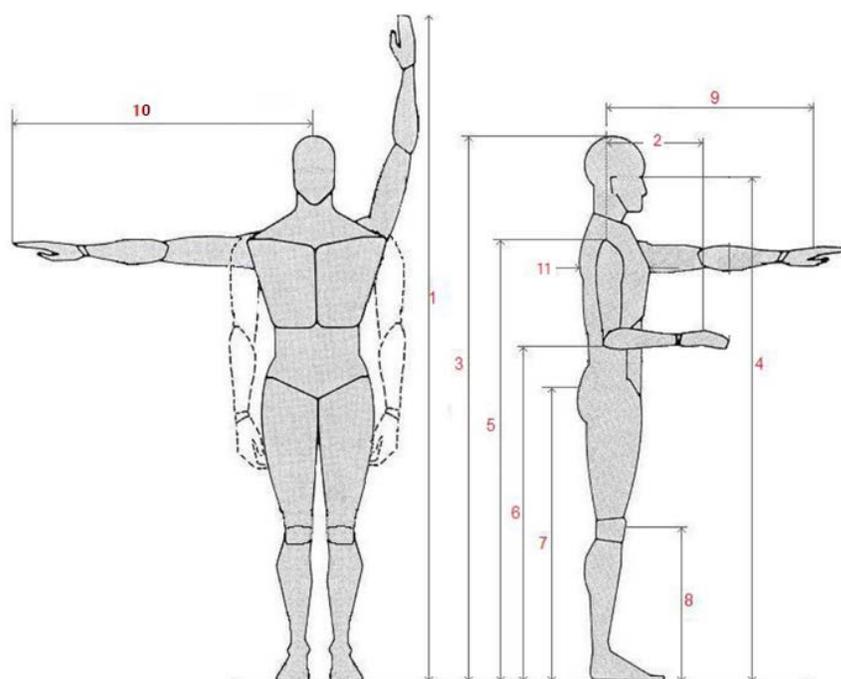


Figura 1. 10: Distancias del cuerpo humano en posición parada

Fuente: http://www.fiso-web.org/files/Antropometria_Lic.%20Melo.pdf

Tabla 1. 2

Dimensiones principales según la norma DIN 33.402 en posición parada

N.-	Descripción	Hombre			Mujer		
		Valor límite inferior	Valor promedio	Valor límite superior	Valor límite inferior	Valor promedio	Valor límite superior
1	Alance hacia arriba	1910	2051	2210	1748	1870	2000
2	Longitud de codo	327	362	289	290	322	364
3	Estatura	1629	1733	1841	1510	1619	1725
4	Altura de los ojos parado	1509	1613	1721	1402	1502	1596
5	Altura de los hombros	1349	1445	1542	1234	1339	1436
6	Altura de los codos al piso	1021	1096	1179	957	1030	1100
7	Altura de piernas	752	816	886	-	-	-
8	Altura de las rodillas	493	535	574	462	500	542
9	Alcance hacia adelante	662	722	787	616	690	762
10	Distancia lateral de brazo	712	772	834	665	740	810
11	Profundidad de pecho	233	276	318	238	285	357

Fuente: (Melo, 2011)

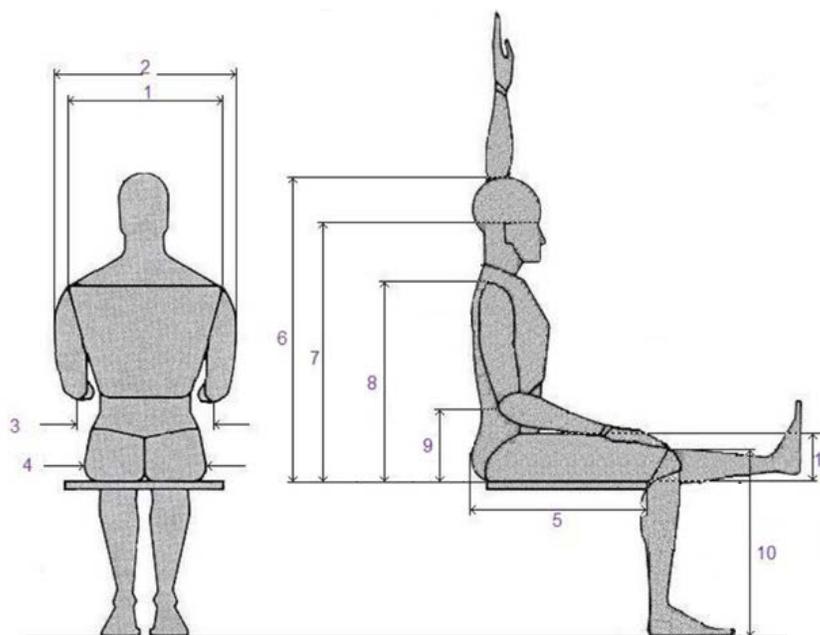


Figura 1. 11: Distancia del cuerpo humano en posición sentada

Fuente: http://www.fiso-web.org/files/Antropometria_Lic.%20Melo.pdf

Tabla 1. 3

Dimensiones principales según la norma DIN 33.402 en posición sentada

N.-	Descripción	Hombre			Mujer		
		Valor límite inferior	Valor promedio	Valor límite superior	Valor límite inferior	Valor promedio	Valor límite superior
1	Ancho de hombros	367	398	428	323	355	388
2	Ancho sobre los codos	399	451	512	370	456	544
3	Ancho de codos	325	362	391	340	387	451
4	Ancho de asiento	310	344	368	314	358	405
5	Distancia nalga rodilla	554	559	645	530	587	631
6	Altura del cuerpo desde asiento	849	907	962	805	857	914
7	Altura de ojos desde el asiento	739	790	844	680	735	785
8	Altura de hombros desde el asiento	561	610	655	538	585	631
9	Altura de codo desde el asiento	193	230	280	191	233	278
10	Altura de las rodillas	493	535	573	462	500	542
11	Espesor del muslo	117	136	157	118	144	173

Fuente: (Melo, 2011)

1.10. Robots humanoides

1.10.1. Definición

(Cortes, 2011), Define que los robots humanoides también conocidos como androides, son sistemas muy complejos no solo en su estructura mecánica, también son en lo relacionado con el sistema de control, los sensores, los servomotores, la programación y el modelado matemático. Los robots humanoides ocupan una posición muy importante en todo el mundo debido a su versatilidad y aplicaciones; un aspecto clave para tal aceptación en la sociedad es la similitud al ser humano que le hacen ver agradables, confiables y amigables.

1.10.2. Generalidades

La presencia de robots está cambiando la humanidad, a más de los robots industriales que generalmente son utilizados en el campo laboral, en los últimos años se está yendo más allá con el fin de cambiar el concepto de las actividades realizadas en nuestros hogares. Científicos recalcan que muchas actividades cotidianas se realizaran con ayuda de robots, lo que mejorará la calidad de vida de muchas personas.

En el mundo hay expertos que se encuentran desarrollando este tipo de robots humanoides, los cuales a futuro reemplazarán la intervención de la mano humana en tareas de la vida cotidiana. Actualmente sus trabajos se basan en mejorar las habilidades de los robots, como el aprendizaje del habla y reconocimiento de idiomas, como es el caso del robot humanoide de Toshiba Aiko Chihira, el cual expresa el lenguaje de sañas de Japón, la que se observa en la Figura 1.12.



Figura 1. 12: Robot humanoide de Toshiba Aiko Chihira

Fuente: <http://www.cnet.com/es/noticias/toshibas-new-robot-can-speak-in-sign-language/>

(González, 2013), profesor del Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT), destaca que la importancia primordial de construir robots humanoides es permitir la facilidad de la interacción entre robots y humanos. El robot debe poder hablar con la gente, mirar de un lado para otro, debe poder sostener objetos con las manos, entre algunas otras actividades comunes de los humanos.

Existen empresas y universidades que se dedican al desarrollo de las características del ser humano como es la mímica, gestos, sonrisas, entre otros, a continuación se presenta en la Figura 1.13, un robot humanoide desarrollado en la Universidad nacional de Taiwán, un ejemplo de tantos proyectos desarrollados en el mundo. Cada desarrollo trata de un componente humano, con el fin que la unión de todos estos es obtener un resultado de un humanoide completo.



Figura 1. 13: Robot humanoide de gestos

Fuente: <http://www.rtve.es/noticias/fotos/tecnologia/google-ferrari-ireal-mitsubishi-toyota-robot-facebook/>

Además en empresas que se dedican al mejoramiento de robots con su apariencia no tan semejante a la de un humano, pero pretende realizar las mismas actividades humanas, como es el caso de Honda, empresa Europea quien desarrolló a Asimo, un robot autómatas para el uso práctico en entornos domésticos o donde se requiera algún tipo de asistencia. Este robot es el último de sus versiones que incluye un nivel de inteligencia mejorado y una mayor destreza de sus manos, de este modo le permite abrir una botella y servir una bebidas, dicho robot se ilustra en la Figura 1.14. Además puede correr con una velocidad de 9km/h hacia adelante y hacia atrás, subir y bajar escaleras de una manera más fluida y rápida, inclusive saltar de un solo pie.



Figura 1. 14: Robot Asimo

Fuente: <http://www.infobae.com/2014/07/21/1582228-asimo-la-nueva-version-del-robot-que-toma-decisiones>

Asimo es capaz de reconocer el rostro y voz de múltiples personas que se encuentren a su alrededor, de interrumpir su comportamiento y corregir para adaptarse a las condiciones del otro individuo. También puede utilizar el lenguaje de signos en las versiones Americana y Japonesa.

Otro caso es la empresa francesa Aldebaran Robotics, quienes son los principales representantes de robótica humanoide en Europa. Con su desarrollo del robot Nao, permite a las instituciones universitarias puedan tener un equipo factible y que presente un alto rendimiento a un costo considerable. El robot humanoide consta con 25 grados de libertad y una altura de 58 centímetros que

le dan la posibilidad de ser completamente autónomo, posee dos cámaras de video de alta sensibilidad en VGA, permitiéndole tener capacidad de procesamiento de imágenes como también reconocimiento de rostros y objetos, posee reconocimiento de voz mediante un micrófono y por medio de dos altavoces su síntesis bucal multi-idioma, soporta múltiples lenguajes de programación y cuenta con un software especial para su programación y simulación.

La Figura 1.15, muestra el robot humanoide Nao realizando una de las diversas aplicaciones que se puede realizar, como es el caso de ejecutar un baile.



Figura 1. 15: Robot Nao

Fuente:http://pdm.com.co/Noticias/2011/Diciembre/21/Los_robots_tienen_derecho_a_su_red_social.htm

En el caso de la marca norteamericana Boston Dynamics, quien realiza el estudio de robots bípedos destinados a una variedad de tareas de rescate, su robot Atlas es un robot humanoide con gran movilidad, puede caminar en terrenos muy difíciles con sus extremidades superior libres para levantar, soportar y manipular objetos de su alrededor. Atlas es un robot muy fuerte y resistente para subir terrenos con manos y pies en espacios congestionados. Este robot posee 28 grados de libertad accionados hidráulicamente, además de sus extremidades incluye un cabezal sensorizado con cámaras y un telémetro láser, su estructura se la puede observar en la Figura 1.16, su programación se ejecuta en la plataforma DARPA Robotics, este tipo de robots son catalogados como equipo de gobierno en su país de origen.



Figura 1. 16: Robot Atlas

Fuente: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/darpa-unveils-atlas-drc-robot>

1.10.3. Morfología de un robot humanoide

Los principales elementos que constituyen un robot son: su estructura mecánica, elementos de transmisión y reducción, sensores y actuadores.

a. Estructura mecánica de un robot

Un robot está constituido generalmente por un conjunto de elementos, en la mayoría de los casos son eslabones que se encuentran unidos por articulaciones, que permitirán la generación de un determinado movimiento. Para el caso de estudio de los robots humanoides, es importante hacer referencia a los distintos elementos que conforman el cuerpo humano.

La estructura de un robot es la encargada de soportar al resto de componentes, por lo que es importante para este aspecto considerar el tamaño, material, facilidad para el cambio o reemplazo de alguno de sus elementos constitutivos (Barrientos, Peñín , Balaguer, & Aracil , 2007).

Se van analizar únicamente dos de las arquitecturas existentes, que según (Flores, 2008) son las siguientes:

- **Robot humanoide bípedo**

Se trata de una estructura completamente antropomorfa, esto quiere decir que estarán ambas partes presentes la parte superior e inferior como se muestra en la Figura 1.17, que se formarán de cadenas cinemáticas de movilidad similar a la humana.

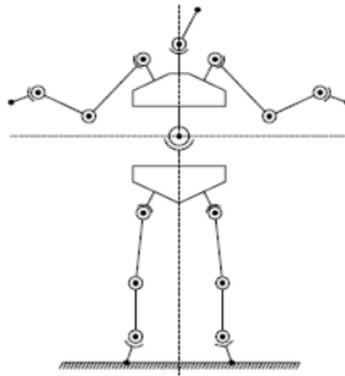


Figura 1. 17: Robot humanoide bípedo

Fuente: <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rits/n1/n1a37.pdf>

- **Robot humanoide con ruedas**

Este tipo de robot humanoide tiene, únicamente la parte superior completamente antropomorfa y la parte inferior es una base que será impulsada por ruedas que proporcionarán la tracción y la dirección que a continuación se presenta en la Figura 1.18.

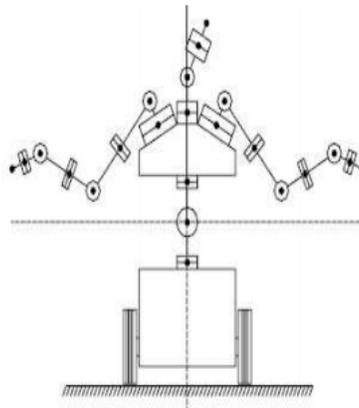


Figura 1. 18: Robot humanoide con ruedas

Fuente: <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rits/n1/n1a37.pdf>

b. Elementos de transmisión y reducción

Los sistemas de transmisión según (Barrientos, Peñín , Balaguer, & Aracil , 2007), son los que están encargados de transferir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones, por otra parte también es importante analizar los reductores que son los elementos que permitirán adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador a los valores requeridos para el movimiento.

- **Transmisiones**

La función principal de las transmisiones es la de trasladar el movimiento hacia las articulaciones, en los sistemas de transmisión es importante considerar principalmente la ubicación de los actuadores que se vayan a utilizar, puesto que los actuadores dependen de la distancia de las masas al actuador y existirán casos en los que el peso de los mismos sea demasiado elevado, para lo cual sería preferible ubicarlos cerca de la base del robot.

Las transmisiones se pueden utilizar también para convertir el movimiento circular en lineal o viceversa, cuando estas transformaciones sean requeridas.

- **Reductores**

Los reductores tienen una capacidad alta para la velocidad que va a ingresar, la cual aumenta a medida que disminuye su capacidad de transmitir par.

Las características principales que se busca en un reductor son: tamaño reducido, bajo rozamiento y que puedan realizar la reducción en un solo paso; la exigencia de estas características se presenta principalmente por las altas prestaciones que se requieren en cuanto a posición y velocidad.

- **Accionamiento directo**

En los últimos años se ha desarrollado robots con lo que se ha denominado accionamiento directo, en el cual el eje del actuador se conecta directamente a la articulación, aparecieron debido a la necesidad de combinar altas presiones

con grandes velocidades, y permiten un posicionamiento rápido y preciso, sin la necesidad de tener un reductor intermedio.

c. Sensores

Según (Angulo , Romero , & Angulo , 2005), los sensores o también considerados como captadores de estímulos, estos son necesarios ya que proporcionan la información necesaria acerca del estado en que se encuentran, también brindan la facilidad para que un robot pueda cumplir con sus tareas determinadas puesto que permiten realizar control de posición, velocidad e inteligencia según el caso.

Es importante considerar que para el buen funcionamiento y la correcta adquisición de los estímulos, se debe tomar en cuenta la ubicación de los sensores sobre la estructura del robot, la información que esté relacionada con su estado se obtiene a través de los sensores internos y la de su entorno se obtendrá de los sensores externos.

Para el caso de estudio se considerarán los sensores internos, como ya se mencionó mediante estos se puede obtener el estado de su estructura mecánica, es decir lo que se refiere a su posición y velocidad.

A continuación, en la Tabla 1.4, se muestra la clasificación de los sensores internos (Barrientos, Peñín , Balaguer, & Aracil , 2007), los cuales son utilizados en la construcción de robots.

Tabla 1. 4

Clasificación de los sensores internos

Medida	Tipo
Presencia	Inductivo, Capacitivo, Efecto Hall, Óptico, Ultrasónico y Contacto
Posición Analógicos	Potenciómetros, Resolver, Sincro, LVDT
Posición Digitales	Digitales, Encoders absolutos, Encoders incrementales y Regla Óptica
Velocidad	Tacogeneratriz

Fuente: (Barrientos, Peñín , Balaguer, & Aracil , 2007)

d. Actuadores

Una vez que la información ha sido adquirida y se han procesado los datos, prosigue la actuación del robot lo que se traduce en el movimiento mediante el uso de los actuadores, que son los encargados de generar el movimiento para permitirle al robot desarrollar la actividad que requiera, para cumplir con el objetivo para el cual fue concebido (Angulo , Romero , & Angulo , 2005).

Además de la generación del movimiento, los actuadores también pueden utilizarse para accionar pinzas, mover dispositivos y manejar herramientas diversas que puedan efectuar múltiples operaciones.

En general los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica y eléctrica, según la necesidad y la aplicación que se vaya a desarrollar (Barrientos, Peñín , Balaguer, & Aracil , 2007).

1.10.4. Cinemática del robot

Se trata del estudio del movimiento del robot con respecto a un sistema de referencia determinada, en donde se busca tener una descripción analítica del movimiento espacial en función del tiempo y las relaciones existentes entre la posición y la orientación del extremo del robot y los valores de sus coordenadas articulares.

Como se presenta en la Figura 1.19, se tienen dos teorías fundamentales, la primera es la cinemática directa en donde se busca determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot con respecto a un sistema de referencia y la segunda es la cinemática inversa que resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas, como se muestra en dicha Figura existe una relación entre la cinemática directa e inversa (Barrientos, Peñín , Balaguer, & Aracil , 2007).



Figura 1. 19: Diagrama de relación entre cinemática directa e inversa

Fuente: Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). Fundamentos de Robótica (Segunda ed.). Madrid: McGRAW-Hill.

1.11. Relación entre el cuerpo humano y un robot humanoide

El diseño mecánico es la responsable del desempeño del robot humanoide, debido a esto todas sus piezas deben poseer la rigidez y resistencia suficiente a una menor inercia. En un diseño óptimo con todos sus componentes ensamblados, con piezas ligeras y resistentes deberá dar como resultado una capacidad de respuesta alta y un sistema mecánico estable, sólido y robusto.

Una de las principales características que se debe tomar en cuenta en el diseño mecánico de un robot humanoide será los grados de libertad que se desee implementar, los grados de libertad vienen siendo el número de movimientos que el humanoide pueda realizar. Un robot humanoide costa de dos partes principales, la superior e inferior. La parte superior cuenta con los brazos, generalmente estos desarrollan la manipulación de objetos dándole a ésta la versatilidad para el desempeño de tareas. En la parte inferior está constituida por las piernas y los pies cual será el responsable que el humanoide pueda trasladarse.

Además el humanoide deberá poseer en sus componentes una cabeza, el cual dará un parentesco importante al del ser humano, dependiendo de la complejidad del desarrollo en ésta será incorporado con rostro (gestos), visión, sonido, entre otros, para un mejor desenvolvimiento e interacción con el entorno donde estará inmerso. Dentro de sus elementos de construcción deberán ser los más ligeros y altamente resistentes además los motores a utilizar deben ser fuertes y rápidos para obtener una respuestas inmediata y precisa del humanoide.

1.12. Prototipado rápido

1.12.1. Introducción

Los Sistemas de Prototipado Rápido surgen inicialmente en 1987 con el proceso de estereolitografía de la empresa norteamericana 3D Systems, proceso que solidifica capas de resina fotosensible por medio de láser. Las tecnologías de fabricación de prototipos rápidos y herramientas rápidas se han convertido en la última década en un avance tecnológico importante, que posibilita la mejora en los procesos de diseño y fabricación de piezas. (Monzón & Fernández, 2008)

1.12.2. Generalidades

Debido a las propiedades de estos materiales es que hoy en día el mundo de los plásticos está en auge por parte del sector industrial, tratando de encontrar nuevas vías y técnicas que abaraten el tiempo y costes de producción. Básicamente lo que se busca es obtener una réplica tridimensional de manera rápida y exacta de los diseños generados en aplicaciones CAD, además constituyen una manera rápida y eficiente de identificar problemas y retos de un diseño en una fase preliminar al proceso de construcción.

Una de las ventajas de las piezas 3D es que las mismas pueden ser manipuladas, taladradas y ensambladas con otras piezas manufacturadas, las piezas de prototipos funcionales pueden emplearse para diversas aplicaciones como pruebas de forma, ensamblaje y funcionalidad además de ciertas pruebas mecánicas. (Molina, Martí, & Pastor , 2002)

1.12.3. Tipos de prototipado

Según (Sánchez & Cortés, 2006) se dice que debido a la forma inicial de los materiales que se utilizan, se pueden clasificar los procesos como:

- **Base líquida:** Un material de base líquida se le hace un proceso de curado, del cual resulta el sólido que se estaba buscando.

- **Base sólida:** constituye las formas existentes de material pulido tales como hilo, en enrollado, en lámina y en aglomerados.
- **Base de polvos:** el material que se encuentra en granos pequeñísimos se somete a un proceso de unión o compactado para producir el sólido que se diseñó.

De acuerdo a los principios de generación de capas, los procesos se clasifican a continuación en la Tabla 1.5.

Tabla 1. 5

Técnica de Prototipado Vs. Herramienta

Proceso	Herramienta
Estereolitografía	Láser
Sinterizado	Láser
Modelado por laminación de capas	Láser, Cortador, Milling
Impresión en 3D	Dispositivo Multi Boquillas
Modelado por deposición fundida	Dispositivo de boquilla

Fuente: (Sánchez & Cortés, 2006)

1.12.4. Impresión en tres dimensiones (3D PRINTING)

La impresión en tres dimensiones crea partes mediante un proceso de manufactura por capas. La máquina esparce una capa de polvo de una caja alimentadora para cubrir la superficie del pistón de construcción. El sistema entonces imprime una solución adhesiva al polvo base, formando la primera sección transversal. Cuando el adhesivo es depositado, el polvo se une. El polvo que queda permanece como base y soporta la capa que va ser impresa sobre él. Cuando la sección transversal se completa, el pistón se baja despacio, se coloca una nueva capa de polvo sobre su superficie y se repite el proceso. Finalmente, el pistón es elevado y el polvo base evacuado, dejando ver la parte completa. Una vez que la construcción se completa, el exceso de polvo se retira y las partes se levantan del lugar de construcción como se ilustra en la Figura 1.20.

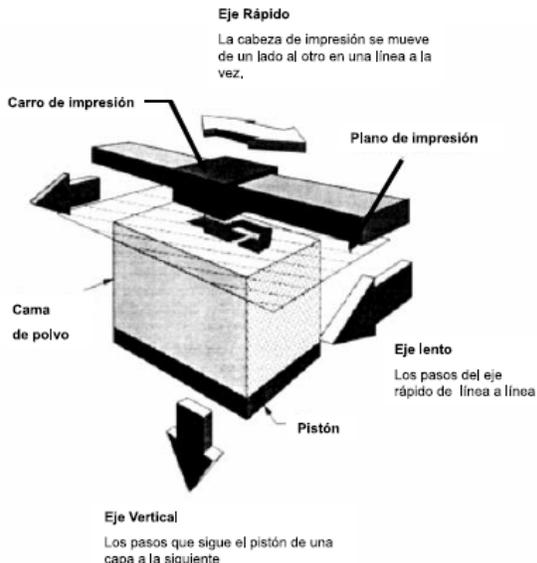


Figura 1. 20: Impresión 3D

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/18765/1/14683-57083-1-PB.pdf>

1.12.5. Materiales ABS

ABS es el nombre que se le da a una familia de termoplásticos, se les denomina plásticos de ingeniería ya que son plásticos cuya elaboración y procesamiento es de mayor complejidad que la de los comunes, son utilizados en la industria de la automoción.

El ABS está más indicado cuando se busca la fuerza en el resultado o cuando lo que se va a imprimir va a quedar expuesto a temperaturas extremas. Está disponible en un abanico más amplio de colores sobre todo por la buena tolerancia de éste a la pigmentación de sí mismo, aunque su precio es más elevado que el PLA. Algunos usuarios consideran que el ABS es más difícil de utilizar pero eso, es cuestión de opiniones, (Méndez, 2011).

En la Tabla 1.6, se resumen el amplio rango de propiedades que exhibe el ABS es debido a las propiedades que presentan cada uno de sus componentes de acuerdo con (Mariano, 2011).

Tabla 1. 6

Propiedades ABS

El acrilonitrilo proporciona:	El butadieno proporciona:	El estireno proporciona:
Resistencia térmica	Ductilidad a baja temperatura	Facilidad de procesado (fluidez)
Resistencia química	Resistencia al impacto	Brillo
Resistencia a la fatiga	Resistencia a la fusión	Dureza y rigidez
Dureza y rigidez		

Fuente: (Mariano, 2011)

1.12.6. Impresoras 3D

- **Dimension Stratasys**

Los productos Dimension ofrecen dos tecnologías de construcción: Dimension BST y Dimension SST. Los dos sistemas producen las mismas piezas de ABS de alta calidad que permiten al diseñador dar forma, el ajuste y la función. Las dos tecnologías son sistemas de escritorio, funcionan en un ambiente de oficina. Estas impresoras trabajan en red, y son muy fáciles de instalar y de manejar, el software Catalyst importa automáticamente los archivos STL, orienta la pieza, divide el archivo, genera estructuras de soporte (si es necesario) y crea una ruta de ingreso precisa para fabricar el modelo ABS (Frater Aguilar, 2013), en la Figura 1.21, se muestra la impresora DIMENSIÓN STRATASYS SST.



Figura 1. 21: Impresora DIMENSION STRATASYS SST

Fuente: <http://www.directindustry.com/prod/stratasys/mjp-3d-printer-color-25745-1225489.html>

- **CubeX Single**

En la Figura 1.22, se muestra la impresora 3D CubeX, la cual es de mayor capacidad de trabajo de la gama existente de su tipo, brinda la posibilidad de ampliación de 2 a 3 cabezales más de impresión, el espesor de capa de impresión es de 0,125mm utiliza materiales ABS de la misma forma permite imprimir una anchura máxima de 27,5 cm, además es importante mencionar que brinda las facilidades al constituirse como una impresora 3D de escritorio (SICNOVA3D, 2012)



Figura 1. 22: Impresora CubeX single

Fuente: <http://tienda.sicnova3d.com/producto/cubex-single/>

- **Impresora 3D auto replicable controlada inalámbricamente**

Las impresoras 3D se han constituido en una herramienta muy importante y fundamental para el proceso de diseño y la fabricación de productos, siendo esta opción una de las alternativas más rápidas y económicas, la impresora permite producir modelos tridimensionales, constituida por un extrusor y un sistema de movimiento cartesiano, el cual permitirá ir depositando el material de acuerdo a la trayectoria requerida, en donde el material fundido se solidifica al ir haciendo contacto con la superficie para posteriormente obtener un sólido (Acuña, Rivas , Chancusi , & Navarrete , 2014), se puede observar dicha impresora en la Figura 1.23.



Figura 1. 23: Impresora 3D auto replicable

Fuente: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8176/1/T-ESPEL-MEC-0019.pdf>

CAPÍTULO II

2. DISEÑO MECÁNICO Y SIMULACIÓN

En éste capítulo se detallará y analizará la parte mecánica de cada componente del robot humanoide, así como su diseño será realizado en el software SolidWorks, el cálculo del torque necesario para cada servomotor en las articulaciones que posteriormente serán instalados en un trabajo complementario, y finalmente el análisis de cinemática en el software Matlab.

2.1. Parámetros de diseño

Dentro de los parámetros de diseño se tendrá las siguientes características físicas que deberá cumplir:

- Las medidas de las partes del robot humanoide se fundamenta en los principios antropométricos detallados anteriormente (véase sección 1.9.4).
- El peso total se tendrá entre un aproximado de 10 kg, de este modo los servomotores a instalarse no tengan un excesivo consumo de corriente.
- En cuanto a la resistencia del material, deberá soportar su propio peso y realizar movimientos los cuales posteriormente serán programados en el desarrollo del control de un intérprete humanoide de lengua de señas, y la selección de los servomotores a instalarse de acuerdo a su respectivo torque y articulación, que se realizará en el proyecto denominado: **“Diseño e implementación del sistema de control del torso de un intérprete humanoide de múltiple grados de libertad para la enseñanza del lenguaje de señas básica para niños con discapacidad auditiva en la unidad educativa especialidad Cotopaxi”**. (Oñate & Valdés, 2015)
- El robot humanoide deberá tener como mínimo 18 grados de libertad (GDL), definiendo así que éste tendrá 22 GDL en su diseño final,

distribuyéndose de la siguiente manera en la Tabla 2.1, con nombres de los movimientos definidos del cuerpo humano (véase sección 1.9.3):

Tabla 2. 1

Distribución de GDL

Grados de libertad	Nombre del movimiento
10	Movimiento de los dedos tanto de la mano derecha como de la izquierda
2	Rotación interna y externa de las muñecas
2	Flexión y extensión de los codos
2	Aducción y abducción de los hombros
2	Rotación externa e interna de los hombros
2	Flexión y extensión de los hombros
1	Rotación a la derecha e izquierda del cuello
1	Extensión y contracción del cuello

- Los campos de operación máximo de diseño que el robot humanoide podrá realizar son detallados en la siguiente Tabla 2.2, de esta manera quedando establecidos de la siguiente manera.

Tabla 2. 2

Campos de operación de movimientos

Nombre de movimiento	Campo de operación máximos de diseño del robot humanoide
Dedos	90
Giro de muñeca	60
Flexión - extensión codo	60
Rotación interna – externa brazo	90
Flexión – extensión del brazo.	120
Aducción - abducción del brazo.	50
extensión – contracción del cuello	40
rotación a la derecha e izquierda del cuello	110

- El tipo de manufactura que se seleccione, dependerá del material a utilizar y la accesibilidad al equipo.

2.2. Diseño del sistema mecánico

Para el diseño mecánico se debe considerar que se busca un modelo semejante al de la parte superior al del cuerpo humano real. Basado en el estado de arte e investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional que se realizó anteriormente (véase sección 1.3 y 1.4), se toma y acopla un diseño el cual cumpla las necesidades requeridas, es el caso del trabajo desarrollado por Inmoov, ya que su gran ventaja a los demás es que su diseño es de código abierto, teniendo la posibilidad del movimiento de sus extremidades superiores y de su cabeza, así también una contextura robusta y fuerte con apariencia humana. A continuación se presenta el diseño mecánico de cada parte del cuerpo humano superior:

2.2.1. Diseño mecánico de las manos

Siendo éste un componente en la cual tiene 5 GDL, 1 GDL en cada dedo que permitirá realizar el cierre de mano en puño recto, su diseño corresponde a la mano derecha. Cabe destacar que en el interior del diseño de los dedos y la palma existen canales para las cuerdas quienes van a generar el movimiento, como se muestra en la Figura 2.1. La mano cuenta con 5 dedos y su palma, cada uno de sus dedos consta con 3 articulaciones y 3 eslabones teniendo éstas un movimiento dependiente, es decir al momento de efectuar su movimiento se moverán conjuntamente los tres eslabones con respecto al de su articulación. En el ANEXO A, Planos de la mano, se puede observar las medidas de cada componente de

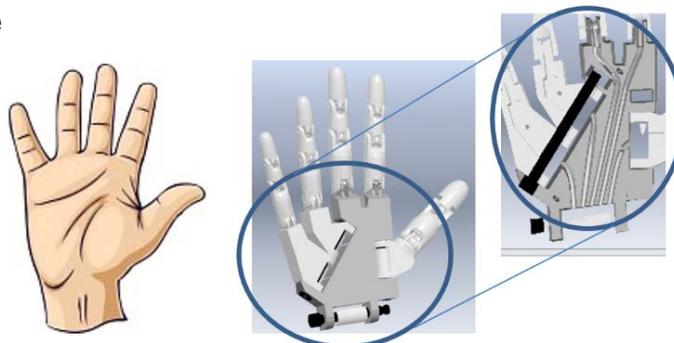


Figura 2. 1: Diseño de las manos

2.2.2. Diseño mecánico de la muñeca

Es donde se ensambla la mano, y puede realizar 1 GDL, realizando de esta manera la Rotación interna y externa de las muñecas mediante engranajes. A continuación se muestra el diseño de la muñeca derecha en relación a una muñeca humana real en la Figura 2.2. De igual manera en el diseño de la muñeca existen canales internos que lo atraviesa para las cuerdas que anteriormente se detalló en el movimiento de los dedos. En el ANEXO B, Planos de la muñeca, se puede observar las medidas del diseño de la muñeca.

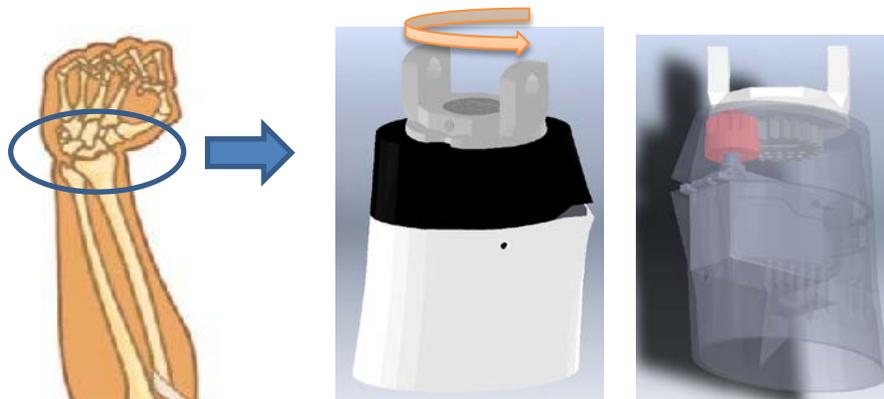


Figura 2. 2: Diseño de la muñeca

2.2.3. Diseño mecánico del antebrazo

El diseño se establece de forma que puedan instalarse los servomotores, quienes van a realizar el movimiento de los dedos mediante cuerdas, que atraviesan por la muñeca y mano anteriormente detalladas, así como también la base para el montaje de la muñeca y la mano, en la siguiente Figura 2.3, se muestra su diseño en relación a una real, así como también la articulación quien va a efectuar el movimiento de flexión y extensión de los codos que posteriormente se detallará. En el ANEXO C, Planos del antebrazo, se puede observar las medidas del diseño del antebrazo.

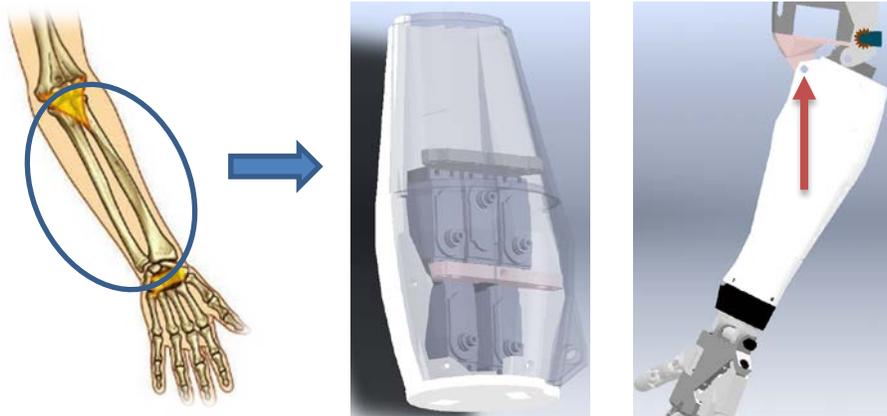


Figura 2. 3: Diseño del antebrazo

2.2.4. Diseño mecánico del brazo

Siendo esta la extremidad superior capaz de realizar dos movimientos como son: flexión y extensión de los codos, rotación externa e interna de los hombros. Para estos movimientos en su diseño se utiliza el mecanismo tornillo de potencia y tornillo sinfín como se muestran a continuación en las Figura 2.4 y Figura 2.5, respectivamente, ya que el primer mecanismo cumple con el movimiento de permitir al antebrazo ejercer la flexión y extensión del codo (subir y bajar el antebrazo), así como también el segundo mecanismo permitirá la rotación interna y externa (gira en un eje a todo el brazo). En el ANEXO D, Planos del brazo, se puede observar las medidas del diseño del brazo.

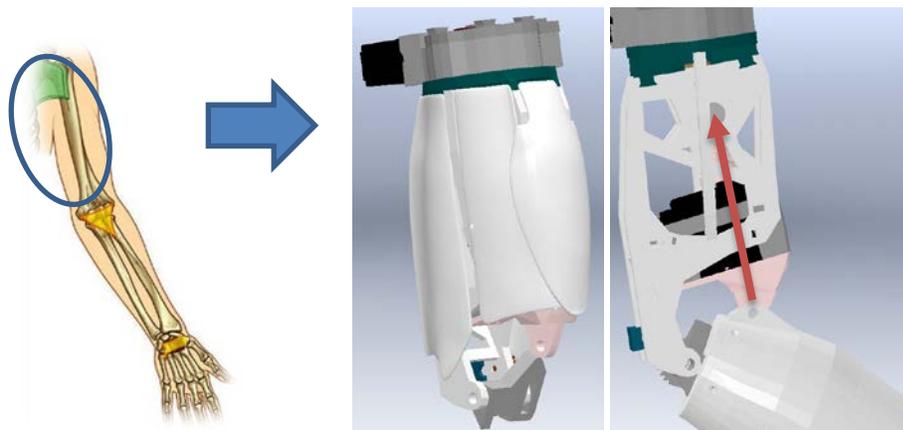


Figura 2. 4: Diseño del brazo (tornillo de potencia)

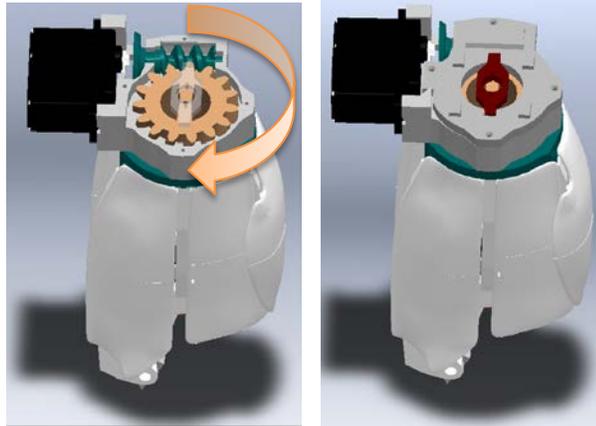


Figura 2. 5: Diseño del brazo (tornillo sinfín)

2.2.5. Diseño mecánico del hombro

De igual manera que la anterior, también debe ser capaz de cumplir dos movimientos en su diseño mecánico, con el mismo principio de tornillo sinfín para la flexión y extensión, el tornillo de potencia será utilizado para la aducción y abducción de los hombros. A continuación se muestra el diseño de dichos movimientos en la Figura 2.6 y Figura 2.7, respectivamente. Cabe señalar que se muestra el hombro con la clavícula que es parte del torso. En el ANEXO E, Planos del hombro, se puede observar las medidas del diseño del hombro.

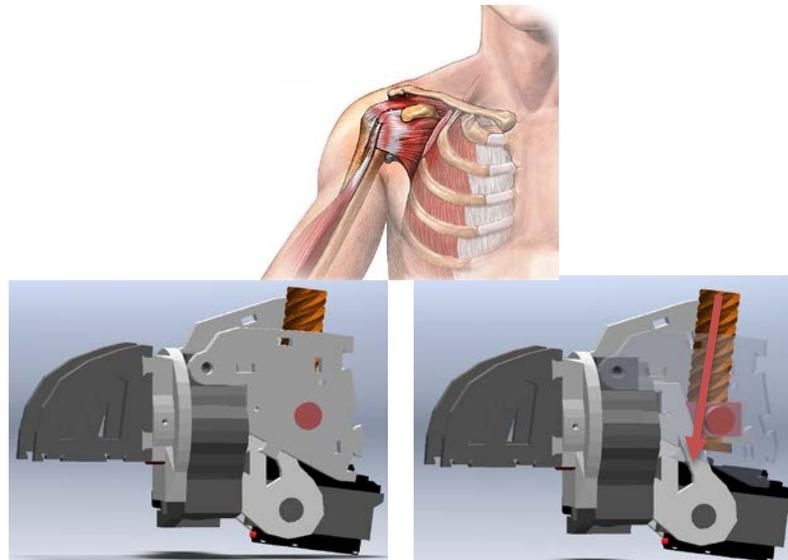


Figura 2. 6: Diseño del hombro (tornillo de potencia)

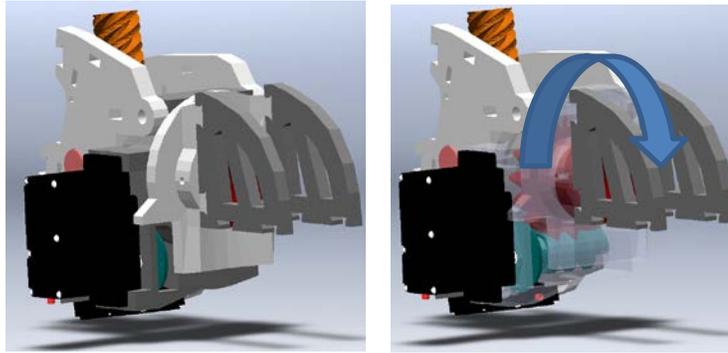


Figura 2. 7: Diseño del hombro (tornillo sinfín)

2.2.6. Diseño mecánico del cuello

En éste componente del humanoide su diseño mecánico debe cumplir dos movimientos los cuales son: rotación a la derecha e izquierda y su extensión - contracción del cuello, el mecanismo que se utiliza para cumplir el primer movimiento es por engranajes, el segundo movimiento descrito se emplea tornillo de potencia, en la Figura 2.8 y Figura 2.9, se puede observar respectivamente. Teniendo en éste las bases para ensamblar las partes de la cabeza. En el ANEXO F, Planos del cuello, se puede observar las medidas del diseño del cuello.

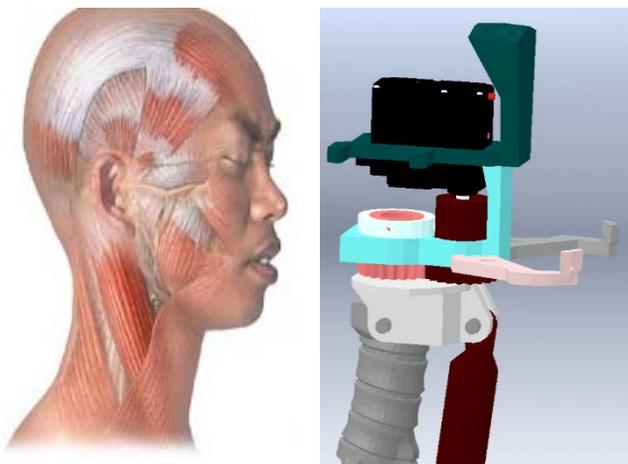


Figura 2. 8: Diseño del cuello (engranajes)

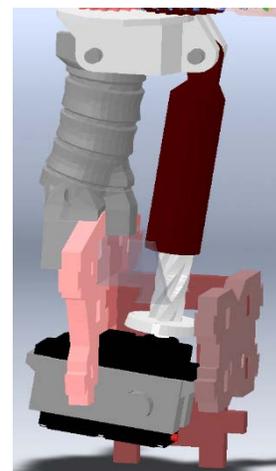


Figura 2. 9: Diseño del cuello (tornillo de potencia)

2.2.7. Diseño mecánico de la cabeza

El diseño se basa sobre todo en una estética lo más similar al de un ser humano, para mantener una apariencia de un humanoide, los componentes que lo conforma son: ojos, nariz, orejas, mandíbula, craneo; cumpliendo ésta la función de convertor e instalándose en las bases anteriormente diseñadas en el cuello, de esta manera su diseño se presenta a continuación en la Figura 2.10. En el ANEXO G, Ensamblaje de la cabeza, se puede observar el ensamblaje del diseño de la cabeza.

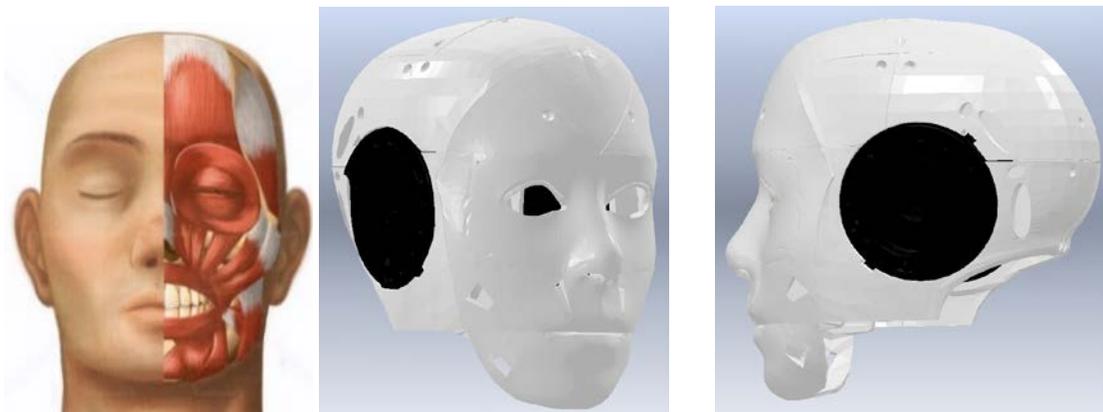


Figura 2. 10: Diseño de la cabeza

2.2.8. Diseño mecánico del torso

Éste es el principal componente del humanoide, puesto que, éste será la base donde se ensamblarán todas las partes anteriores, y su diseño deberá ser capaz de soportar la suma del peso total del humanoide en cada articulación, sin tener que deformarse o romperse cuando esté realizando algún tipo de movimiento, además su diseño cuenta con tapas para mantener su estética de un humanoide, a continuación se observa en la Figura 2.11, el diseño del torso. En el ANEXO H, Ensamblaje del torso, se puede observar el ensamblaje del diseño del torso.

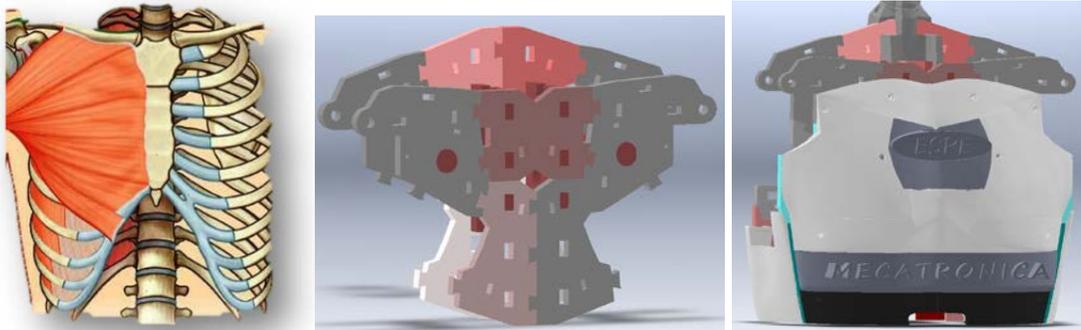


Figura 2. 11: Diseño del torso

2.2.9. Diseño del cuerpo completo del humanoide

Una vez diseñado cada una de las partes a continuación en Figura 2.12, se observa el ensamble completo del robot humanoide el cual consta de sus dos extremidades superiores, 10 GDL en su manos, 2 GDL en sus muñecas, 4 GDL en sus brazos, 4 GDL en sus hombros, así como también en la cabeza y cuello poseen 2 GDL, de este modo teniendo 22 GDL en todo el robot humanoide. Este robot se empotra en una base construida de metal de modo que tenga estabilidad al momento de efectuar movimientos de sus extremidades.

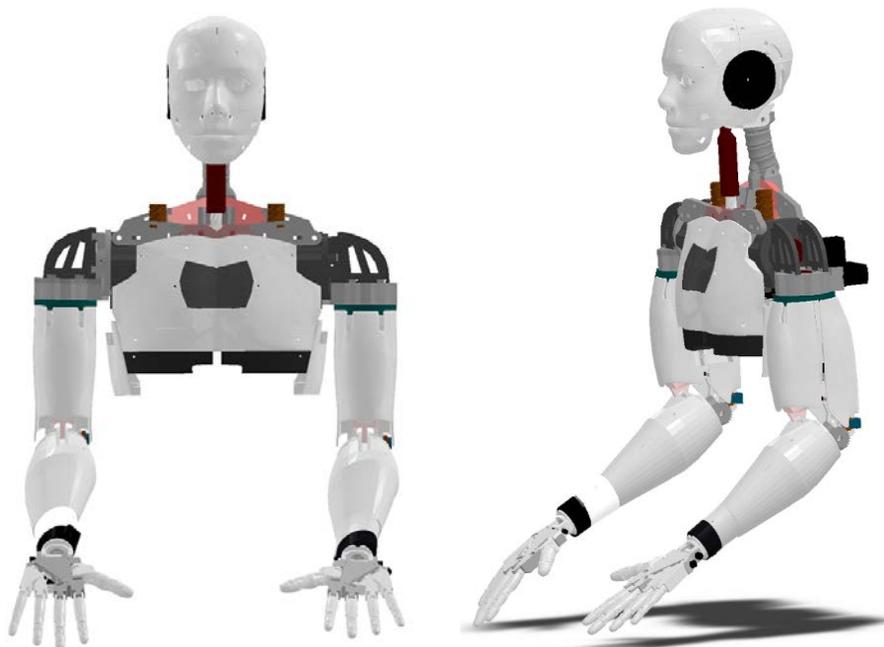


Figura 2. 12: Diseño completo del humanoide

2.3. Selección de material y proceso de manufactura

Para realizar la selección de material de la construcción del humanoide se debe considerar las características generales y propiedades mecánicas, así como también el peso se aproxime a 10 kg anteriormente definidos, de este modo se escogerá el material más ligero y resistente que existe comúnmente en el mercado, en el ANEXO I, Características de los materiales del mercado, y ANEXO J, Propiedades de los materiales del mercado, se detalla las características generales con sus aplicaciones y propiedades mecánicas respectivamente.

Para la selección será necesario encontrar el volumen del robot humanoide, para luego con la densidad de cada material que existe comúnmente en el mercado, tener un peso aproximado al que se requiere. Del diseño realizado en SolidWorks se puede obtener el valor del volumen total del humanoide que es de 7159379.78 milímetros cúbicos con la herramienta propiedades físicas como se muestra en la Figura 2.13.

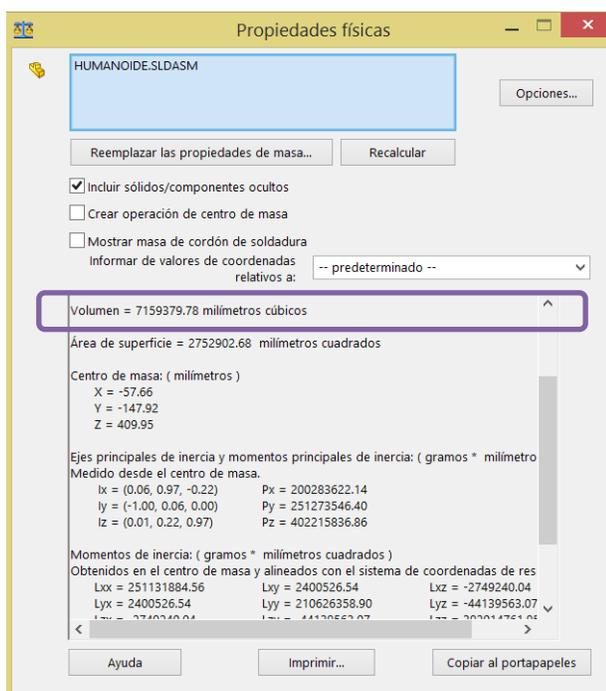


Figura 2. 13: Propiedades físicas del humanoide

A continuación se aplica la fórmula de densidad con la Ec. 2.1., y se obtiene el peso en los distintos tipos de materiales:

$$\text{Densidad } (\rho) = \frac{\text{masa } (m)}{\text{volumen } (v)} \quad \text{Ec.2.1.}$$

$$m = \rho \cdot v$$

$$v = 0.007159379 \text{ m}^3$$

- **ACERO AISI 1020**

$$\rho = 7860 \text{ Kg/m}^3$$

$$m = 7860 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.007159379 \text{ m}^3$$

$$m = 56.27 \text{ Kg.}$$

- **ALUMINIO**

$$\rho = 2710 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 2710 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.007159379 \text{ m}^3$$

$$m = 19.40 \text{ Kg.}$$

- **ABS**

$$\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 1050 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.007159379 \text{ m}^3$$

$$m = 7.51 \text{ Kg.}$$

- **DURALÓN (NYLON)**

$$\rho = 1130 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 1130 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.007159379 \text{ m}^3$$

$$m = 8.09 \text{ Kg.}$$

- **ACRÍLICO**

$$\rho = 1190 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 1190 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.007159379 \text{ m}^3$$

$$m = 8.51 \text{ Kg.}$$

De acuerdo con los cálculos realizados anteriormente, en la Tabla 2.3, a continuación se presenta un resumen para una mejor comprensión:

Tabla 2. 3

Resumen de pesos

Material	Peso (Kg)
ACERO AISI 1020	56.27
ALUMINIO	19.40
ABS	7.51
DURALÓN	8.09
ACRÍLICO	8.51

De esta manera de acuerdo a lo establecido anteriormente, se descarta la construcción en acero y aluminio, ya que su peso se excede de los 10Kg. Quedando así planteadas las posibilidades de construcción en ABS, Duralón o Acrílico, las que dependerán de la selección del proceso de manufactura que se realiza a continuación.

En la actualidad el avance en los sistemas CAD CAM CAE permiten que la manufactura sea cada vez más accesible y esté dentro de nuestros medios, es así el caso del prototipado y mecanizado, la cual ha abierto múltiples posibilidades en el mundo de la robótica, de éste modo permiten que la construcción sea muy rápida, adaptando por completo la estructura y los componentes mecánicos a las necesidades requeridas.

Dentro de las posibilidades que se tiene para la manufactura disponible en los laboratorios de la universidad son:

- Manufactura aditiva (Impresora 3D)
- Manufactura sustractiva (fresadora y torno CNC)
- Cortadora CNC a láser

Para la selección del proceso de manufactura se presenta a continuación la Tabla 2.4, en donde se detallan criterios de selección, con un nivel de ponderación del 1 al 10, siendo 10 el que satisface y 1 el que no satisface, para su posterior selección. Además tomando en cuenta que se descarta la opción de Corte CNC a laser ya que este equipo trabaja en corte de dos ejes X, Y lo cual no cumple con las necesidades requeridas.

Tabla 2. 4

Selección de manufactura

Criterio de selección	Impresión 3D	Fresa y torno CNC
Tiempo de fabricación	8	3
Resolución – precisión	10	9
Área de trabajo	7	10
Terminado	9	8
Disponibilidad de materia material	5	8
Costo de material	5	6
Costo del uso del equipo	9	4
TOTAL	53	48

Siendo la manufactura aditiva (impresora 3D) la más fiable con mejores características para el empleo en el proceso de manufactura a utilizar, de este modo también queda establecido así que su material a utilizar será ABS.

2.4. Cálculos de los mecanismos del humanoide

A continuación, se describe cada una de las partes del robot humanoide con el análisis de fuerzas y torque necesario, para que ejecute los movimientos requeridos, cabe indicar que los cálculos necesarios se fundamentó en el criterio de (Mott, 2006) en los capítulos 8, 9, 10, los cuales corresponden con cinemática de engranes, diseño de engranes rectos y engranes helicoidales, cónicos, y de tornillo sinfín y corona respectivamente.

2.4.1. Cálculos en la mano

En el diseño desarrollado en SolidWorks se toma la distancia, de este caso, del dedo meñique como se muestra en la Figura 2.14, y el peso medido por simulación, siendo ésta la fuerza a vencer para realizar el movimiento.

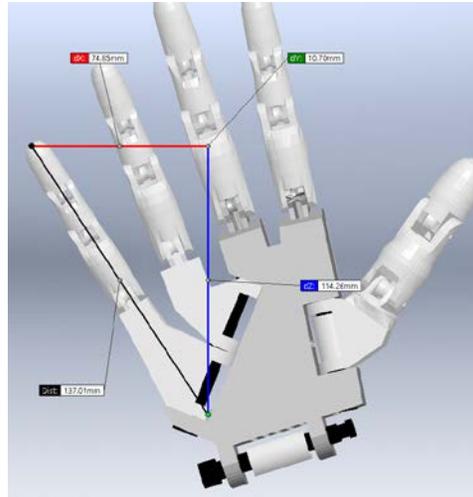


Figura 2. 14: Dedo meñique

La Ec. 2.2., será aplicada para la obtención del torque T , donde F es la fuerza por la d distancia.

$$T = F * d \quad \text{Ec.2.2.}$$

Datos:

$$\text{Distancia} = 137.01\text{mm} = 13.7\text{cm}$$

$$\text{Peso} = \text{Fuerza} = 14\text{ g} = 0.014\text{Kg}$$

$$T = F * d$$

$$T = 0.014\text{Kg} * 13.7\text{cm}$$

$$T = 0.192\text{ kg} * \text{cm}$$

De este modo se realiza el cálculo del torque para los dedos restantes aplicando la misma Ec. 2.2., a continuación en la Tabla 2.5, se presentan los resultados:

Tabla 2. 5

Resultados de cálculo de torque de los dedos

Nombre del dedo	Distancia (cm)	Peso (Kg)	Torque (Kg*cm)
Meñique	13.7	0.014	0.192
Anular	13.52	0.018	0.243
Medio	10.23	0.026	0.266
Índice	9.72	0.022	0.214
Pulgar	10.93	0.050	0.547

2.4.2. Cálculos muñeca

En el caso de la muñeca se necesita un torque necesario capaz de hacerla girar, a continuación se toma los datos y se aplica la Ec. 2.2.

Datos:

$$\text{Peso} = \text{Fuerza} = 120.10 \text{ gr} = 120.10 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$\text{Distancia} = 28.9 \text{ mm} = 2.89 \text{ cm}$$

$$T = F * d$$

Ec.2.2.

$$T = 2.89 \times 10^{-3} \text{ Kg} * \frac{2.89}{2} \text{ cm}$$

$$T = 0.1735 \text{ kg} * \text{cm} = T_2$$

Este torque $T_2 = 0.1735 \text{ kg} * \text{cm}$ es el que realiza el giro de la muñeca, la cual debe ser realizada por un engrane acoplado al servomotor con un torque T_1 , como se observa en la Figura 2.15, que posteriormente será seleccionado.

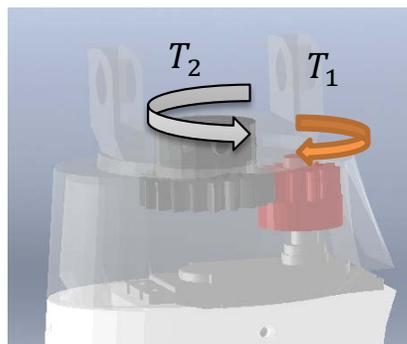


Figura 2. 15: Engranes de muñeca

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Ec.2.3.}$$

Donde:

T_2 = Torque engrane

T_1 = Torque piñón

N_1 = Número de dientes piñón

N_2 = Número de dientes engrane

Para el diseño del piñón y engrane se consideran condiciones iniciales de diseño, según criterios de las medidas antropométricas del ser humano y espacio disponible en la estructura mecánica, de tal modo se aplica la Ec. 2.3.

Condiciones iniciales:

$N_1 = 11$

$N_2 = 20$

$$T_1 = \frac{N_1}{N_2} * T_2$$

$$T_1 = \frac{11}{20} * 0.1735 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$T_1 = 0.10 \text{ kg} * \text{cm}$$

2.4.3. Cálculos en el antebrazo

El movimiento que realiza es de extensión y flexión del codo, se debe considerar el caso más crítico, es decir; el cálculo se realiza en la posición que ejerza mayor fuerza siendo ésta el brazo en posición horizontal totalmente extendido ya que su peso total está en la componente Y, en la Figura 2.16, se muestra el diagrama de fuerzas, con el caso anteriormente descrito, también se toman las medidas y los pesos del diseño de SolidWorks.

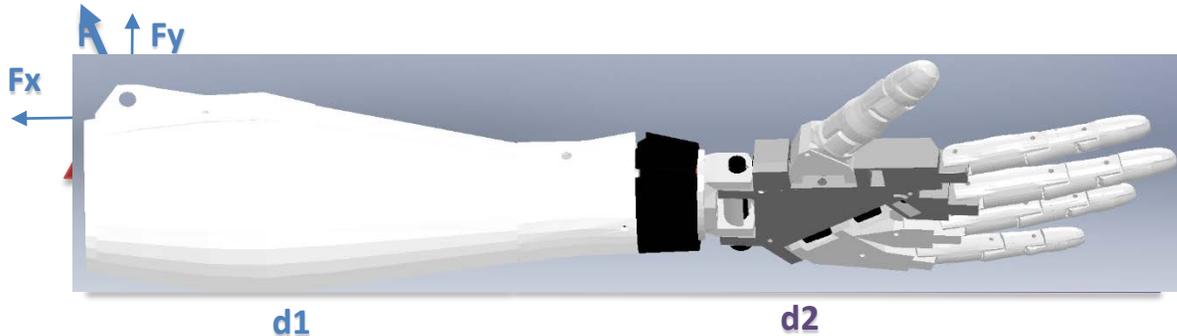


Figura 2. 16: Diagrama de fuerzas del antebrazo

Datos:

$$d_1 = 19.81 \text{ cm}$$

$$\alpha = 21.74^\circ$$

$$d_2 = 30.15 \text{ cm}$$

$$w_1 = 182.25 \text{ g} = 0.1822 \text{ Kg}$$

$$d_3 = 1.97 \text{ cm}$$

$$w_2 = 290.54 \text{ g} = 0.2905 \text{ Kg}$$

Se realiza la sumatoria de momentos, para un sistema en equilibrio y de este modo hallar la fuerza requerida.

$$\begin{aligned} \sum M &= 0 \\ -\left(d_1 + \frac{d_2}{2}\right) * W_2 - \left(\frac{d_1}{2}\right) * W_1 + d_3 * F \sin \alpha &= 0 \\ -\left(19.81 \text{ cm} + \frac{30.15 \text{ cm}}{2}\right) * 0.2905 \text{ Kg} - \left(\frac{19.81 \text{ cm}}{2}\right) * 0.1822 \text{ Kg} + 1.97 * F \sin 21.74 &= 0 \end{aligned}$$

$$F = 12.66 \text{ Kg}$$

Siendo ésta la fuerza para permanecer en equilibrio, la que tiene que vencer para realizar el movimiento, a continuación se realiza el cálculo del torque necesario para efectuar dicho movimiento por medio de un tornillo de potencia en subida para la flexión definido por la Ec. 2.4.

$$T_s = \frac{F * D_p}{2} * \left[\frac{\cos \phi * \tan \lambda + f}{\cos \phi - f * \tan \lambda} \right] \quad \text{Ec.2.4.}$$

Donde:

$F_s = \text{Fuerza de subida}$

$F = \text{Fuerza a mover} = 12.66Kgf$

$D_p = \text{Diámetro de paso} = 2.08 \text{ cm}$

$\phi = \text{ángulo de rosca} = 17.06^\circ$

$\lambda = \text{ángulo de avance} = 32.16^\circ$

$f = \text{coeficiente de fricción de ABS(polietileno)} = 0.2$

$$T_s = \frac{12.66Kgf * 2.08 \text{ cm}}{2} * \left[\frac{\cos 17.06 * \tan 32.16 + 0.2}{\cos 17.06 - 0.2 * \tan 32.16} \right]$$

$$T_s = 12.68Kgf * \text{cm}$$

De igual manera se realiza el cálculo del torque necesario para efectuar el movimiento por medio de un tornillo de potencia en bajada para la extensión mediante la Ec. 2.5.

$$T_b = \frac{F * D_p}{2} * \left[\frac{f - \cos \phi * \tan \lambda}{\cos \phi + f * \tan \lambda} \right]$$

Ec.2.5.

$$T_b = \frac{12.66Kgf * 2.08 \text{ cm}}{2} * \left[\frac{0.2 - \cos 17.06 * \tan 32.16}{\cos 17.06 + 0.2 * \tan 32.16} \right]$$

$$T_b = 2.50Kgf * \text{cm}$$

2.4.4. Cálculos en el hombro

En esta parte del cuerpo humano se tiene tres movimientos los cuales son: rotación externa e interna, flexión – extensión y aducción – abducción, para los dos primeros se necesita los datos de velocidad de rotación, los cuales a continuación se toma la medida manualmente, debido a que no se tiene valores estandarizados del cuerpo humano, como se muestran en las Tabla 2.6 y Tabla 2.7, respectivamente.

Tabla 2. 6

Medición de velocidad de rotación externa e interna

# Medidas	Tiempo (seg.)	Angulo de giro	Vueltas por segundo (rad/seg)	Velocidad de rotación (RPM)
Primera	1.7	60	0.615	5.87
Segunda	1.6	60	0.655	6.20
Tercera	1.4	60	0.747	7.13
Cuarta	1.6	60	0.655	6.20
Quinta	1.7	60	0.615	5.87
PROMEDIO	1.6	60	0.655	6.20

Tabla 2. 7

Medición de velocidad de flexión – extensión

# Medidas	Tiempo (seg.)	Angulo de giro	Vueltas por segundo (rad/seg)	Velocidad de rotación (RPM)
Primera	4.6	225	0.853	8.15
Segunda	4.2	225	0.933	8.91
Tercera	4.9	225	0.8	7.63
Cuarta	4.6	225	0.853	8.15
Quinta	4.9	225	0.8	7.63
PROMEDIO	4.6	225	0.853	8.15

- Rotación externa e interna.

Para este movimiento la extremidad tiene una velocidad de giro promedio de 6.20 RPM, el peso y la distancia se toma del diseño de SolidWorks, a continuación se realiza el cálculo del torque utilizando la Ec. 2.2.

Datos:

$$\text{Peso } (W) = F = 1.4618\text{kg} = 3.222\text{lb}$$

$$d = 4.59\text{ cm} = 1.8070\text{ in}$$

$$T = F * d$$

$$T = 3.222\text{ lb} * 1.8070\text{ in}$$

$$T = 5.8185\text{ lbf} * \text{in}$$

Para generar este movimiento con el torque de salida calculado, se utiliza el mecanismo tornillo sinfín y corona, como se observa en la Figura 2.17, es por esta razón que a continuación se detallan los datos de tornillo y corona y el procedimiento efectuado para el cálculo de torque de entrada que deberá tener el servomotor utilizando las Ec.2.6 a Ec.2.13.

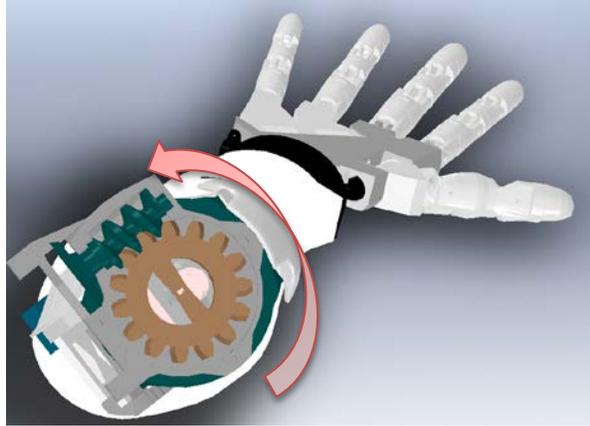


Figura 2. 17: Tornillo sinfín de rotación del hombro

Condiciones iniciales:

$$v_c = 6.20 \text{ RPM}$$

$$D_p = 5.68 \text{ cm} = 2.23 \text{ in}$$

$$\phi = 20.61^\circ$$

$$\lambda = 13.42^\circ$$

$$\text{Numero de dientes de corona} = N = 15$$

$$P_o = P_S + P_L \quad \text{Ec.2.6.}$$

Donde:

$$P_o = \text{Potencia de entrada}$$

$$P_S = \text{Potencia de salida}$$

$$P_L = \text{Potencia de perdida}$$

$$P_S = \frac{T_s * v_c}{63000} \quad \text{Ec.2.7.}$$

Donde:

$$V_c = \text{Velocidad corona}$$

$T_s = \text{Torque subida}$

$$P_s = \frac{(5.8185 \text{ lbf} - \text{in}) * 6.20 \text{ RPM}}{63000}$$

$$P_s = 0.0005726 \text{ HP}$$

$$W_{tG} = \frac{2 * T_0}{D_p} \quad \text{Ec.2.8.}$$

Donde:

$W_{tG} = \text{Fuerza tangencial}$

$T_0 = \text{Torque de entrada}$

$D_p = \text{Diámetro de paso}$

$$W_{tG} = \frac{2 * 5.8185 \text{ lbf} - \text{in}}{2.23 \text{ in}}$$

$$W_{tG} = 5.2183 \text{ lbf}$$

$$W_f = \frac{f * W_{tG}}{\cos \lambda \cos \phi - f \sin \lambda} \quad \text{Ec.2.9.}$$

Donde:

$W_f = \text{Fuerza de fricción}$

$f = \text{coeficiente de fricción de ABS (polietileno)}$

$W_{tG} = \text{Fuerza tangencial}$

$\lambda = \text{ángulo de avance}$

$\phi = \text{ángulo de rosca}$

$$W_f = \frac{0.2 * 5.2183 \text{ lbf}}{\cos 13.42 * \cos 20.61 - 0.2 * \sin 13.42}$$

$$W_f = 1.20 \text{ lb}$$

$$\text{Velocidad de línea de paso} = v_{tG} = \frac{\pi * D_p * v_c}{12} \quad \text{Ec.2.10.}$$

$$v_{tG} = \frac{\pi * 2.23 \text{ in} * 6.20 \text{ RPM}}{12}$$

$$v_{tG} = 3.619 \text{ ft/min}$$

$$\text{Velocidad de deslizamiento} = v_s = \frac{v_{tG}}{\sin \lambda} \quad \text{Ec.2.11.}$$

$$v_s = \frac{3.619 \text{ ft/min}}{\sin 13.42}$$

$$v_s = 15.593 \text{ ft/min}$$

$$\text{Potencia de perdida por friccion} = P_L = \frac{v_s * W_f}{33000} \quad \text{Ec.2.12.}$$

$$P_L = \frac{15.593 \frac{\text{ft}}{\text{min}} * 1.20 \text{ lb}}{33000}$$

$$P_L = 0.000567 \text{ HP}$$

Una vez obtenidos todos los datos, se aplica la Ec. 2.6.

$$T = P_o * v \quad \text{Ec.2.13.}$$

$$P_o = 0.0005726 \text{ HP} + 0.000567 \text{ HP}$$

$$P_o = 0.00113 \text{ HP}$$

Donde:

$P_o = \text{Potencia}$

$T = \text{Torque}$

$v = \text{Velocidad angular}$

$$T = \frac{0.00113 \text{ HP}}{93 \text{ RPM}}$$

$$T = 0.0643 \text{ lbf} * \text{ft}$$

$$T = 0.9 \text{ kgf} * \text{cm}$$

- **Flexión – Extensión**

De igual manera que el anterior en este movimiento de la extremidad tiene una velocidad de giro promedio de 8.15 RPM, el peso y distancias se toma del diseño de SolidWorks, a continuación se realiza el cálculo del torque utilizando la Ec. 2.2.

Datos:

$$\text{Peso } (W) = F = 1.60 \text{ kg} = 3.5404 \text{ lb}$$

$$d = 78.75 \text{ cm} = 31 \text{ in}$$

$$T = F * d$$

$$T = 3.5404 \text{ lb} * 31 \text{ in}$$

$$T = 109.75 \text{ lbf} * \text{in}$$

Para generar este movimiento con el torque de salida calculado, se utiliza el mecanismo tornillo sinfín y corona, como se observa en la Figura 2.18, es por esta razón que a continuación se detallan los datos de tornillo y corona y procedimiento efectuado para el cálculo de torque de entrada que deberá tener el servomotor utilizando las Ec.2.6. a Ec.2.13.

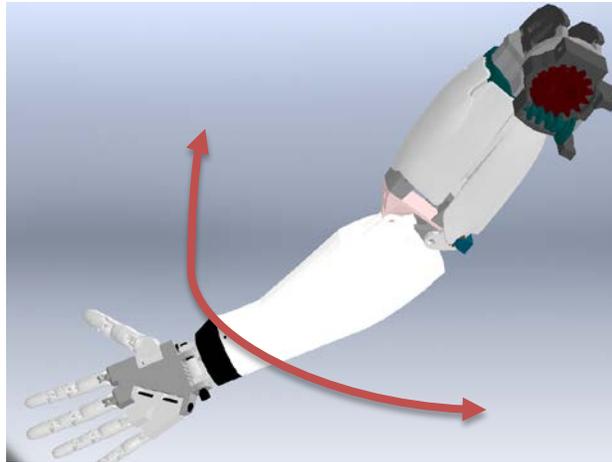


Figura 2. 18: Tornillo sinfín de aducción-abducción del hombro

Condiciones iniciales:

$$v_c = 8.15 \text{ RPM}$$

$$D_p = 5.68 \text{ cm} = 2.23 \text{ in}$$

$$\phi = 20.61^\circ$$

$$\lambda = 13.42^\circ$$

$$\text{Numero de dientes de corona} = N = 15$$

$$P_s = \frac{T_s * v_c}{63000}$$

$$P_s = \frac{(109.75 \text{ lbf} - \text{in}) * 8.15 \text{ RPM}}{63000}$$

$$P_s = 0.01419 \text{ HP}$$

$$W_{tG} = \frac{2 * T_0}{D_p}$$

$$W_{tG} = \frac{2 * 109.75 \text{ lbf} - \text{in}}{2.23 \text{ in}}$$

$$W_{tG} = 98.43 \text{ lbf}$$

$$W_f = \frac{f * W_{tG}}{\cos \lambda \cos \phi - f \sin \lambda}$$

$$W_f = \frac{0.2 * 98.43 \text{ lbf}}{\cos 13.42 * \cos 20.61 - 0.2 * \sin 13.42}$$

$$W_f = 22.78 \text{ lb}$$

$$v_{tG} = \frac{\pi * D_p * v_c}{12}$$

$$v_{tG} = \frac{\pi * 2.23 \text{ in} * 8.15 \text{ RPM}}{12}$$

$$v_{tG} = 4.7708 \text{ ft/min}$$

$$v_s = \frac{v_{tG}}{\sin \lambda}$$

$$v_s = \frac{4.7708 \text{ ft/min}}{\sin 13.42}$$

$$v_s = 20.55 \text{ ft/min}$$

$$P_L = \frac{v_s * W_f}{33000}$$

$$P_L = \frac{20.55 \frac{\text{ft}}{\text{min}} * 22.78 \text{ lb}}{33000}$$

$$P_L = 0.01418 \text{ HP}$$

$$P_O = 0.01419 \text{ HP} + 0.01418 \text{ HP}$$

$$P_O = 0.0283 \text{ HP}$$

$$T = P_O * v$$

$$T = \frac{0.0283 \text{ HP}}{122.25 \text{ RPM}}$$

$$T = 1.2158 \text{ lbf} * \text{ft}$$

$$T = 16.81 \text{ kgf} * \text{cm}$$

- **Aducción –Abducción**

Para este movimiento a continuación en la Figura 2.19, se muestra el diagrama de fuerzas en el caso crítico, cuando esta con el brazo extendido horizontalmente, ya que su peso total está en la componente Y, además se

incluyen los datos correspondientes, y el cálculo de la fuerza para mantener en equilibrio.

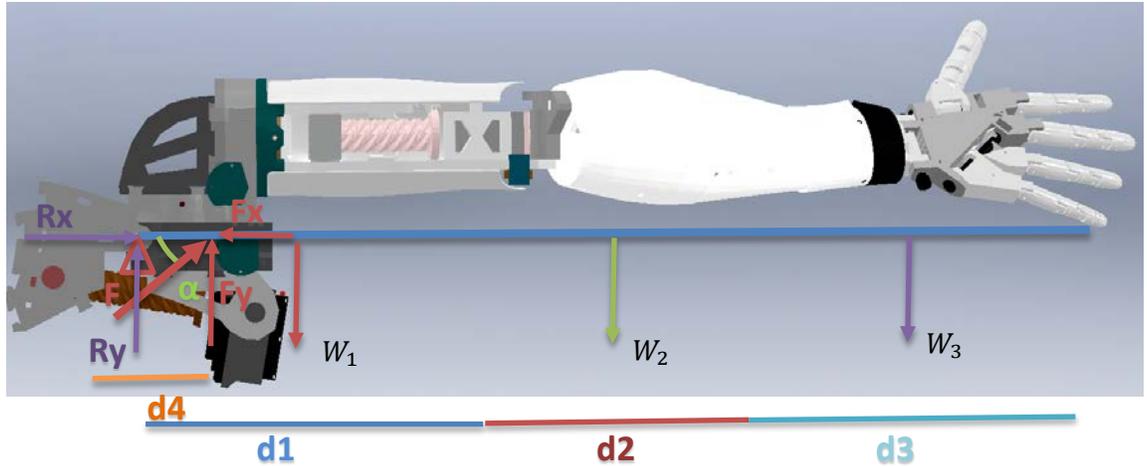


Figura 2. 19: Diagrama de fuerzas del hombro

Datos:

$$d_1 = 32.96 \text{ cm}$$

$$\alpha = 14.54^\circ$$

$$d_2 = 19.81 \text{ cm}$$

$$w_1 = 1.135 \text{ Kg}$$

$$d_3 = 30.15 \text{ cm}$$

$$w_2 = 0.290 \text{ Kg}$$

$$d_4 = 9.1 \text{ cm}$$

$$w_3 = 0.182 \text{ Kg}$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas para un sistema en equilibrio, y la fuerza requerida para permanecer en dicha posición.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_x = R_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_y = W_1 + W_2 + W_3 + R_y$$

$$R_y + F_y = W_1 + W_2 + W_3$$

$$\sum M = 0$$

$$\begin{aligned}
& - \left(d_1 + d_2 + \frac{d_3}{2} \right) * W_3 - \left(d_1 + \frac{d_2}{2} \right) * W_2 - \left(\frac{d_1}{2} \right) * W_1 + d_4 * F \sin \alpha = 0 \\
& - \left(32.96 \text{ cm} + 19.81 \text{ cm} + \frac{30.15}{2} \right) * 0.182 \text{ kg} - \left(32.96 \text{ cm} + \frac{19.81 \text{ m}}{2} \right) * 0.290 \text{ kg} \\
& - \left(\frac{32.96 \text{ cm}}{2} \right) * 1.135 \text{ kg} + 9.1 \text{ cm} * F \sin 14.54 = 0 \\
& F = 19.03 \text{ Kgf}
\end{aligned}$$

$$R_x = F_x = F \cos \alpha = 19.03 \cos 14.54 = 18.42 \text{ kg}$$

$$R_y = W_1 + W_2 + W_3 - F_y = 1.135 + 0.290 + 0.182 - 19.03 \sin 14.54 = -3.17 \text{ kg}$$

Siendo esta la fuerza para permanecer en equilibrio, la que tiene que vencer para realizar el movimiento, a continuación se realiza el cálculo del torque necesario para efectuar dicho movimiento por medio de un tornillo de potencia de subida para la flexión (véase las Ec. 2.4 y 2.5).

Condiciones iniciales:

$$D_p = 2.08 \text{ cm}$$

$$\phi = 17.06^\circ$$

$$\lambda = 32.16^\circ$$

$$f = 0.2$$

$$\begin{aligned}
T_s &= \frac{F * D_p}{2} * \left[\frac{\cos \phi * \tan \lambda + f}{\cos \phi - f * \tan \lambda} \right] \\
T_s &= \frac{19.03 \text{ Kgf} * 2.08 \text{ cm}}{2} * \left[\frac{\cos 17.06 * \tan 32.16 + 0.2}{\cos 17.06 - 0.2 * \tan 32.16} \right] \\
T_s &= 19.05 \text{ Kgf} * \text{ cm}
\end{aligned}$$

De igual manera se realiza el cálculo del torque necesario para efectuar el movimiento por medio de un tornillo de potencia en bajada para la extensión.

$$\begin{aligned}
T_b &= \frac{F * D_p}{2} * \left[\frac{f - \cos \phi * \tan \lambda}{\cos \phi + f * \tan \lambda} \right] \\
T_b &= \frac{19.03 \text{ Kgf} * 2.08 \text{ cm}}{2} * \left[\frac{0.2 - \cos 17.06 * \tan 32.16}{\cos 17.06 + 0.2 * \tan 32.16} \right] \\
T_b &= 3.89 \text{ Kgf} * \text{ cm}
\end{aligned}$$

Con el fin de calcular el factor de seguridad y verificar si el material va a resistir en la clavícula del robot humanoide, se procese a realizar su análisis. Cabe recalcar que se tomará la cuarta parte del valor de las fuerzas, debido a que se va analizar una de las dos clavículas, así como también se debe tener en cuenta que la fuerza ejerce en dos puntos de la clavícula como se presenta en la Figura 2.20. De igual manera en la Figura 2.21, se presenta un diagrama de fuerzas para la ayuda de dicho análisis.

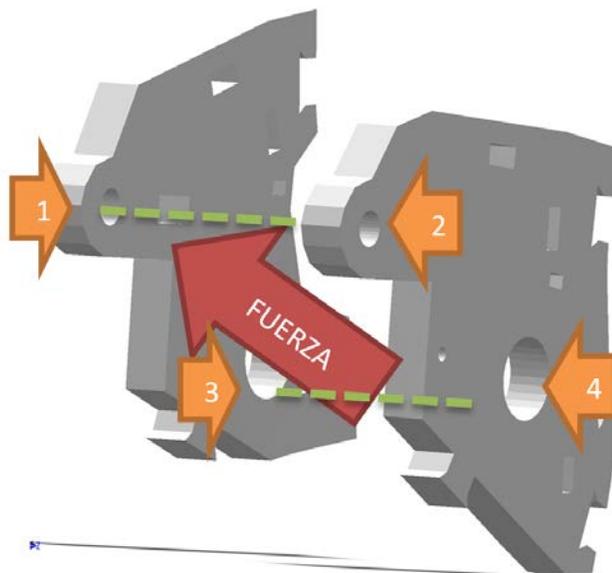


Figura 2. 20: Distribución de apoyos de fuerzas

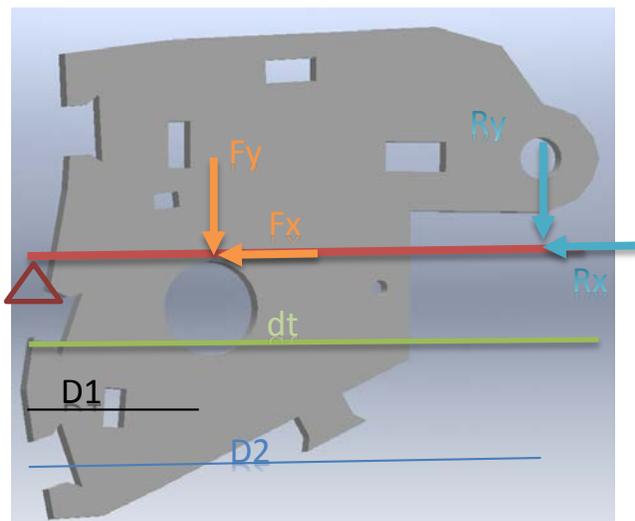


Figura 2. 21: Diagrama de fuerzas de la clavícula

Datos:

$$R_x = \frac{18.42}{4} = 4.605kg = 10.15lb$$

$$R_y = \frac{3.17}{4} = 0.792kg = 1.74lb$$

$$F_x = \frac{F \sin \beta}{4} = \frac{19.03 \sin(90 - 14.54)}{4} = 4.605kg = 10.15lb$$

$$F_y = \frac{F \cos \beta}{4} = \frac{19.03 \cos(90 - 14.54)}{4} = 1.19kg = 2.62lb$$

$$dt = 114.67mm$$

$$D1 = 37.4mm$$

$$D2 = 102.7mm$$

Para el cálculo del esfuerzo por compresión se realiza la sumatoria de los esfuerzos correspondientes en X:

$$F_{Tx} = F_x + R_x = 4.605 + 4.605 = 9.21kg$$

Debido a que resulta muy complicado hallar su centro de inercia y centroide manualmente, se va a establecer que la clavícula será sustituida por una viga de sección rectangular, cumpliendo ésta el volumen real de la clavícula que es de $63.37cm^3$, éste valor se lo obtiene del diseño de SolidWorks como se observa en la Figura 2.22.

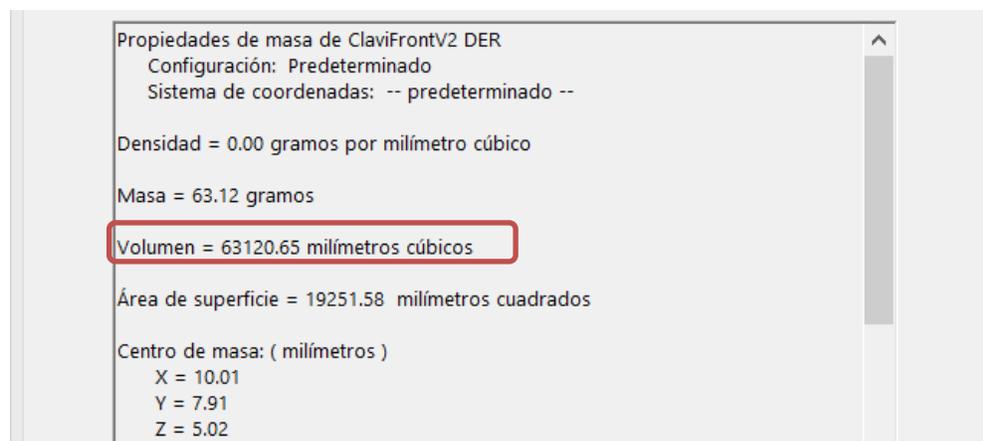


Figura 2. 22: Volumen de la clavícula

De este modo para la viga de sección rectangular tendrá valores de 1 x 5.52 cm y con 11.467cm de profundidad, para posteriormente obtener el cálculo del esfuerzo por compresión con la Ec. 2.14.

$$\sigma = \frac{F_{Tx}}{A} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

F_{Tx} = fuerza de compresión total en x

A = area de la sección

$$\sigma = \frac{9.21kg}{(5.529cm^2) * (1cm^2)} = 1.665 kg/cm^2$$

Con la ayuda del software MDSolid, se realiza los diagramas de fuerzas y momentos, para tomar el valor del momento máximo como se muestra en la Figura 2.23, él que se necesitará para el cálculo del esfuerzo flexionante.

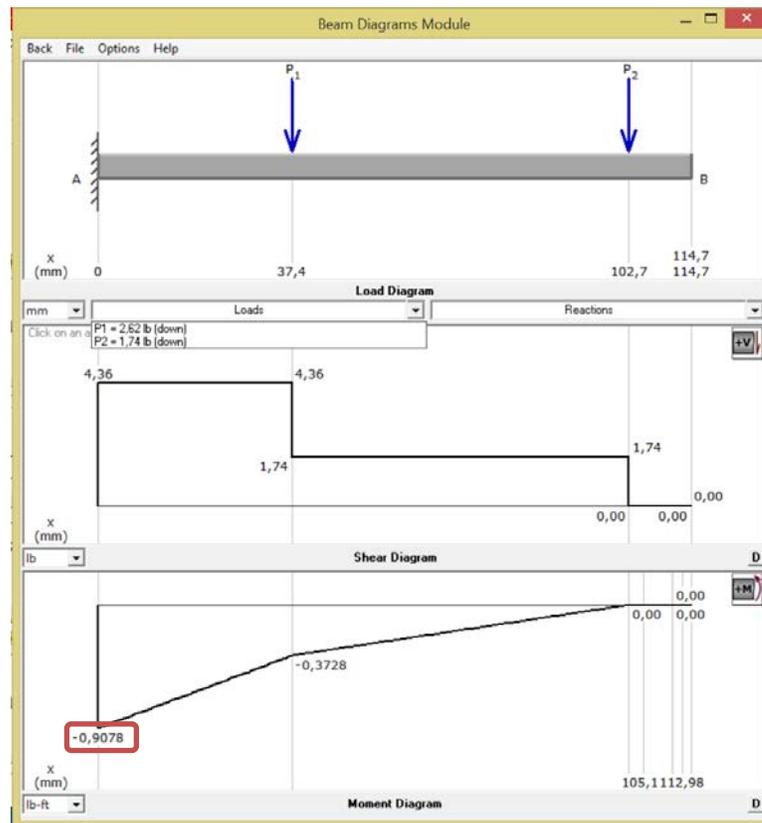


Figura 2. 23: Diagramas de fuerzas y momentos

Se tiene como resultado M_{max} de 0.907lb*ft equivalente a 12.58 kg*cm

$$M_{max} = 0.907 \text{ lb} * \text{ft} = 12.58 \text{ kg} * \text{cm}$$

De la misma forma se realiza el cálculo del esfuerzo por flexión con la siguiente Ec. 2.15.:

$$\sigma_f = \frac{M_{max} * c}{I} \quad \text{Ec.2.15}$$

Donde:

M_{max} = Momento maximo

c = centroide

I = Inercia

$$\sigma_f = \frac{12.58(\text{kg} * \text{cm}) * 2.76\text{cm}}{14.01\text{cm}^4} = 2.475 \text{ kg/cm}^2$$

Para finalizar el cálculo de los esfuerzos se aplica la Ec. 2.16., para obtener el factor de seguridad.

$$N = \frac{S_y}{\sigma_T} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde:

S_y = resistencia a la traccion

σ_T = esfuerzo total

$$\sigma_T = \sigma + \sigma_f = 1.665 + 2.475 = 4.14 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 0.4055\text{Mpa}$$

$$N = \frac{41\text{Mpa}}{0.4055\text{Mpa}} = 101$$

Se obtiene un factor de seguridad de 101 el cual es un valor alto, debido a que la fuerza que se aplicó es la mínima, ya que únicamente es la necesaria para realizar movimientos sin cargas en sus extremidades, además el diseño de la estructura es robusta, debido que en esta parte deberán sujetarse mediante tornillos y tuercas a una base metálica, donde se empotrará el robot humanoide ensamblado completamente.

2.4.5. Cálculos en el cuello

En esta articulación existen dos tipos de movimientos los cuales son: extensión – contracción, rotación a la derecha e izquierda las cuales a continuación se detallan.

- **Extensión – contracción**

En la Figura 2.24, se puede observar el diagrama de fuerzas, también se detallan los datos, su cálculo de fuerza y el torque necesario para realizare el movimiento.

Datos:

$$w_1 = 0.8546 \text{ Kg}$$

$$d_1 = 4.8 \text{ cm}$$

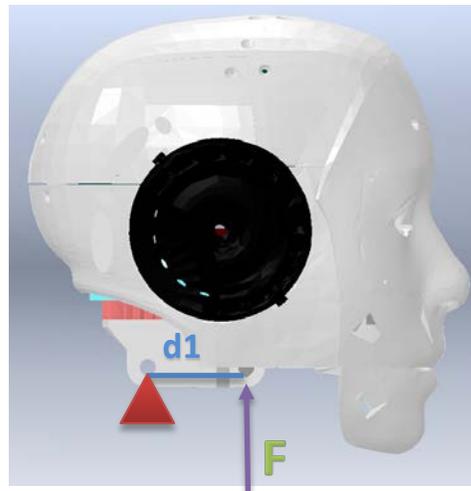


Figura 2. 24: Diagrama de fuerzas de cuello para extensión y contracción

Siendo el peso w_1 equivalente a la fuerza F que ejerce en ese punto, entonces el valor del torque necesario de subida para realizar el movimiento de extensión del cuello se calcula a continuación mediante la Ec.2.4.

$$F = 0.8564 \text{ Kgf}$$

Condiciones iniciales:

$$D_p = 1.39 \text{ cm}$$

$$\phi = 40.15^\circ$$

$$\lambda = 67.34^\circ$$

$$f = 0.2$$

$$T_s = \frac{F * D_p}{2} * \left[\frac{\cos \phi * \tan \lambda + f}{\cos \phi - f * \tan \lambda} \right]$$

$$T_s = \frac{0.8546 \text{ kgf} * 1.39 \text{ cm}}{2} * \left[\frac{\cos 40.15 * \tan 67.34 + 0.2}{\cos 40.15 - 0.2 * \tan 67.34} \right]$$

$$T_s = 4.2277 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

De igual forma el torque de bajada para realizar el movimiento de contracción del cuello se realiza a través de la Ec. 2.5., como se realiza a continuación:

$$T_b = \frac{F * D_p}{2} * \left[\frac{f - \cos \phi * \tan \lambda}{\cos \phi + f * \tan \lambda} \right]$$

$$T_b = \frac{0.8546 \text{ kgf} * 1.39 \text{ cm}}{2} * \left[\frac{0.2 - \cos 40.15 * \tan 67.34}{\cos 40.15 + 0.2 * \tan 67.34} \right]$$

$$T_b = 0.7790 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

- **Rotación a la derecha e izquierda**

El giro se realiza por medio de engranajes como se muestra en la Figura 2.25, a continuación se realiza el cálculo del torque necesario con la Ec. 2.2.

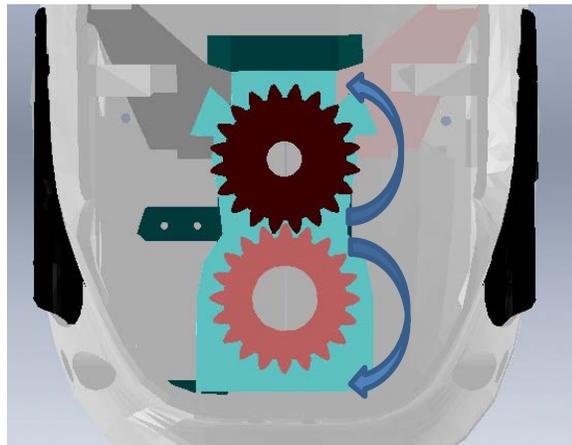


Figura 2. 25: Rotación del cuello

Datos:

$$\text{Peso (W)} = F = 0.593\text{Kg}$$

$$d = 2.15\text{cm}$$

$$T = F * d$$

$$T = 0.593 \text{ Kg} * 2.15\text{cm}$$

$$T = 1.274 \text{ kgf} * \text{cm}$$

Debido a que la relación de los engranajes es 1, entonces será el mismo torque transmitido hacia el otro engranaje.

2.5. Análisis estático de la estructura del humanoide mediante simulación

Para validar la selección del material del cual será construido el robot humanoide, se debe verificar el análisis de diseño que se realizó anteriormente utilizando un método computacional, el cual confirme que puede soportar su propio peso y los diversos torques y fuerzas que se aplican para los movimientos de sus extremidades. Éste análisis se puede realizar en software SolidWorks, con la ayuda del toolkit de SolidWorks Simulation, con el criterio de Von Mises y de factor de seguridad. Para éste análisis se consideran las partes críticas de la estructura del robot humanoide, haciendo referencia a los nombres del cuerpo humano se las muestra en la Figura 2.26, las cuales son:

- La clavícula: es la estructura que soporta todo el peso del hombro y brazo así como también el torque y la fuerza necesarios para efectuar sus movimientos correspondientes.
- El codo: el cual soporta el peso del brazo y el torque que debe realizar para ejecutar su movimiento correspondiente
- Torso: Siendo éste la base que va resistir el peso total de todo el robot humanoide, manteniéndose firme y empotrado.

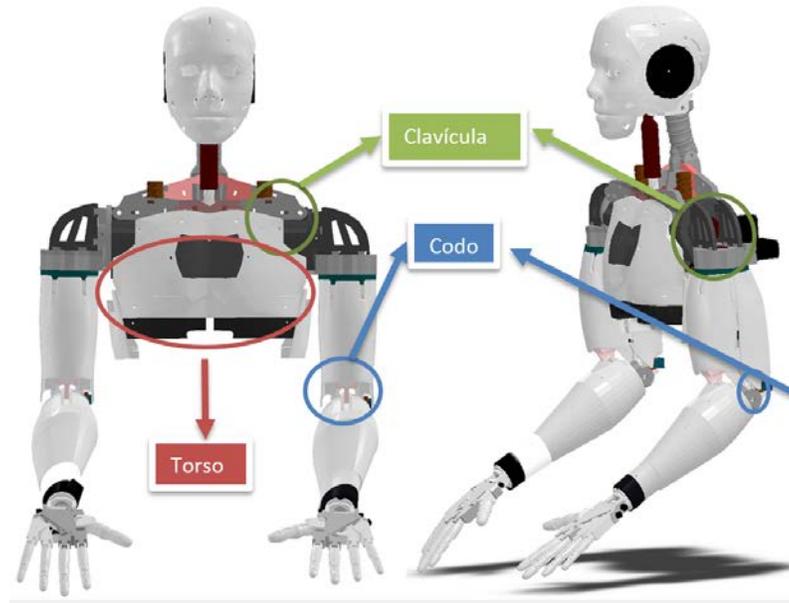


Figura 2. 26: Partes a realizar análisis estático

De esta manera para el análisis se toma la clavícula, debido a que ésta necesita efectuar el movimiento que requiere mayor el torque y fuerza de las articulaciones del robot humanoide, así también el peso en éste punto es considerablemente alto, ya que sujeta toda la extremidad superior de robot humanoide, de esta manera se puede concluir que; si resiste el material en éste movimiento con el torque establecido de acuerdo al diseño, deberá de la misma forma resistir los demás elementos de las diferentes articulaciones y sus torques correspondientes.

2.5.1. Análisis estático de la clavícula

Para realizar el análisis debemos identificar las piezas principales las cuales van a soportar todo el peso del hombro y brazo, (Véase Figura 2.20 y 2.21), una vez determinado los requerimientos mencionados anteriormente, se debe iniciar un nuevo estudio estático con el toolkit de SolidWorks Simulation, donde se asigna geometría fija a la sección que se va a empotrar con la estructura base, se debe ingresar el valor de la gravedad, la fuerza que ejerce en los puntos que realiza el movimiento, también se asigna el material el cual es ABS y por último

se ejecuta el análisis de dicho elemento, en la Figura 2.27, se presentan los siguientes resultados de acuerdo con la teoría de análisis estático de esfuerzos de Von Mises.

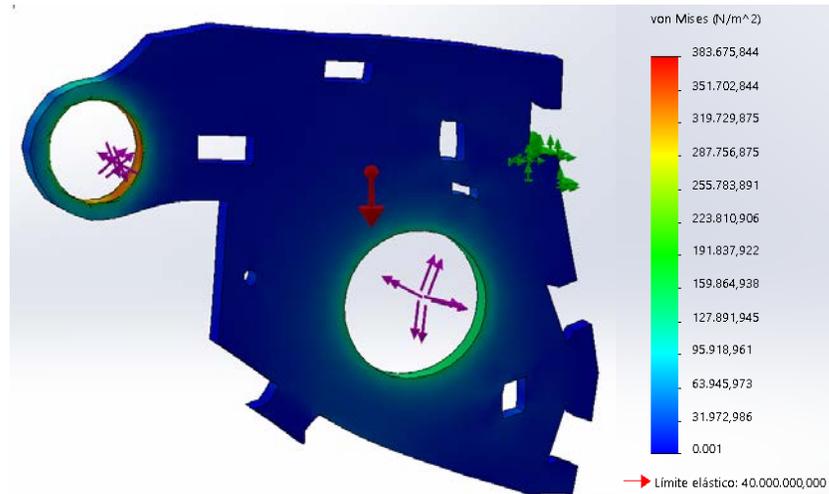


Figura 2. 27: Análisis estático de la clavícula – Von Mises

La teoría de von mises expone que *“La falla se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia”* (Castro, 2013), esto se refleja en la siguiente ecuación:

$$\sigma_{VON MISES} \leq \sigma_{LIMITE ELASTICO} \quad \text{Ec.2.17.}$$

De acuerdo a lo detallado anteriormente se aplica la Ec. 2.17., y con el valor de límite elástico del ABS es de 32MPa en el ANEXO J, Propiedades de los materiales del mercado, y el valor de Von Mises obtenidas de la Figura 2.27, de esta manera se puede comprobar que cumple con ésta teoría y el material no va a fallar.

$$0.3836 \text{ MPa} \leq 32\text{MPa}$$

Además, mediante el software se puede obtener el valor del factor de seguridad, en la Figura 2.28, se presenta los resultados.

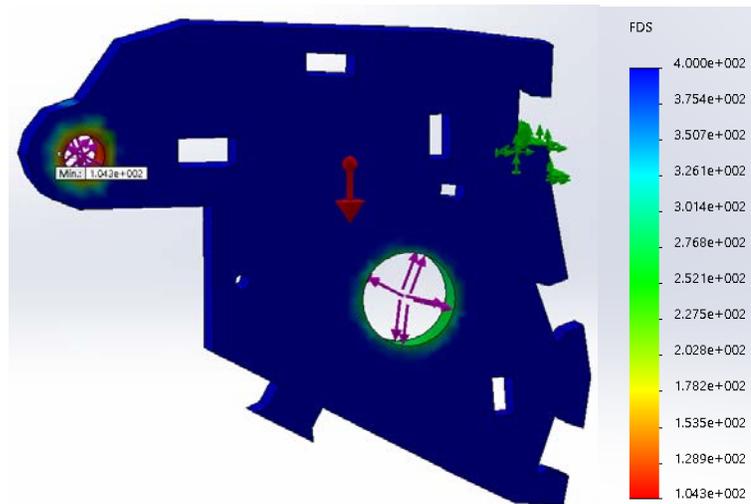


Figura 2. 28: Análisis estático de la clavícula – FDS

Se obtiene un factor de seguridad mínimo de 104, verificando así el valor aproximado al obtenido en los cálculos desarrollados de forma manual.

También se debe analizar si el material va a resistir cuando se le someta a un esfuerzo de torsión de 19.05 Kgf*cm, para esta sección se escoge del robot humanoide el elemento que efectúa el movimiento de abducción y aducción del hombro, y se debe realizar todo el análisis anterior, en la Figura 2.29, se presenta el resultado de la simulación, con la aplicación de la Ec. 2.17., a continuación.

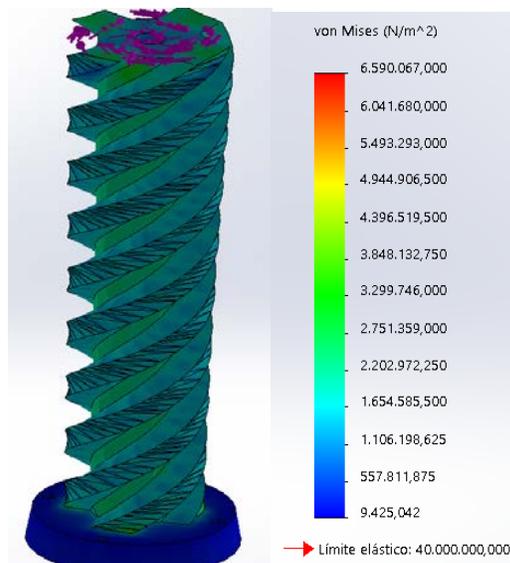


Figura 2. 29: Análisis estático de torsión

$$\sigma_{VON MISES} \leq \sigma_{LIMITE ELASTICO}$$

$$6.59 \text{ MPa} \leq 32 \text{ MPa}$$

De este modo queda comprobado que el material si va a soportar el torque establecido de 19.05 kgf*cm, para que realice el movimiento sin ningún problema, y ninguna probabilidad de falla del material. Y en general el ABS resiste sus pesos y torques de todo el diseño del robot humanoide.

2.6. Cinemática del robot humanoide

En esta sección se muestra los resultados de la cinemática del dedo, brazo y cabeza, junto con los parámetros para la matriz homogénea descritos a continuación:

- θ_i = Ángulo de la articulación
- d_i = Desplazamiento del enlace
- a_i = Longitud del enlace
- α_i = Ángulo del enlace

Para mayor detalle de la cinemática véase en (Oñate & Valdés, 2015)

2.6.1. Cinemática Dedo

En la Figura 2.30, se muestra los grados de libertad del dedo, en la Figura 2.31, la representación de Denavit-Hartenberg del dedo y en la Tabla 2.8, los resultados de la matriz homogénea (véase Anexo A de Oñate & Valdés, 2015)

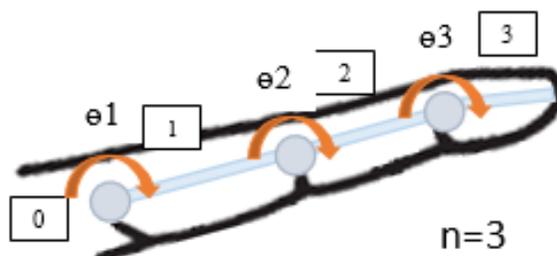


Figura 2. 30: Grados de libertad del dedo

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

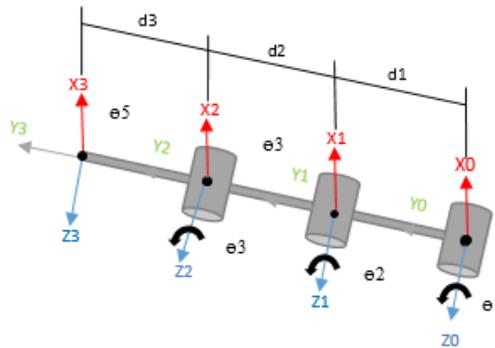


Figura 2. 31: Representación de Denavit-Hartenberg del dedo
Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

Tabla 2. 8

Parámetros de Denavit y Hartenberg del dedo

Articulación	θ	d	A	α
1	q_1	d_1	0	0
2	q_2	d_2	0	0
3	q_3	d_3	0	0

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

2.6.2. Cinemática Brazo

En la Figura 2.32, se muestra los grados de libertad del brazo, en la Figura 2.33, la representación de Denavit-Hartenberg y en la Tabla 2.9, los resultados de la matriz homogénea (véase Anexo B de Oñate & Valdés, 2015)

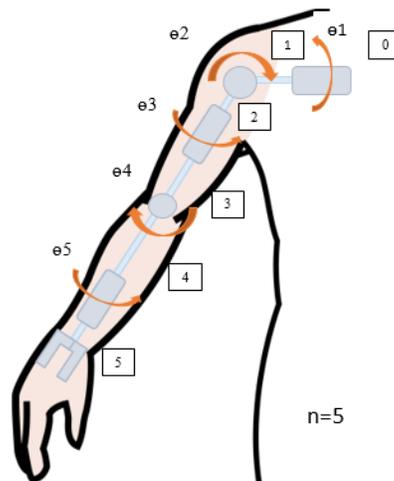


Figura 2. 32: Grados de libertad del brazo

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

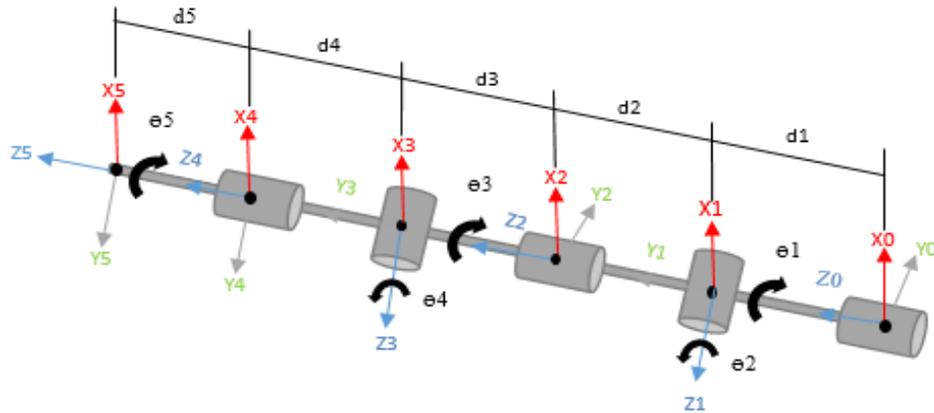


Figura 2. 33: Representación de Denavit-Hartenberg del brazo

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

Tabla 2. 9

Parámetros de Denavit y Hartenberg del brazo

Articulación	θ	d	A	α
1	q_1	d_1	0	90
2	q_2	d_2	0	-90
3	q_3	d_3	0	90
4	q_4	d_4	0	-90
5	q_5	d_5	0	0

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

2.6.3. Cinemática cuello y cabeza

En la Figura 2.34, se muestra los grados de libertad del cuello, en la Figura 2.35, la representación de Denavit-Hartenberg del cuello y en la tabla 2.10, los resultados de la matriz homogénea (véase Anexo C de Oñate & Valdés, 2015)

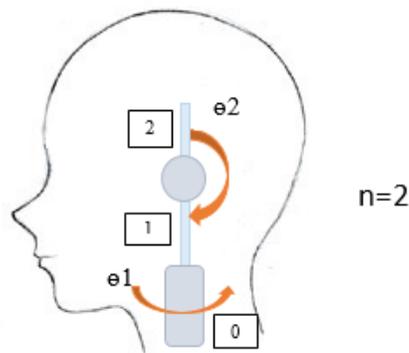


Figura 2. 34: Grados de libertad del cuello

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

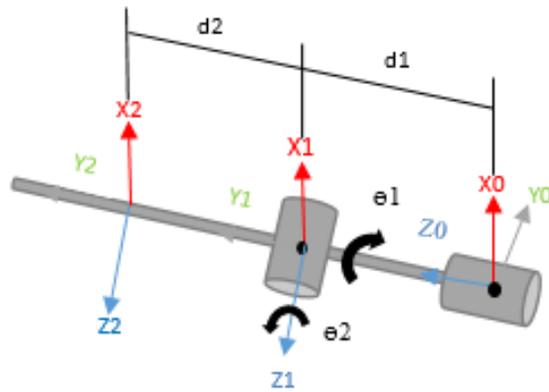


Figura 2. 35: Representación de Denavit-Hartenberg del cuello

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

Tabla 2. 10

Parámetros de Denavit y Hartenberg del cuello

Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	d_1	0	-90
2	q_2	d_2	0	0

Fuente: (Oñate & Valdés, 2015)

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

A continuación en el presente capítulo se detalla el procedimiento de manufactura que se desarrolló en la impresora 3D, con el cual se realizó la construcción de todas las piezas, así como también todas las etapas de implementación y ensamblaje para llegar a tener como resultado final el robot humanoide completo y operable mecánicamente.

3.1. Proceso de manufactura

Después que se realizó y se validó el diseño del robot humanoide en SolidWorks, se procede a la construcción de cada una de las piezas constitutivas del robot. Como se detalla en la sección 2.3, el proceso de manufactura se estableció la utilización de una Impresora 3D, en este caso se utilizará la impresora 3D DIMENSION STRATASYS (ver sección 1.12.6). En la Figura 3.1, se muestra un diagrama con la secuencia que se deberá seguir para el proceso de impresión de cada pieza.



Figura 3. 1: Proceso de impresión

El primer paso se realiza desde SolidWorks, de cada una de las piezas diseñadas, se guarda en extensión .STL, como se muestra a continuación en la Figura 3.2, dado que el software de la impresora 3D admite solo archivos con ésta extensión.

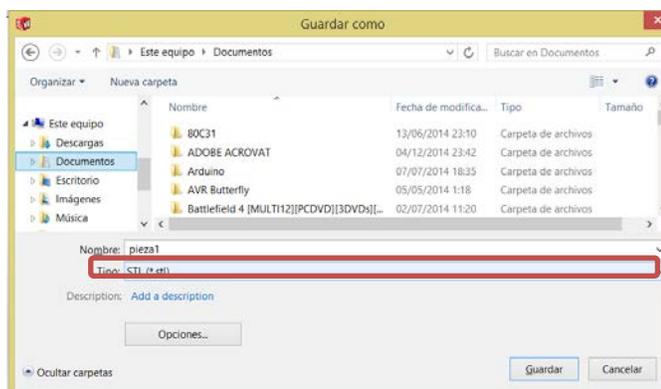


Figura 3. 2: Guardar archivos .STL

El segundo paso se realiza en la impresora 3D, encendiéndola y cargando los cartuchos del material, así como también ubicar la base dentro de la misma, para que por último se calibre automáticamente, alcanzando la temperatura de trabajado de la impresora y de esta manera quede lista para utilizarla.

El tercer paso se realiza en el programa de la impresora 3D, el cual es CATALYST, donde se ubica y se abre el archivo .STL, después se escoge la posición más adecuada, para que el trabajo de la impresora sea óptima, en menor tiempo y menor consumo de material.

El cuarto paso también se lo realiza en el software CATALYST, donde se ordena al programa a empaquetar el archivo; es decir, el programa secciona el diseño en capas y crea las trayectorias de movimientos del cabezal de los distintos tipos de material, y de movimientos de la base donde se construye la pieza, de esta manera se crea un archivo que define trayectorias precisas de control de movimiento. Para realizar el empaquetamiento se debe ubicar en la pestaña **General**, se configura todos los parámetros necesarios para una impresión óptima (depende la forma de la pieza) y dar clic en **Add to Pack**, en la

Figura 3.3, se muestra el proceso anteriormente detallado de una pieza de robot humanoide.

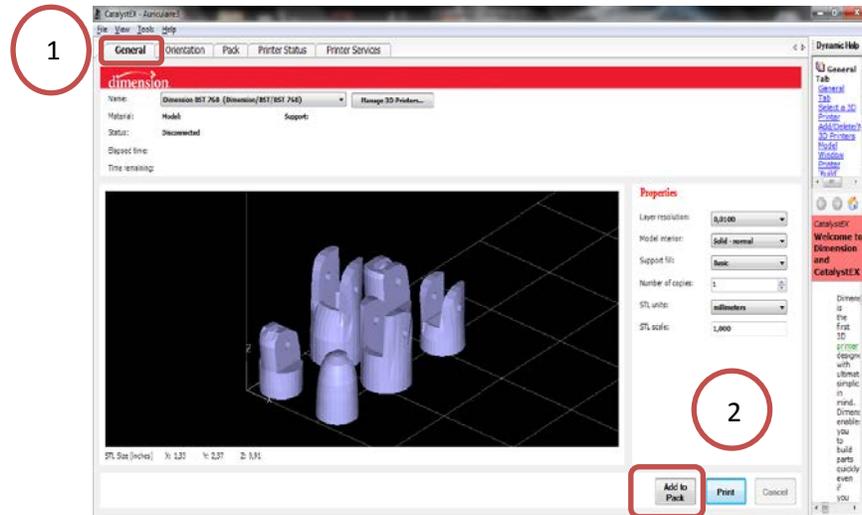


Figura 3. 3: Empaquetado de archivo .STL

El cuarto paso, de igual manera se realiza en el software CATALYST, siendo éste el último paso en la PC, el cual envía el archivo de trayectorias de movimiento a la impresora 3D, esto se realiza dando clic en **Pack** y luego en **Print**, una vez realizado lo anterior, se debe aceptar el mensaje **Star Model** que aparece en la impresora 3D, como se muestra en la siguiente Figura 3.4.

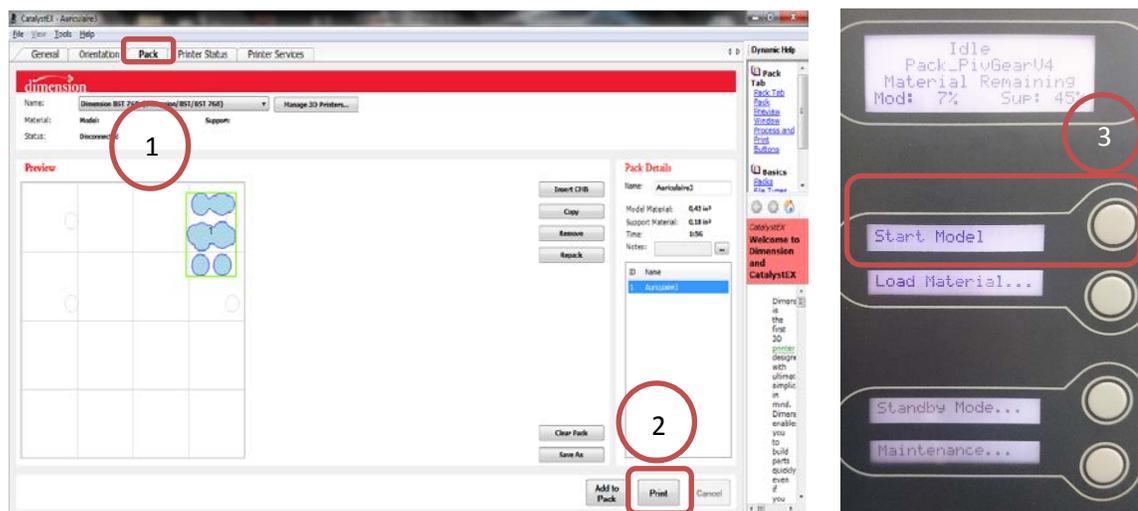


Figura 3. 4: Envío y aceptación de impresión

El quinto y último paso se realiza después de que la impresora termine de construir la pieza enviada; es decir, se procede a retirar la base con la pieza realizada y apagar la impresora; el tiempo de impresión dependerá del tamaño y dificultad del diseño. A continuación se presenta el momento en que la maquina está realizando la impresión, así también cuando se extrae, y cuando la pieza ya está terminada con la extracción del material de soporte, en las Figura 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran respectivamente.



Figura 3. 5: Impresora en proceso

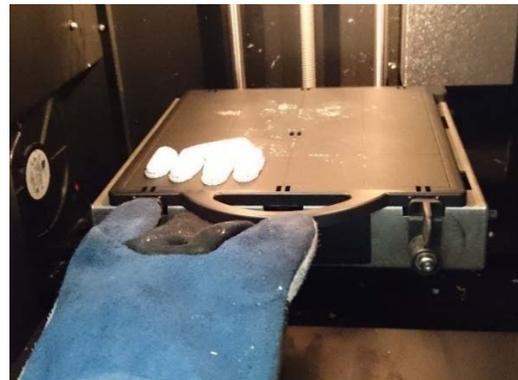


Figura 3. 6: Extracción de piezas impresas



Figura 3. 7: Pieza terminada

3.1.1. IMPRESIÓN DE COMPONENTES DE ROBOT HUMANOIDE

Debido a que el número de piezas que conforman el robot humanoide es grande, en el ANEXOS K, Impresión de las piezas del robot humanoide, se detalla cada una de las piezas impresas con el tiempo y material empleado por la impresora; de este modo en la Tabla 3.1, se presenta un resumen general de dichos valores utilizados por la impresora.

Tabla 3. 1

Resumen de tiempo y material del robot humanoide

Componente del robot humanoide	Tiempo (horas)	Material de modelado (in ³)	Material Soporte (in ³)
Mano derecha	22.24	9.45	2.2
Muñeca derecha	11.34	5.15	1.12
Antebrazo derecho	43.87	18.98	5.86
Porta servos derecho	7.34	4.39	0.79
Bíceps derecho	70.56	50.07	6.91
Hombro derecho	50.11	40.88	5.41
Mano izquierda	22.24	9.45	2.2
Muñeca izquierda	11.34	5.15	1.12
Antebrazo izquierda	43.87	18.98	5.86
Porta servos izquierda	7.34	4.39	0.79
Bíceps izquierda	70.56	50.07	6.91
Hombro izquierda	50.11	40.88	5.41
Torso	54.15	59.43	6.76
Cara	27.43	12.56	2.29
Cráneo	28.51	16.62	3.82
Cuello	46.24	25.91	4.49
Quijada	6.22	2.46	1.76
Orejas	8.44	9.58	0.72
Tapas del pecho	72.44	46.49	13.25
TOTAL	658.35	430.92	77.67

De esta manera se tiene un tiempo total 658.35 horas de impresión, 430.92 plg³ de material de modelado, y 77.67 plg³ de material de soporte. Si se hace referencia con cada cartucho nuevo que contiene 50 plg³, para el robot humanoide se ha utilizado 8 cartuchos completos y uno en un 15%; de igual manera, para el material de soporte se ha empleado un cartucho completo y un cartucho en un 14%, aproximadamente.

3.2. Proceso de ensamblaje

Una vez terminada la impresión de cada una de las piezas diseñadas, se verifica las medidas y la calidad de impresión, se procede a ensamblar todas estas partes, para poder realizar la sujeción de las piezas de mejor manera y con facilidad, se utilizará pasadores, pegamento, tornillos y tuercas. A continuación se detalla el proceso de ensamblaje de cada parte del robot humanoide.

3.2.1. Ensamblaje de la mano

El ensamblaje empieza por unir todos los componentes de cada dedo con la ayuda de pegamento y de pasadores metálicos; se realiza para el dedo índice como se muestra en la Figura 3.8, para luego todos sus dedos ser acoplados con pasadores metálicos y ABS para la palma, como se observa en la Figura 3.9.

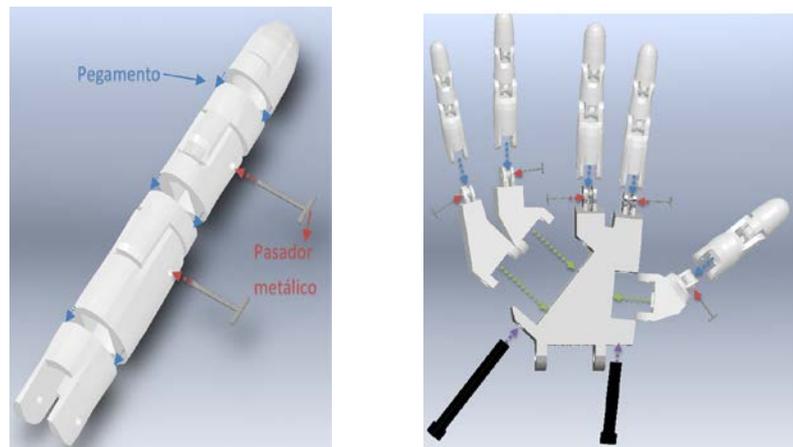


Figura 3. 8: Ensamblaje del dedo índice **Figura 3. 9: Ensamblaje de la mano**

Una vez finalizado el ensamblaje de la mano descrito anteriormente, se procede a instalar las cuerdas por los canales de cada dedo y de la palma respectivamente, la cuerda a utilizar es de nylon de 1mm de grosor, en la Figura 3.10, se observa la presentación final de la mano.



Figura 3. 10: Ensamblaje de cuerdas de la mano

3.2.2. Ensamblaje de la muñeca

Para la siguiente parte del ensamblaje; en primer lugar se debe seleccionar el servomotor para el giro de la muñeca el cual se debe instalar, dicha selección se la realiza en la sección 2.4 del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), teniendo así un servomotor de valor de 8.5 kg*cm. En la Figura 3.11, se detalla el orden que deben instalarse los componentes.

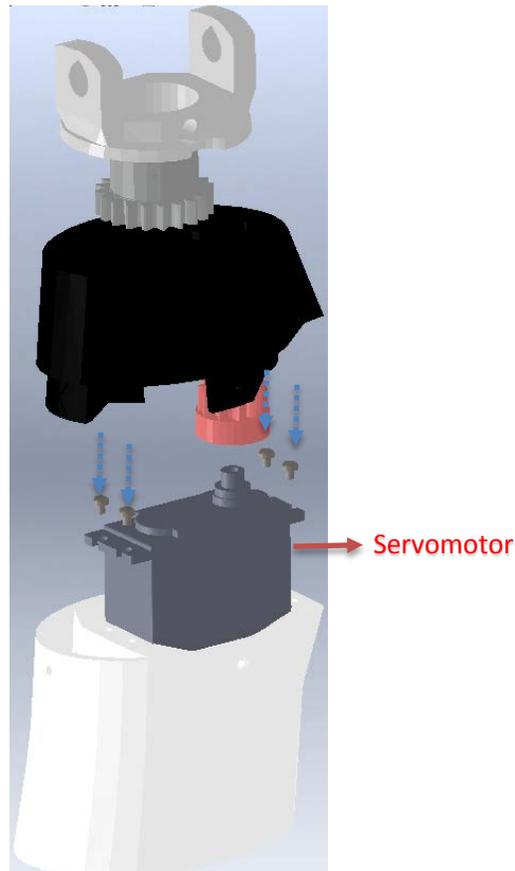


Figura 3. 11: Ensamblaje de la muñeca

A continuación se procede a ensamblar la muñeca y la mano, tomando en cuenta que las cuerdas también deberán insertarse en cada uno de sus canales internos respectivamente, se utiliza un pasador de ABS. Para entender de mejor manera se puede observar en la Figura 3.12.

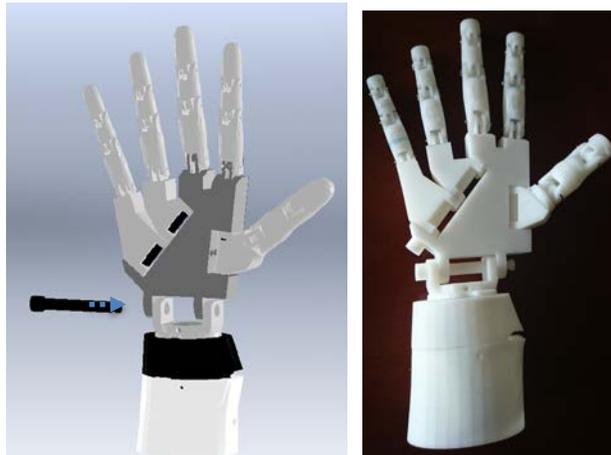


Figura 3. 12: Ensamblaje mano – muñeca

3.2.3. Ensamblaje del ante brazo y porta servos

En este ensamblaje, con la ayuda de pegamento, se procede a unir los cobertores del antebrazo, como se puede observar en la Figura 3.13, para luego instalar el porta servos con todos sus servomotores, de la misma manera éstos son seleccionados en la sección 2.4 del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), los cuales son 5 de 8.5 kg*cm. En la Figura 3.14, se presenta como se instala el porta servos con el antebrazo y los separadores de las cuerdas de cada servomotor, esto para q no exista cruce de cuerdas al momento de accionar cada servomotor.

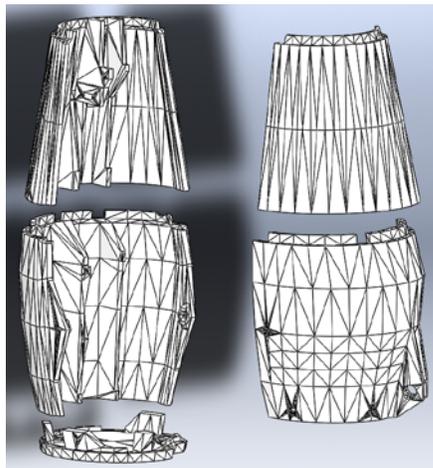


Figura 3. 13: Ensamblaje tapas de antebrazo

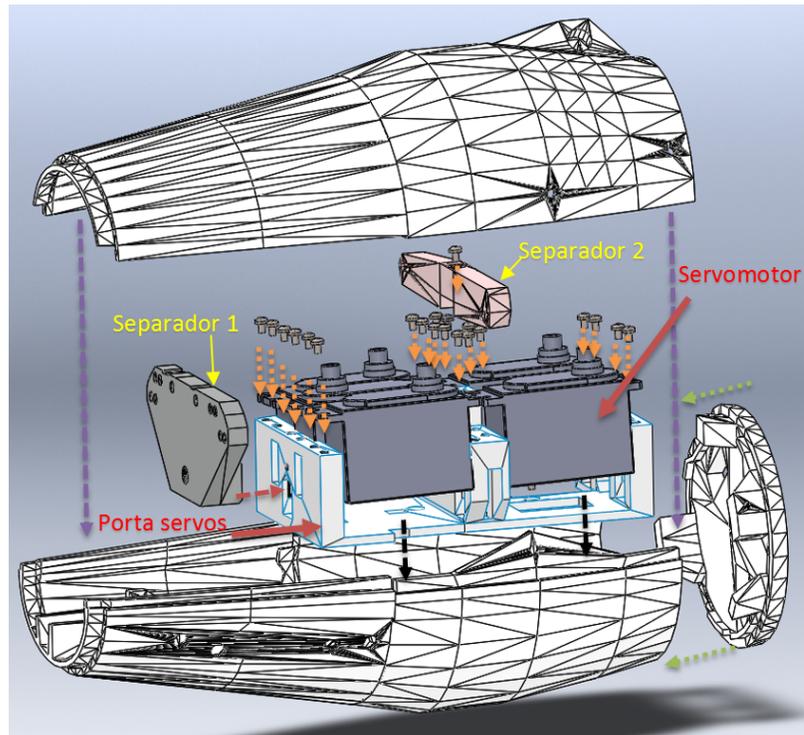


Figura 3. 14: Ensamblaje tapas de antebrazo y porta servos

Además se debe realizar la instalación del soporte donde se va a sujetar la muñeca con el antebrazo, dicho procedimiento se observa en la Figura 3.15, a continuación se instala la muñeca en dicho soporte, como se muestra en la Figura 3.16.

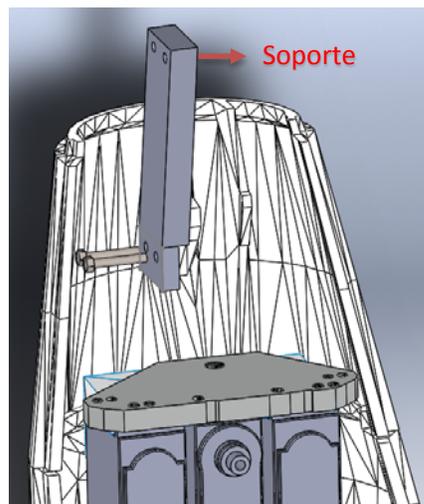


Figura 3. 15: Ensamblaje soporte de muñeca

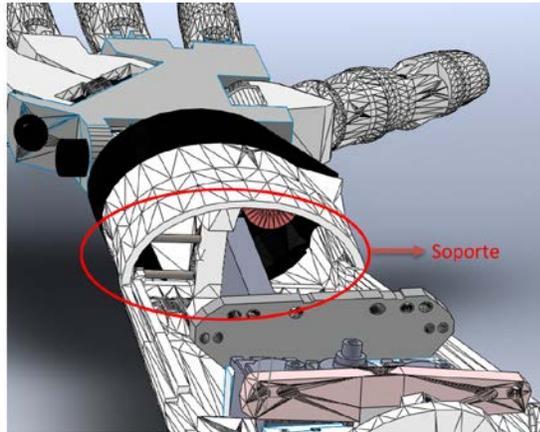


Figura 3. 16: Ensamblaje soporte de muñeca y antebrazo

De esta manera, cuando ya se tenga ensamblado el antebrazo con la muñeca y la mano, se procede a poner las cuerdas en los servomotores correspondientes, atravesando los separadores de las cuerdas. Como resultado final se presenta la Figura 3.17.

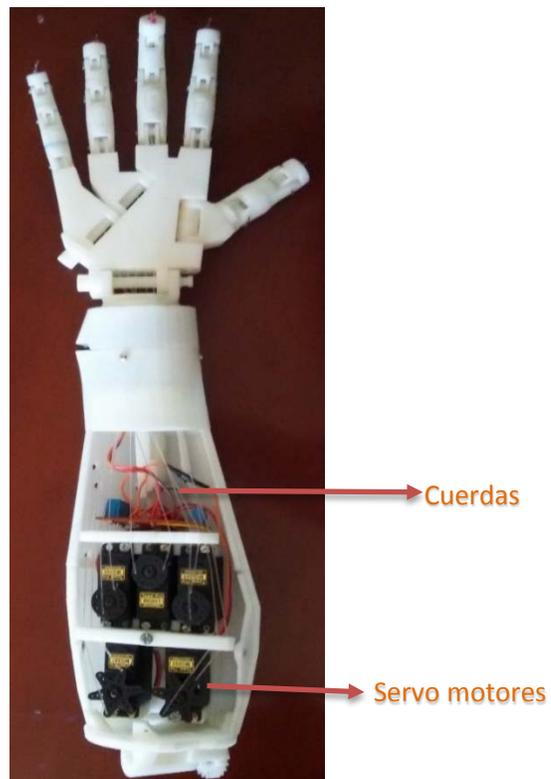


Figura 3. 17: Ensamblaje soporte de muñeca y antebrazo final.

3.2.4. Ensamblaje de bíceps

A continuación, en el ensamblaje se necesitan los servomotores, que efectúan el movimiento de flexión y extensión del antebrazo, así como el giro del brazo, cuya selección se realiza en la sección 2.4 del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), los cuales son dos de 19 kg*cm. En la Figura 3.18, se presenta un despiece del bíceps, y en la Figura 3.19, se muestra el bíceps ensamblada reamente.

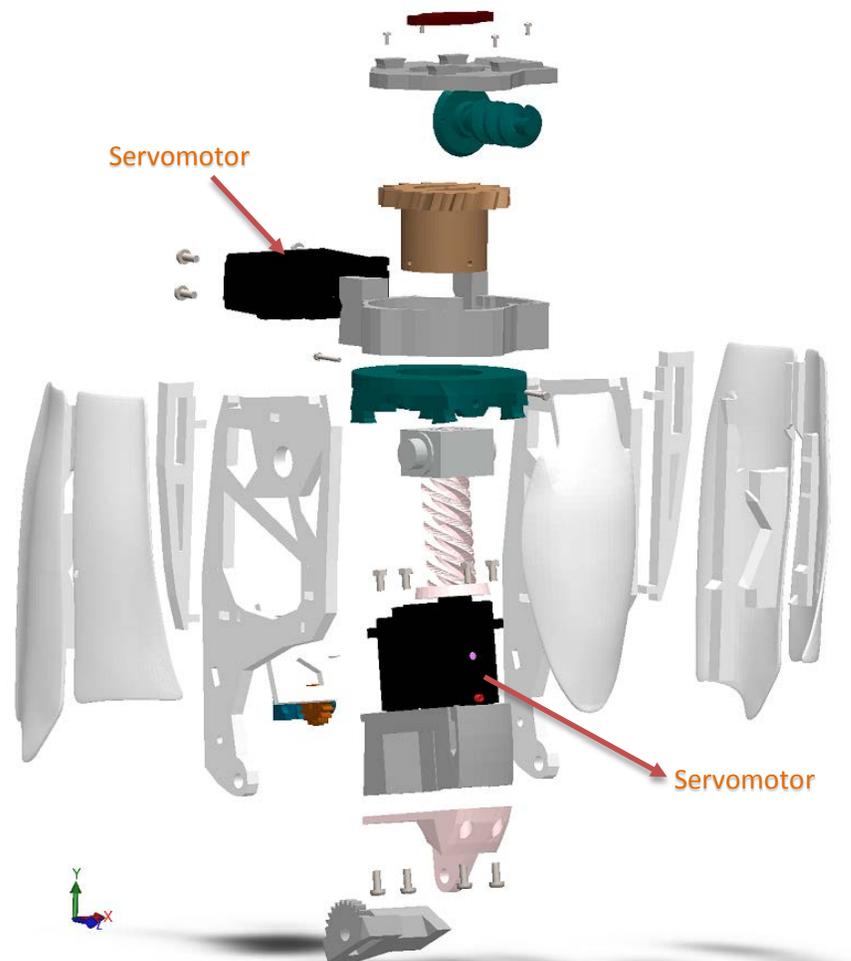


Figura 3. 18: Despiece de bíceps



Figura 3. 19: Ensamblaje de bíceps

El ensamblaje se lo realiza con ayuda de tornillos roscado milimétrico M4 para la sujeción de los servomotores a las bases, y tornillos M2 para el acople del resto de piezas necesarias, así también el uso de pegamento en las tapas donde se lo requiera, se debe colocar grasa en los sistemas de movimiento, como son el engranaje y tonillos sinfín para que su desgaste sea mínimo y el deslizamiento sea óptimo. A continuación se presenta el ensamblaje del bíceps con el antebrazo en la Figura 3.20, para lo cual se utilizan tornillos M6 de la siguiente manera.

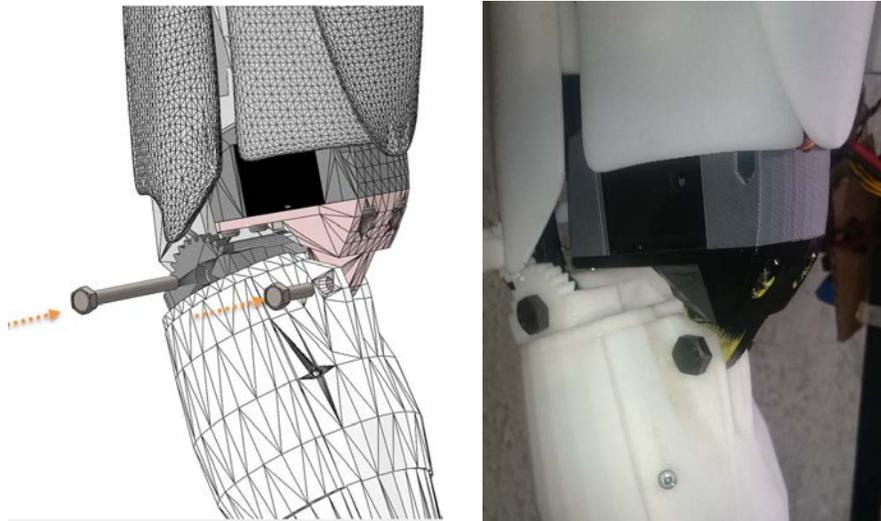


Figura 3. 20: Ensamblaje de bíceps - antebrazo

3.2.5. Ensamblaje del hombro

En la Figura 3.21, se presenta el procedimiento del ensamblaje con sus respectivos servomotores seleccionados, los cuales se puede observar en la sección 2.4 del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), que son de 19kg*cm, de igual manera se utiliza tornillos M2 y M4 para la sujeción de sus componentes así como también se debe colocar grasa para disminuir su fricción y reducir su desgaste.

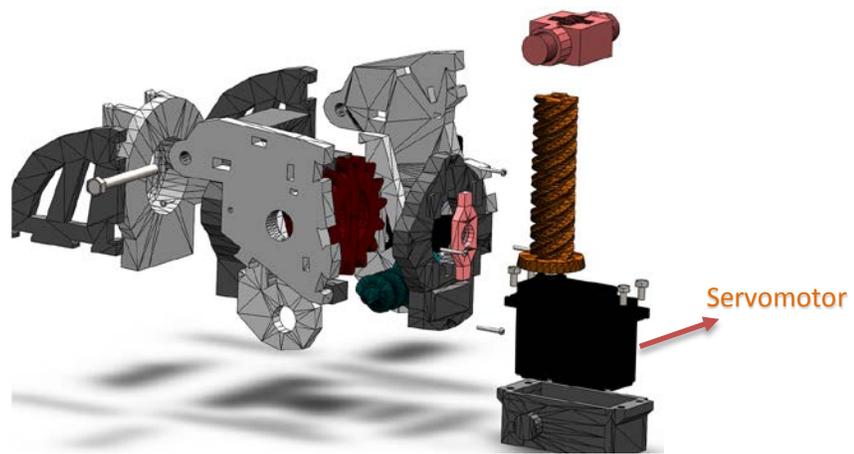


Figura 3. 21: Ensamblaje del hombro

En la Figura 3.22, se presenta el ensamblaje para unir el bíceps con el hombro, su acoplamiento es a presión ya que sus sujeciones son de bisel, para asegurar de mejor manera se utiliza pegamento en dichas uniones.

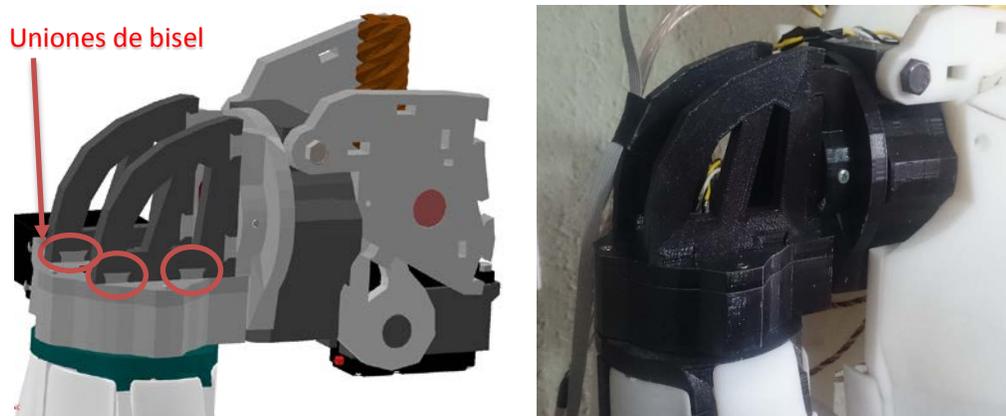


Figura 3. 22: Ensamblaje del hombro – antebrazo

3.2.6. Ensamblaje del cuello

Para el ensamblaje, se toma los servomotores seleccionados en el trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), para los movimientos del cuello que son de giro a la derecha – izquierda y extensión – contracción del cuello, los mismos que son de 19 kg*cm. Para dicho ensamblaje se requiere la utilización de tornillos M2 y M6, así como de pegamento, el cuello tiene su punto de sujeción en el torso donde es necesario iniciar su ensamblaje, ya que dentro del mismo se va a instalar uno de los servos el cual va a producir uno de los movimientos. En la Figura 3.23, se presenta el despiece de dicha sección a ensamblar.

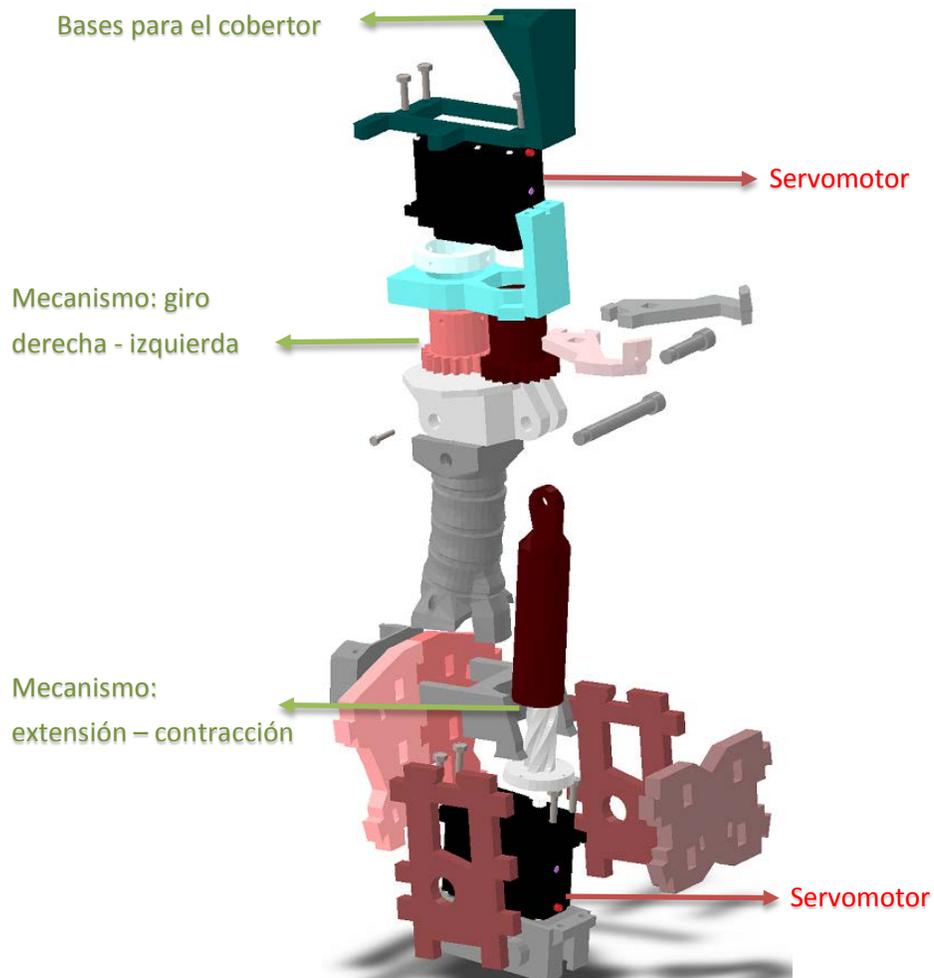


Figura 3. 23: Ensamblaje del cuello

Además es aquí donde posteriormente se ensamblará el resto del torso del robot humanoide, así como también en la parte superior de éste existe la base donde se apoyará la cabeza y todos sus componentes.

3.2.7. Ensamblaje de cabeza

En esta parte del robot humanoide como se explicó en el diseño, (Véase sección 2.2.7), se realizará el ensamblaje de las partes de la cabeza del robot humanoide en el mecanismo de giro derecha – izquierda del cuello. Para el proceso de ensamblaje se utiliza tornillos M2 y pegamento para una mejor sujeción. En la Figura 3.24, se muestra una vista explosionada del ensamblaje de las orejas, ojos, mandíbula, cráneo y el resto de partes de la cara, en sus respectivas ubicaciones; los tornillos que sujetan la cabeza con las bases en el cuello se ubican en dos lugares como se muestra en dicha Figura, uno en la parte superior y otro en la parte inferior posterior del cráneo. En la Figura 3.25, se muestra la cabeza armada físicamente.

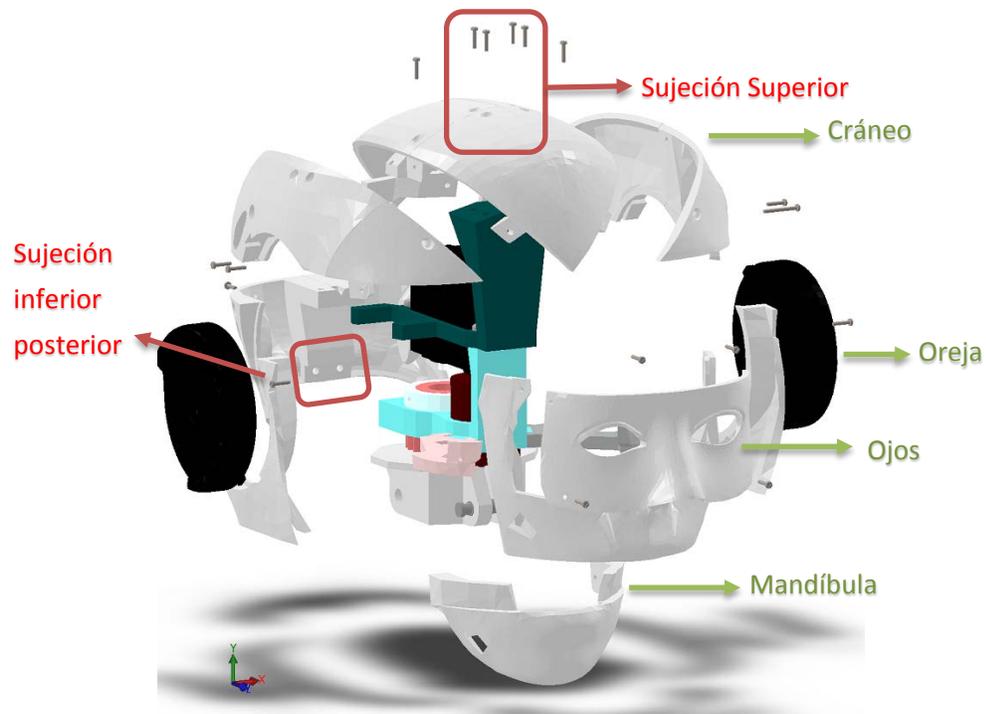


Figura 3. 24: Ensamblaje del cabeza



Figura 3. 25: Cabeza armada físicamente

3.2.8. Ensamblaje de torso

Siendo éste, el principal componente a ensamblar, ya que el mismo debe soportar sus extremidades superiores y la base donde se va a situar todo el robot humanoide, el diseño se ha realizado de manera que la unión de todas estas piezas será mediante un bisel, como se muestra en la Figura 3.26, se utilizará pegamento luego de haber unido los biseles, de esta forma dará una mejor sujeción en sí de todas las piezas. En dicha Figura se presenta el despiece de este componente a ensamblar, cabe recalcar que éste permanecerá estático, de esta manera se constituye así en la estructura base para que posteriormente sean añadidos los ensambles anteriormente descritos; de igual manera la Figura 2.27, muestra el torso armado físicamente.

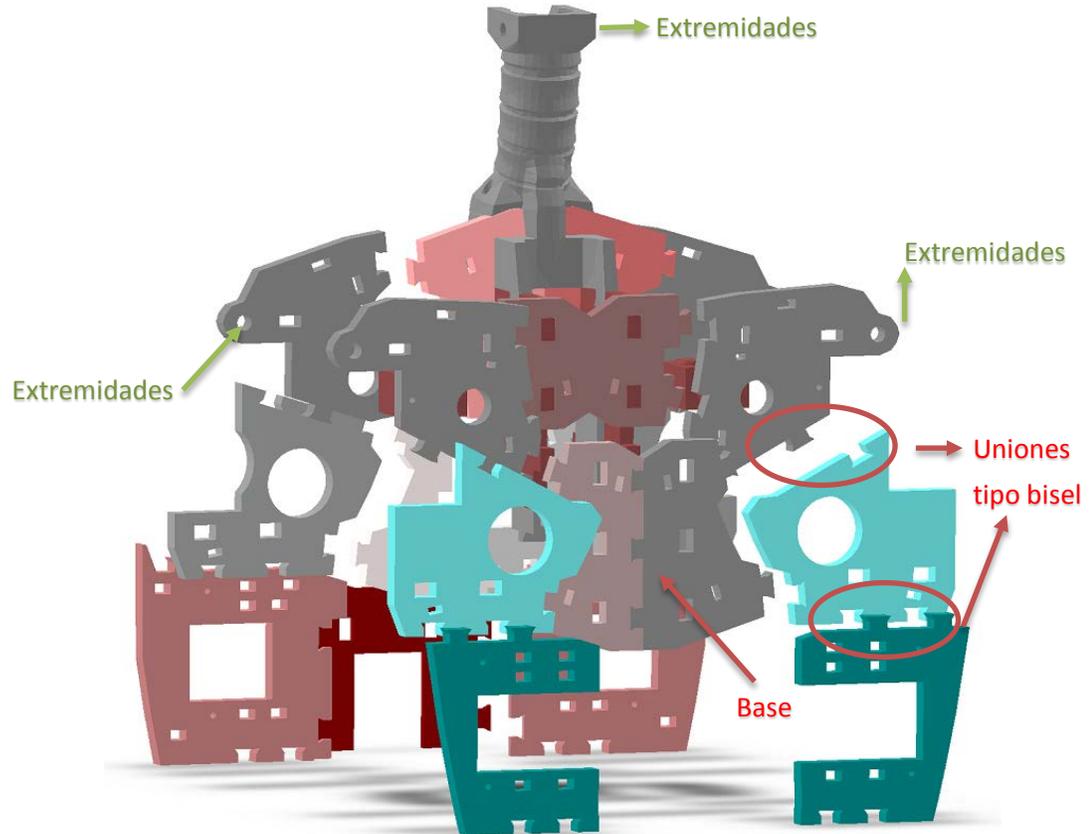


Figura 3. 26: Ensamblaje del torso

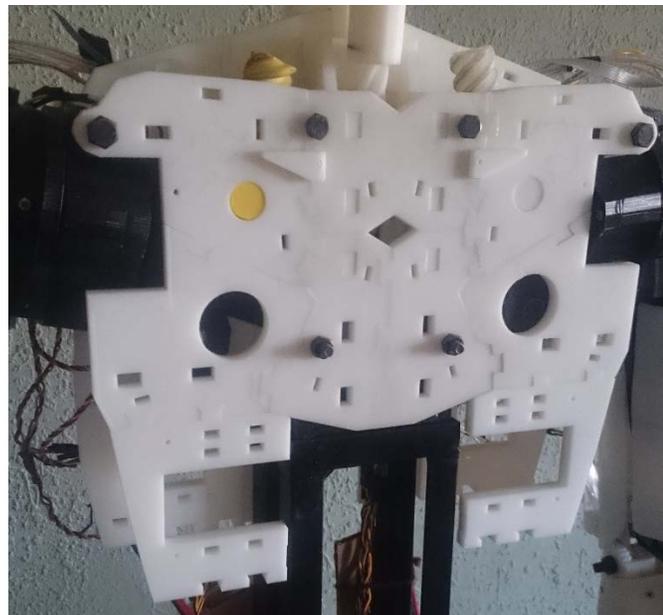


Figura 3. 27: Ensamblaje físico torso

Además para mejorar la apariencia, como se puede observar en la Figura 3.28 y 3.29, se adaptó cobertores similares a la del cuerpo humano, también en piezas del pecho y abdomen se personalizó con el nombre de la Carrera Mecatrónica y la Universidad Espe, con la ayuda de tornillos M2 y pegamento se realiza la sujeción de todos los cobertores.



Figura 3. 28: Ensamblaje de tapas del torso



Figura 3. 29: Ensamblaje físico de tapas del torso

Finalmente, se presenta en la Figura 3.30, el ensamble completo del robot humanoide, con todos sus componentes instalados como son sus extremidades superiores, su cabeza y su base de soporte total.



Figura 3. 30: Ensamble final del robot humanoide

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este punto es donde el robot se encuentra ensamblado por completo, por esta razón en el presente capítulo se presentará las diferentes pruebas que se han realizado al robot humanoide para garantizar su perfecto funcionamiento mecánico. Con la ayuda del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), se toman los servomotores seleccionados, y el sistema de control para facilitar dichas pruebas.

4.1. Pruebas de fuerza de ABS

Con la finalidad de garantizar que el material ABS del robot humanoide no falle cuando realice los movimientos, se debe realizar una prueba de esfuerzos. Debido que el material utilizado en el presente trabajo es ABS, siendo este material similar al del trabajo realizado por (Acuña, Rivas, Chancusi, & Navarrete, 2014), se toman los resultados de ensayos en base a la norma ASTM D638-10 sometidos a esfuerzo axial de tracción. De este modo en la Tabla 4.1, se presentan sus resultados.

Tabla 4. 1

Resultados de ensayos ASTM D638-10

Probeta	Esfuerzo axial σ (MPa)	Deformación δ (mm)
1	20.40	0.49
2	20.30	0.36
3	20.31	0.55

Fuente: (Acuña, Rivas, Chancusi, & Navarrete, 2014)

En el presente trabajo el esfuerzo máximo se encuentra en el movimiento de abducción y contracción del brazo, siendo este el caso crítico, con 0.40 MPa, como se analizó en la sección 2.5. De esta manera queda comprobado que el esfuerzo máximo que puede soportar el ABS es de 20.40 MPa, siendo este mucho mayor al esfuerzo total máximo al que se somete el robot humanoide.

4.2. Pruebas de campo de operación de movimientos

Es necesario comprobar y tener un valor de referencia de error que existe en el campo de operación de cada movimiento del robot humanoide, por tal motivo a continuación se realiza la medición con la ayuda de un goniómetro el cual es un instrumento de medición de ángulos. Además con la ayuda del sistema de control realizado por (Oñate & Valdés, 2015), poder comprobar que el torque calculado es capaz para realizar dichos movimientos del robot humanoide.

4.2.1. Movimiento de los dedos

El servomotor seleccionado para cada dedo fue de 8.5 kg*cm, en la Figura 4.1, se presenta los dedos contraídos y extendidos. La Figura 4.2, muestra el campo de operación del dedo medio que es de 0° a 84°.

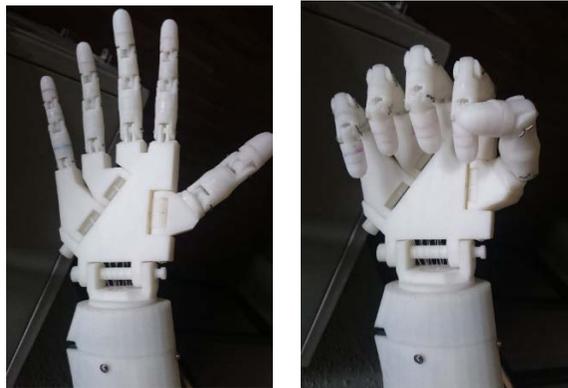


Figura 4. 1: Prueba movimiento dedos extendidos y contraídos



Figura 4. 2: Campo de operación del dedo

4.2.2. Movimiento de muñeca

En la Figura 4.3, se puede observar el movimiento de la muñeca en sus dos posiciones de giro interno y externo, con un servomotor de 8.5 kg*cm instalado, además se observa el campo de operación de la muñeca siendo de 0° a 63°.



Figura 4. 3: Prueba de movimiento y campo de operación del dedo

4.2.3. Movimiento del antebrazo

En la Figura 4.4, se observa este movimiento con su servomotor instalado de 19 kg*cm, el cual cumple con el movimientos de flexión y extensión del codo. Además, se muestra en campo de operación del mismo que va de 0° a 55°.



Figura 4. 4: Prueba movimiento y campo de operación del antebrazo

4.2.4. Movimiento del hombro

Dentro de este existe tres tipos de movimiento, la rotación externa e interna, flexión - extensión y aducción - abducción del brazo, en estos movimientos el servomotor instalado es de 19 kg*cm. Su campo de operación son de 0° - 86° , 0° - 115° y 0° - 48° , en las Figuras 4.5, 4.6 y 4.7, se muestran estos movimientos respectivamente, con sus posiciones inicial - final y, soportando de esta manera los servomotores en sus respectivos movimientos.



Figura 4. 5: Prueba movimiento rotación y campo de operación del brazo



Figura 4. 6: Prueba movimiento de flexión y campo de operación del brazo

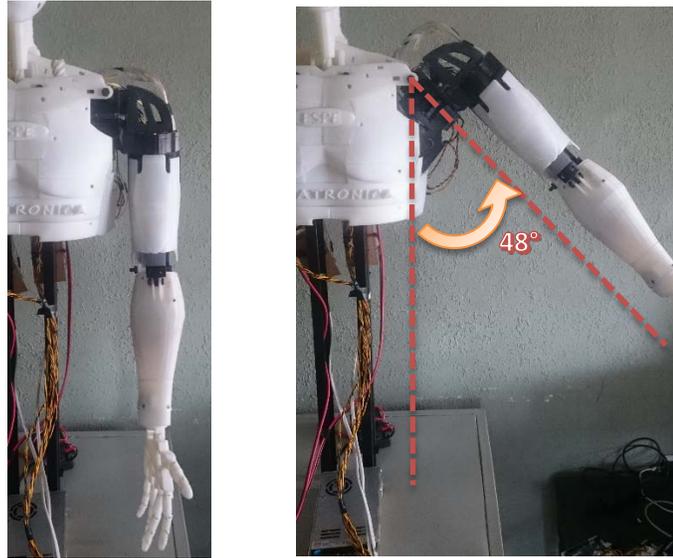


Figura 4. 7: Prueba movimiento aducción y campo de operación del brazo

4.2.5. Movimiento de la cabeza

En las figuras 4.8 y 4.9, se muestran las posiciones de iniciales y finales de los distintos tipos de movimiento de la cabeza como son: extensión – contracción y rotación a la derecha e izquierda del cuello, en los cuales se instaló en los dos casos servomotores de 19 kg*cm, con campos de acción de 0°-38° y 0°-100°, respectivamente.

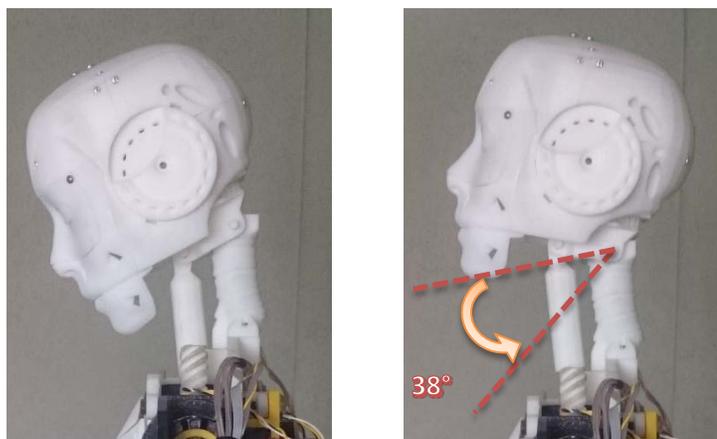


Figura 4. 8: Prueba movimiento extensión – contracción del cuello

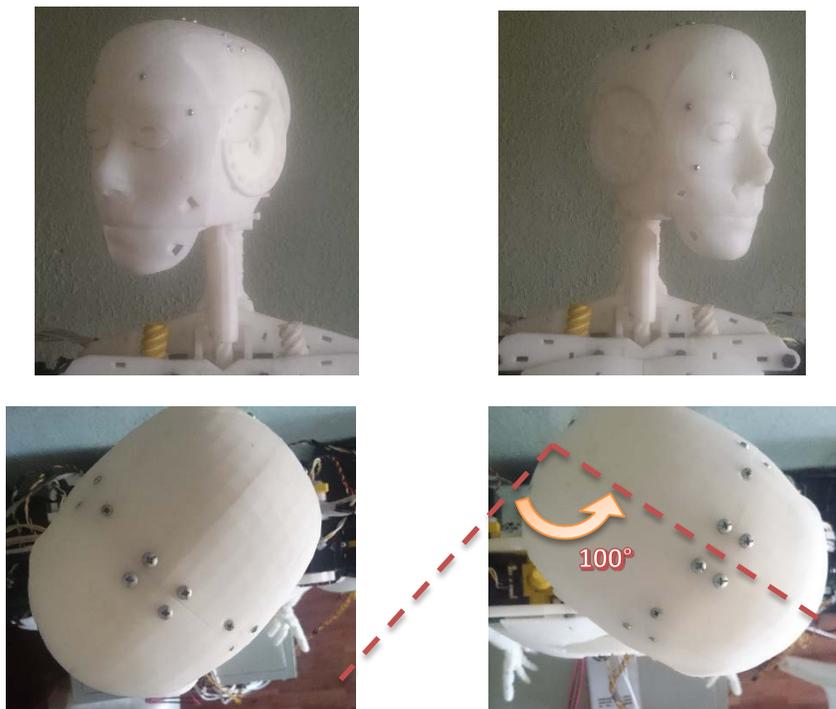


Figura 4. 9: Prueba movimiento rotación a la derecha e izquierda del cuello

Con la finalidad de tener valores que representen las diferencias que existieron entre, los campos de operación que se plantearon en los parámetros de diseño (ver sección 2.1) y los campos de operación reales que se obtuvo. En la Tabla 4.2, se comparan estos ángulos y se calcula un error promedio, teniendo como resultado un valor de 5.83%, de este modo, quedando así establecidas las limitaciones del robot con dichos valores de campos de operación, como valores máximos que puede alcanzar el robot humanoide.

Tabla 4. 2

Porcentaje de error de campos de operación

Nombre de movimiento	Campo de operación del diseño	Campo de operación medido	Error %
Dedos	90	84	6.66
Giro de muñeca	60	63	5
Flexión - exención codo	60	55	8.33
Rotación interna - externa brazo	90	86	4.44

CONTINÚA 

Flexión - extensión del brazo.	120	115	4.16
Aducción - abducción del brazo.	50	48	4
extensión - contracción del cuello	40	38	5
rotación a la derecha e izquierda del cuello	110	100	9.09
Error total			5.83

4.3. Tiempo de ejecución de movimiento de señas

Para realizar esta prueba se considera tres tipos de señas que puede realizar el robot humanoide, estas señas se pueden dividir en: simples, intermedias y complejas, para dichas señas se tomaron: sacar, correr y ceremonia respectivamente. En la Tabla 4.3, se presenta el valor de tiempo tomadas en tres ocasiones, de esta manera poder tener un valor de tiempo promedio.

Tabla 4. 3

Tiempo de ejecución de señas

SEÑA	PRUEBA	TIEMPO (SEG)	PROMEDIO (SEG)
SACAR	Primera	7.955	7.742
	Segunda	7.105	
	Tercera	8.127	
CORRER	Primera	13.443	13.335
	Segunda	14.011	
	Tercera	12.552	
CEREMONIA	Primera	22.312	22.252
	Segunda	22.822	
	Tercera	21,624	

De esta manera se tiene un tiempo promedio de 7.742 segundos para realizar la ejecución de una seña simple, 13.335 segundos para una seña intermedia y 22.252 segundos para una seña compleja. El tiempo dependerá del grado de complejidad de secuencia de movimientos que compongan una seña.

4.4. Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada para el presente proyecto es:

¿La implementación de un intérprete humanoide en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi facilitará la enseñanza de la lengua en señas básica en los niños con discapacidad auditiva al iniciar su etapa escolar?

- **Variables Dependientes**

Facilitará la enseñanza de la Lengua de Señas

- **Variables Independientes**

Intérprete Humanoide

Es importante aclarar que para la comprobación de la hipótesis, se deben haber culminado los dos proyectos complementarios, ya que el objetivo de ambos es facilitar la enseñanza de la lengua de señas de los niños de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi.

Para la comprobación de la misma, se utilizará la distribución chi-cuadrado (Navidi, 2006) , esta prueba consiste en un grupo de contrastes de hipótesis que permiten comprobar afirmaciones acerca de las funciones de una o dos variables aleatorias. A continuación se describe el proceso para obtener el valor de chi-cuadrado.

El primer paso es establecer, la hipótesis nula y la hipótesis de trabajo:

Hipótesis Nula (H_0): El intérprete humanoide no facilitará la enseñanza de la lengua de señas de los niños con discapacidad auditiva.

Hipótesis de trabajo (H_1): El intérprete humanoide facilitará la enseñanza de la lengua de señas de los niños con discapacidad auditiva.

Una vez establecidas las hipótesis H_0 y H_1 , se aplicó tres veces las pruebas a los estudiantes de la Unidad Educativa que se indica en el Anexo H (Instrumento de Evaluación) del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015).

La primera vez que se realizó, se obtuvo una estimación del conocimiento de los niños, es decir, para conocer el estado inicial de los niños, como se puede observar en la Figura 4.10.



Figura 4. 10: Estimación inicial de niños

Luego se realizó un taller de aprendizaje como se muestra en la Figura 4.11, con los estudiantes como un proceso de adaptación para la interacción con el intérprete.



Figura 4. 11: Taller con los niños

En la tercera etapa se evaluó el aprendizaje de las señas como se puede observar en la Figura 4.12.



Figura 4. 12: Evaluación de los niños

Se trabajó con 5 niños número que corresponde a la muestra calculada, ver la sección 4.3.1., de trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), los datos que se despliegan en la Tabla 4.4, son los valores obtenidos en la tercera etapa de evaluación que pertenecen a la frecuencia observada (O_i).

Tabla 4. 4

Frecuencia Observada

Seña/ Ponderación	Alto	Medio	Bajo	Total
Aplaudir	5	0	0	5
Correr	3	0	2	5
Concluir	2	0	3	5
Jarra	2	3	0	5
Favor	3	1	1	5
Grado	3	0	2	5
Juicio	2	2	1	5
Medir	0	5	0	5
Paraguas	1	2	2	5
Sacar	3	0	2	5
Total	24	13	13	50

Luego se calcula la frecuencia esperada, dichos valores se obtendrán en base a los valores correspondientes a la frecuencia observada, aplicando la Ec.4.1., se tienen los valores mostrados en la Tabla 4.5.

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{o} \quad \text{Ec.4.1.}$$

En donde:

O_i : Frecuencia Observada

E_{ij} : Frecuencia Esperada

Tabla 4. 5

Frecuencia Esperada

Seña/ Ponderación	Alto	Medio	Bajo	Total
Aplaudir	2,4	1,3	1,3	3,7
Correr	2,4	1,3	1,3	3,7
Concluir	2,4	1,3	1,3	3,7
Jarra	2,4	1,3	1,3	3,7
Favor	2,4	1,3	1,3	3,7
Grado	2,4	1,3	1,3	3,7
Juicio	2,4	1,3	1,3	3,7
Medir	2,4	1,3	1,3	3,7
Paraguas	2,4	1,3	1,3	3,7
Sacar	2,4	1,3	1,3	3,7
Total	24	13	13	50

Para finalizar se encuentra el valor de chi cuadrado total, se utiliza las frecuencias observadas (O_i) y esperadas (E_{ij}), utilizando la Ec.4.2., se obtienen los datos de chi cuadrado parciales y el total que se muestran en la Tabla 4.6.

$$x_c^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad \text{Ec.4.2.}$$

En donde:

x_c^2 : Chi cuadrado calculado

I : Número de filas

J : Número de columnas

Tabla 4. 6
Valores Calculados de Chi-Cuadrado

Seña/ Ponderación	Alto	Medio	Bajo
Aplaudir	2,817	1,300	1,300
Correr	0,150	1,300	0,377
Concluir	0,067	1,300	2,223
Jarra	0,067	2,223	1,300
Favor	0,150	0,069	0,069
Grado	0,150	1,300	0,377
Juicio	0,067	0,377	0,069
Medir	2,400	10,531	1,300
Paraguas	0,817	0,377	0,377
Sacar	0,150	1,300	0,377
Total	6,833	20,077	7,769
X2 Calculado			34,679

Los grados de libertad en cálculos estadísticos son un estimador del número de categorías independientes en una prueba particular o experimento estadístico, y se obtiene mediante la Ec.4.3., que se indica a continuación:

$$G_D = (I - 1) * (J - 1) \quad \text{Ec.4.3.}$$

$$G_D = (10 - 1) * (3 - 1)$$

$$G_D = 18$$

El nivel de confianza que se ha estimado para el desarrollo del proyecto es 0,05 ya que se espera un alto rendimiento en la funcionalidad del intérprete, luego se obtuvo el grado de libertad que es 18, con estos datos según la tabla del ANEXO H, Distribución Chi-Cuadrado, del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015), el valor del Chi-Cuadrado tabulado (x_t^2) es 28,869. El valor del Chi-Cuadrado calculado (x_c^2) es 34,679; de acuerdo a las condiciones de este criterio como el x_c^2 es mayor que el x_t^2 , se acepta la hipótesis de trabajo y se rechaza la hipótesis nula.

Por lo tanto se verifica el cumplimiento de la hipótesis planteada ya que el intérprete humanoide si facilita la enseñanza de la lengua de señas de los niños con discapacidad auditiva.

4.5. Análisis de costos

Cuando finalmente se ha concluido la construcción y ensamblaje del robot humanoide con su funcionamiento mecánico óptimo, es relevante hacer un detalle de todos los gastos que se han realizado, mediante las compras de los diversos materiales y componentes necesarios para la construcción. De ésta manera tener un valor referente que se necesita para realizar una construcción similar en futuros trabajos. En la Tabla 4.7, se detalla dichos componentes como costos fijos. Cabe recalcar que la impresión se realizó en el laboratorio CNC, de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA, en la impresora 3D DIMENSION STRATASYS, es por ello que se toma en cuenta el precio del proceso de manufactura como costos variables en la Tabla 4.8.

Tabla 4. 7

Costos fijos

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
9	Cartucho de ABS de modelado STRATASYS	296.80	2671.20
2	Cartucho de ABS de soporte STRATASYS	296.80	593.60
1	Material metálico para el soporte de la estructura	90	90
1	Acero inoxidable	10	10
1	Material para sujeción (tornillos, pegamento, pasadores)	20	20
1	Grasa	5	5
Total			3389.80

Tabla 4. 8
Costos Variables

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
659	Horas de impresión	10.00	6590
1	Caja de bases	137.50	137.50
	Total		6727.50

Además a este trabajo se suma el valor del análisis de costos del trabajo realizado por (Oñate & Valdés, 2015) en la sección 4.5., el valor de USD 975.60. De este modo el proyecto alcanza a un monto total de USD 11092.90.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se desarrolló de forma exitosa la construcción de un robot humanoide de 21 grados de libertad, de material ABS, cumpliendo con los objetivos planteados al inicio del proyecto.
- Se realizó el diseño en el software SolidWorks, también dentro de este software se desarrolló el análisis de esfuerzos, así como también se comprobó el factor de seguridad.
- Se obtuvo un robot humanoide con medidas antropométricas similares a las de una persona adulta.
- El robot humanoide consta de los siguientes movimientos similares al del cuerpo humano que puede realizar: movilidad de los dedos en puño abierto y cerrado, giro de las muñecas, flexión y extensión de codos, aducción y abducción de los hombros, rotación de los hombros, flexión y extensión de hombros, rotación del cuello y extensión y contracción del cuello. Teniendo así un robot humanoide capaz de ejecutar movimientos básicos, siendo este útil para aplicaciones que no conlleven un alto grado de dificultad.
- El campo de operación de los dedos del robot humanoide es de 0° a 84° , la cual conlleva un error de 6° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 90° .
- El campo de operación en el giro de la muñeca es de 0° a 63° , la cual conlleva un error de 3° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 60° .
- El campo de operación de la flexión – extensión de codo es de 0° a 55° , la cual conlleva un error de 5° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 60° .

- El campo de operación en la rotación interna – externa del brazo es de 0° a 86° , la cual conlleva un error de 4° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 90° .
- El campo de operación en la flexión – extensión del brazo es de 0° a 115° , la cual conlleva un error de 5° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 120° .
- El campo de operación en la aducción – abducción del brazo es de 0° a 48° , la cual conlleva un error de 2° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 50° .
- El campo de operación en la extensión – contracción del cuello es de 0° a 38° , la cual conlleva un error de 2° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 40° .
- El campo de operación en la rotación del cuello es de 0° a 100° , la cual conlleva un error de 10° , ya que el campo de operación de diseño fue de 0° a 110° .
- El error que se obtuvo de los campos de operación diseñados, a los campos de operación medidos fue de un promedio de 5.83%. debido a que no existen trabajos similares al de un humanoide dentro del país, queda planteado el valor de error para próximos trabajos.
- Se desarrolló el cálculo del troque necesario para cada uno de los movimientos que el robot humanoide puede realizar.
- Se realizó en cálculo del factor de seguridad del hombro, debido a que éste ejerce mayor torque, teniendo un resultado de 101, el cual es muy alto debido a que el torque es para movimientos sin manipulación de algún objeto o cargas externas, además se debe que dicha parte analizada es gruesa, de 1 centímetro, debido que en ésta se atornillará a la base metálica de todo el robot humanoide.
- El tiempo empleado en la ejecución de movimientos de señas simples, intermedias y complejas fueron de: 7.7, 13.3 y 22.2 segundos respectivamente, son considerados por los profesores de la Unidad

Educativa Especializada Cotopaxi buenos y semejantes a los de un intérprete real.

- El robot humanoide se construyó de material ABS, debido a que sus características y propiedades físicas tienen valores muy considerables, principalmente su esfuerzo máximo de 20.40 MPa., siendo este valor mayor al esfuerzo máximo existente en el robot humanoide, que es de 0.40MPa, de este modo dicho material soporta los movimientos del robot.
- El proceso de manufactura, se realizó en el laboratorio de CNC de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, mediante la manufactura aditiva (impresora 3D), aprovechando sus facilidades y beneficios como son: resolución del 0.01 pulg, es decir un acabado de alta calidad, el equipo es semi industrial, y su área de trabajo es de 8x8x12 pulg.
- Para la construcción del robot humanoide se empleó aproximadamente 9 cartuchos de material de modelado y 2 de material de soporte.
- Para un mejor funcionamiento de los dedos, se utiliza cables de nylon, de este modo se garantiza que no se rompan dichos cables debido a una fuerza excesiva del servomotor.
- Este trabajo es el complemento del proyecto realizado de (Oñate & Valdés, 2015), quienes le añadirán el sistema de control, e implementaran la aplicación de un intérprete de lengua de señas.

5.2. Recomendaciones

- Para un mejor desenvolvimiento en el diseño, el software SolidWorks responde a todas las necesidades para el desarrollo de este trabajo sin ningún inconveniente.
- La apariencia del robot humanoide se asemeja mucho mejor al del cuerpo humano, cuando se toma en cuenta las medidas antropométricas estandarizadas al momento de realizar el diseño.
- Para tener una mejor apariencia del robot humanoide se debe darle más movimientos que se asemejen a los del cuerpo humano, en especial en el rostro como el movimiento a la mandíbula y de los ojos.
- Si se requiere tener una amplia movilidad el robot humanoide, se debe tomar en cuenta los distintos tipos de movimientos del ser humano, de este modo plasmarlos en el robot humanoide para que los simule.
- En el cálculo de los torques necesarios para ejecutar los movimientos, se debe tomar en cuenta el peso de la extremidad, ya que éste va ser la fuerza que debe vencer para que exista movimiento, de tal forma este torque será el mínimo.
- Para garantizar que el material ABS soporte los esfuerzos a los que van a someter en el funcionamiento del robot humanoide, se debe desarrollar un análisis de esfuerzos y aplicar teorías de diseño, y el factor de diseño.
- Para algún trabajo similar a futuro, se recomienda tomar en cuenta el material ABS como el material idóneo de construcción, debido a sus amplias características y facilidades.
- La utilización de la impresora 3D DIMENSION STRATASYS, existente en el laboratorio CNC de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, es una importante herramienta con tecnología avanzada, dado el caso de poder accederla se recomienda utilizarla ya que es un recurso sumamente confiable.

- Ampliar los campos de operación para una mejor manipulación y alcance de sus extremidades del robot humanoide, esto dependerá de las aplicaciones a las que se desee realizar en futuros trabajos.
- Se utiliza cables de nylon de 1 mm de diámetro, debido que éste no va a romperse cuando exista fuerza excesiva para realizar el movimiento de los dedos.
- Se debe realizar mantenimiento una vez por trimestre, colocando grasa en todos sus elementos de movimiento, como son tornillo de potencia, tornillo sinfín, con el motivo de reducir su fricción y así los servomotores disminuyan su consumo de corriente.
- Cuando se retire las piezas de la impresora, se debe realizar un chequeo de la calidad, y si amerita lijar levemente la superficie para que en el ensamble no encaje con demasiada presión o quede ajustada en algunos lugares que no sea conveniente, evitando así exceder los esfuerzos en los movimientos.
- Realizar el ensamblaje con tornillos y tuercas, de este modo cuando en caso de ruptura de algún componente, éste sea fácil reemplazarlo del robot humanoide.

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, J., Romero , S., & Angulo , I. (2005). *Introducción a la Robótica*. Madrid: Thomson. Recuperado el 15 de 12 de 2014
- Barrientos, A., Peñín , L., Balaguer, C., & Aracil , R. (2007). *Fundamentos de Robótica* (Segunda ed.). Madrid: McGRAW-Hill. Recuperado el 18 de 11 de 2014
- Cortes, F. R. (2011). *Robotica. Control de los Robots Manipuladores*. Mexico, D.F.: Alfaomega. Recuperado el 12 de 02 de 2015
- Cotopaxi, U. E. (15 de septiembre de 2014). Base de datos de alumnos matriculados para el periodo electivo 2014 2015. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador. Recuperado el 17 de 11 de 2014
- Flores, M. (2008). Robots Humanoides. *Revistas Bolivarianas*, 147-149. Recuperado el 12 de 02 de 2015
- Molina, P., Martí, S., & Pastor, Ó. (2002). Prototipado rápido de interfaces de usuario. *Proceedings of the V Workshop Iberoamericano de Ingeniería de Ambientes Software*, (pág. 14). Recuperado el 28 de 03 de 2015
- Monzón, M., & Fernández, Á. (2008). *Guía de Tecnologías de Rapid Manufacturing*. España: Documenta Universitaria. Recuperado el 20 de 03 de 2015
- Mott, R. (2006). *Diseño de elemtos de maquinas*. mexico: pearson educacion. Recuperado el 10 de 02 de 2015
- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos*. Mexico, D.F.: McGraw-Hill. Recuperado el 03 de 08 de 2015
- Oñate, M., & Valdés, V. (2015). "Diseño e implementación del sistema de control del torso de un intérprete humanoide de múltiple grados de libertad para la enseñanza del lenguaje de señas básica para niños con discapacidad auditiva en la unidad educativa especialidad Cotopaxi". Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Latacunga: En proceso de publicación.
- Sánchez, C., & Cortés, C. (2006). Rapid casting y nuevas tecnologías en el proceso de microfundición. *Ingeniería e Investigación*, 10. Recuperado el 15 de 03 de 2015

LINKOGRAFÍA

- Acero, J. (08 de 02 de 2013). *G-SE*. Recuperado el 14 de 11 de 2014, de <http://g-se.com/es/biomecanica/wiki/locomocion-humana>
- Acuña, F., Rivas , D., Chancusi , S., & Navarrete , P. (Abril de 2014). *Diseño y Construcción de una Impresora 3D Autoreplicable Controlada Inalámbicamente para el prototipado de piezas plásticas*. Recuperado el 22 de 03 de 2015, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8173/1/AC-ESPEL-MEC-0019.pdf>
- Aguilar, J. L. (24 de 05 de 2008). *Discapacidad Auditiva*. Recuperado el 10 de 02 de 2015, de http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~14001657/IMG/pdf/7-_DISCAPACIDAD_AUDITIVA.pdf
- Castro, C. A. (24 de 05 de 2013). *Teoria De Falla Bajo Cargas Esteticas*. Recuperado el 23 de 06 de 2015, de <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf>
- Copasa. (06 de Septiembre de 2012). *Lenguaje de señas*. Recuperado el 22 de 01 de 2015, de <http://www.icarito.cl/enciclopedia/articulo/primer-ciclo-basico/lenguaje-y-comunicacion/comunicacion-oral/2010/04/50-8762-9-lenguaje-de-senas.shtml>
- Desarrollo, S. N. (8 de 10 de 2013). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Recuperado el 25 de 10 de 2014, de Objetivo 2: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-2.-auspiciar-la-igualdad-la-cohesion-la-inclusion-y-la-equidad-social-y-territorial-en-la-diversidad>
- Dixon, R. (02 de Enero de 2012). *ehow*. Recuperado el 17 de 11 de 2014, de http://www.ehowenespanol.com/cuerpo-humano-partes-y-funciones-sobre_42168/
- Espinosa, P. (11 de junio de 2013). *Slideshare*. Recuperado el 28 de 10 de 2014, de <http://es.slideshare.net/pedroespinosa106/52756563-angulosyarcosdemovimiento>

- Frater Aguilar. (Abril de 2013). *Dimension 3D printer*. Obtenido de http://www.frateraguilar.com/CAT_DIMENSION.pdf
- González, A. (21 de Octubre de 2013). *La sorprendente revolución de los robots humanoides*. Recuperado el 25 de 01 de 2015, de <http://www.dw.de/la-sorprendente-revoluci%C3%B3n-de-los-robots-humanoides/a-17131824>
- Mariano. (8 de Junio de 2011). *Blogspot*. Recuperado el 23 de 10 de 2014, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html>
- Melo, J. L. (2011). Recuperado el 05 de 11 de 2014, de http://www.fiso-web.org/files/Antropometria_Lic.%20Melo.pdf
- Méndez, Á. (22 de Febrero de 2011). *Química*. Recuperado el 25 de 10 de 2014, de <http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno>
- Mibienestar. (05 de octubre de 2011). *Mi Bienestar salud*. Recuperado el 09 de 12 de 2014, de <http://www.mibienestar.es/salud/2-general/2-biomecanica.html>
- Pillou, J. (28 de Agosto de 2013). *Kioskea*. Recuperado el 28 de 11 de 2014, de <http://salud.kioskea.net/faq/12554-anatomia-humana-definicion>
- Planificacion, C. N. (24 de junio de 2013). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Recuperado el 5 de 12 de 2014, de <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>
- Sensos, I. N. (15 de Septiembre de 2011). *Ecuador Ama la vida*. Recuperado el 20 de 02 de 2015, de http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/17_POBLA_PROV_CANT_PARR_DISCAPACIDAD.xls
- SICNOVA3D. (6 de Mayo de 2012). *Plataforma Virtual Tecnología 3D*. Recuperado el 25 de 02 de 2015, de <http://sicnova3d.com/impresoras-3d/extrusi%C3%B3n/cubex-single>
- Telegrafo, E. (29 de Septiembre de 2011). *El Telegrafo*. Recuperado el 12 de 01 de 2015, de <http://telegrafo.com.ec/sociedad/item/ecuador-y-cuba-firman-convenio-para-reducir-discapacidad-auditiva-y-de-lenguaje.html>

- UAL, A. d. (08 de Enero de 2013). *Algo más sobre Anatomía*. Recuperado el 16 de 12 de 2014, de <http://algomassobreanatomia.blogspot.com/2013/01/movimientos-del-cuerpo-humano.html>
- Valero, E. (2011). *ANTROPOMETRÍA*. Recuperado el 4 de 11 de 2014, de <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno%20del%20puesto/DTEAntropometriaDP.pdf>
- Vega, M. d. (21 de Noviembre de 2011). *El Cuerpo Humano*. Recuperado el 23 de 11 de 2014, de <http://anatomia-cuerpo-humano.blogspot.com/2011/11/las-articulaciones-moviles-o-diartrosis.html>

ANEXOS

ANEXO A: Planos de la mano

ANEXO B: Planos de la muñeca

ANEXO C: Planos del antebrazo

ANEXO D: Planos del brazo

ANEXO E: Planos del hombro

ANEXO F: Planos del cuello

ANEXO G: Ensamblaje de la cabeza

ANEXO H: Ensamblaje del torso

ANEXO I: Características de los materiales del mercado

ANEXO J: Propiedades de los materiales del mercado

ANEXO K: Impresión de las piezas del robot humanoide

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado el señor Milton Vladimir Bustillos Pérez bajo nuestra supervisión.

Ing. Fausto Acuña
DIRECTOR

Ing. Marco Singaña
CODIRECTOR

APROBADO POR:

Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DE LA CARRERA

CERTIFICADO POR:

Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADÉMICO
UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO