



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACION, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: ANÁLISIS DE LOS GRADOS DE LIBERTAD  
NECESARIOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE  
UN INTERPRETE HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO  
DE LA MOTRICIDAD GRUESA EN NIÑOS CON  
CAPACIDADES ESPECIALES EN LA UNIDAD EDUCATIVA  
ESPECIALIZADA COTOPAXI.**

**AUTORES: ALBA ESTEFANÍA PILATASIG ZAMBRANO  
GUIDO SANTIAGO NÚÑEZ VILLACÍS**

**DIRECTOR: ING. FAUSTO VINICIO ACUÑA C.**

**LATACUNGA**

**2016**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS DE LOS GRADOS DE LIBERTAD NECESARIOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INTERPRETE HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOTRICIDAD GRUESA EN NIÑOS CON CAPACIDADES ESPECIALES EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI”** realizado por los señores **Alba Estefanía Pilatasig Zambrano** y **Guido Santiago Núñez Villacís**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **Alba Estefanía Pilatasig Zambrano** y **Guido Santiago Núñez Villacís** para que lo sustenten públicamente.

**Latacunga, agosto del 2016**

Atentamente,

Ing. Fausto Acuña.  
DIRECTOR



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Alba Estefanía Pilatasig Zambrano**, con cédula de identidad N° **0503793606** y **Guido Santiago Núñez Villacís**, con cédula de identidad N° **1804485991**, declaramos que este trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LOS GRADOS DE LIBERTAD NECESARIOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INTERPRETE HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOTRICIDAD GRUESA EN NIÑOS CON CAPACIDADES ESPECIALES EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, agosto del 2016**

Alba Estefanía Pilatasig Zambrano

C.C.: 0503793606

Guido Santiago Núñez Villacís

C.C.: 1804485991



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Alba Estefanía Pilatasig Zambrano** y **Guido Santiago Núñez Villacís**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LOS GRADOS DE LIBERTAD NECESARIOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INTERPRETE HUMANOIDE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MOTRICIDAD GRUESA EN NIÑOS CON CAPACIDADES ESPECIALES EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

**Latacunga, agosto del 2016**

Alba Estefanía Pilatasig Zambrano

C.C.: 0503793606

Guido Santiago Núñez Villacís

C.C.: 1804485991

## DEDICATORIA

*Dedico este logro a Dios, por darme la vida, la sabiduría para enfrentar lo bueno y lo malo del diario vivir y poner en mi camino a una persona valiosa que me ha enseñado a ser mejor persona y con la que viví experiencias únicas.*

*A mis padres José y Katty, por formarme con valores, principios y siempre brindarme su apoyo incondicional en todo lo que me he propuesto.*

*A mis hermanas Pame y Anabel, por la paciencia brindada, por acompañarme en cada locura y darme ánimos cuando siento decaer.*

*A mi abuelita, tíos y primos por enseñarme el significado de la unión familiar y del esfuerzo por salir adelante con honestidad, dedicación, respeto y sobre todo humildad.*

*A mi ángel por demostrarme como luchar y no rendirse ante cualquier adversidad, por guiarme desde el cielo y protegerme en cada una de mis locuras.*

*A mis segundos padres Mercedes y Pedro por el amor brindado y por enseñarme el valor del esfuerzo y humildad.*

*A mis hermanos Marco y Pablo por apoyarme de forma incondicional, por brindarme sus conocimientos, consejos, experiencias y sobre todo por su cariño sincero.*

*A mis amigos por regalarme la mejor experiencia de mi vida en esta etapa universitaria, por enseñarme el significado de una verdadera amistad, por todas las locuras, alegrías, tristezas y sobre todo la gran paciencia brindada.*

*Finalmente quiero agradecer a mi mejor amigo Santi, por el tiempo compartido en donde aprendimos lo bueno y lo malo de la vida universitaria y de una verdadera amistad, y porque sin él la culminación de este proyecto no habría sido posible, LO LOGRAMOS.*

*Albita.*

*En primer lugar dedico este trabajo a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para terminar de forma exitosa mi formación como profesional.*

*A mis padres Guido Núñez y Nelly Villacís, quienes trabajan día y noche por darnos la mejor educación a mí y mis hermanas, gracias por todas las enseñanzas los principios el cariño y sobre todo por enseñarme el valor del respeto, sin mis padres nada de esto sería posible ya que en ellos veo el ejemplo de lucha y trabajo duro para conseguir cada una de las metas que me propongo, hoy no solo terminaron de formar profesionales sino formaron seres humanos de bien con sus ideales bien forjados y corazones llenos de bondad, gracias por cada una de las sonrisas de las lágrimas gracias también por reprenderme en el momento adecuado y corregir cada uno de mis errores y evitar que tome el camino equivocado, de hecho el mejor acto de amor que me demostraron fue corregirme a tiempo de los errores que estaba cometiendo, siempre se los voy a agradecer mis amados Padres.*

*A mis hermosas hermanas Mary, Lore, Pao por brindarme su apoyo en cada momento de mi vida, por compartirme sus conocimientos y aconsejarme de forma sabia, por su ayuda en los momentos más críticos de mis estudios, gracias por regalarme su cariño, por demostrarme que con trabajo, dedicación y constancia todas las metas se pueden alcanzar, en especial para mi hermana Lore ya que tú me demuestras que los sueños no son imposibles de lograr.*

*A mi cuñado Cristian Velasco quien de una u otra forma me brindo su ayuda cuando la necesitaba, gracias por los consejos, a mi sobrinito Hernán Benjamín quien llevo a alegrar la vida de toda la familia.*

*A mis abuelos, tíos, primos gracias ya que cada uno de ustedes siempre me demostraron su cariño y me miraron crecer, cuando los necesitaba nunca me dieron la espalda.*

*A cada uno de mis profesores quienes impartieron sus conocimientos y sabiduría para llegar a lograr esta meta, gracias por enseñarme que lo fácil nunca es suficiente.*

*A todos mis amigos quienes me brindan su amistad sincera a cada uno de ellos que dejaron una huella en mi vida y de forma especial a Paúl Aimacaña, Dennis Montero por regalarme una verdadera amistad, a mi mejor amiga y compañera de tesis Alba Pilatasig gracias por tantos años de amistad, les agradezco muchachos por todos los momentos inolvidables vividos, ¡ya somos Ingenieros!.*

*Santiago.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a Dios por brindarnos la oportunidad de culminar con éxito esta etapa de nuestras vidas, a nuestros padres por depositar la confianza en nosotros y siempre brindarnos su apoyo en las metas que nos planteamos, a nuestro tutor Ing. Fausto Acuña por guiarnos, por la paciencia y el tiempo prestado en el desarrollo del presente proyecto, a todos nuestros profesores que en esta etapa de formación compartieron sus conocimientos y experiencia con el fin de formar excelentes profesionales y seres humanos, a nuestros amigos con los que compartimos momentos amenos, en especial a Dennis y Paúl por brindarnos una amistad sincera y su apoyo en buenos y malos momentos.*

*Santi y Albita.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA.....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xix</b>

### CAPÍTULO I

<b>ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Estudio de intérpretes humanoides para mejorar la motricidad gruesa .....	2
1.3. Motricidad Gruesa.....	10
1.4. Importancia del Movimiento y Motricidad .....	10
1.5. Discapacidad Motriz.....	11
1.5.1. Definición.....	11
1.6. Ejercicios para desarrollar la motricidad gruesa .....	11
1.7. Estructura superior del cuerpo humano.....	12
1.7.1. Definición.....	12
1.7.2. Sistema Óseo .....	13
1.7.3. Extremidades Superiores .....	13
1.8. Movimientos articulares.....	14
1.8.1. Tipos de movimientos articulares. ....	14
1.8.2. Rango de movilidad de las articulaciones.....	16
1.9. Medidas antropométricas del cuerpo humano .....	17
1.10. Alternativas de solución.....	19

## **CAPÍTULO II**

<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS .....</b>	<b>21</b>
2.1. Diseño por calidad .....	21
2.1.1.Requisitos del usuario.....	21
2.1.2.Requisitos técnicos .....	22
2.2. Selección de componentes .....	22
2.2.1.Selección del material .....	22
2.2.2.Selección del método de manufactura .....	24
2.2.3.Selección de los motores.....	25
2.2.4.Selección de la tarjeta controladora. ....	26
2.2.5.Selección de la Interfaz gráfica. ....	27
2.3. Validación del sistema mecánico .....	29
2.3.1.Resultados evaluados mediante el software SolidWorks.....	35
2.3.2.Optimización del material .....	37
2.3.3.Cálculos en el hombro .....	38
2.3.4.Cálculos en el antebrazo. ....	47
2.3.5.Cálculo de la muñeca.....	49
2.4. Diseño y selección del sistema electrónico .....	51
2.4.1.Requisitos del diseño .....	52
2.4.2.Movimientos de la muñeca.....	52
2.4.3.Movimientos del Antebrazo. ....	53
2.4.4.Movimientos del hombro.....	54
2.4.5.Selección de Servomotores.....	56
2.4.6.Selección de la fuente de energía .....	57
2.4.7.Modos de control .....	59
2.4.8.Diseño de la interfaz gráfica .....	59

## **CAPÍTULO III**

<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>62</b>
3.1. Proceso de Impresión.....	62
3.2. Tiempo y material utilizado en la impresión .....	66
3.3. Proceso de ensamblaje .....	66
3.3.1.Ensamblaje de la muñeca .....	67
3.3.2.Ensamblaje del antebrazo. ....	67

3.3.3.Ensamblaje del bíceps .....	68
3.3.4.Ensamblaje del hombro .....	69
3.3.5.Ensamblaje del torso.....	69
3.3.6.Ensamblaje completo de las extremidades superiores. ....	70
3.3.7.Ensamblaje final .....	71
3.4. Implementación del sistema de control.....	71
3.5. Construcción de placas electrónicas.....	72
3.6. Implementación del HMI.....	73
3.7. Recubrimiento del humanoide .....	74

## **CAPÍTULO IV**

<b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
4.1. Rango de movimiento de cada articulación .....	75
4.1.1.Rotación de la Muñeca .....	75
4.1.2.Flexión – Extensión del Antebrazo .....	76
4.1.3.Flexión – Extensión del Hombro .....	76
4.1.4.Abducción - Aducción del Hombro .....	77
4.1.5.Rotación del Hombro .....	77
4.2. Medición de tiempos en ejecutar cada movimiento.....	78
4.3. Cálculo del error en la ejecución de los movimientos .....	79
4.4. Cálculo de la muestra de alumnos .....	81
4.5. Prueba realizada a niños con capacidades especiales .....	82
4.6. Resultados obtenidos .....	89
4.7. Validación de la Hipótesis .....	90
4.8. Análisis de costos .....	93

## **CAPÍTULO V**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>
5.1. Conclusiones .....	95
5.2. Recomendaciones .....	97

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
--	-----------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>101</b>
---------------------	------------

Anexo A: Esfuerzo flexionante admisible, aproximado en engranes de plástico

Anexo B: Parámetros normalizados para una rosca métrica

Anexo C: Datos de fatiga para los plásticos

Anexo D: Factor de Forma de diente de Lewis

Anexo E: Factor de seguridad permisible

Anexo F: Fórmulas para características de dientes de engranes

Anexo G: Dimensiones típicas de los dientes en sin fines y corona

Anexo H: Valores tabulados para el Chi – Cuadrado

Anexo I: Datasheet servomotor GS – 9025MG

Anexo J: Datasheet servomotor HD – 1501 – MG

Anexo K: Programación en Arduino

Anexo L: Planos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño completo y vista detallada .....	3
Figura 2. Vista de GDL .....	3
Figura 3. Diseño del brazo .....	4
Figura 4. Articulaciones y ensamblajes .....	5
Figura 5. Diseño redondeado .....	5
Figura 6. Diseño a tamaño natural .....	6
Figura 7. Resultado final .....	6
Figura 8. Diseño de las extremidades superiores .....	7
Figura 9. Ensamblaje completo .....	7
Figura 10. GDL del brazo .....	8
Figura 11. Articulaciones y    Figura 12. Producto final .....	9
Figura 13. Estructura final .....	10
Figura 14. Movimientos diarios infantiles .....	11
Figura 15. Juegos Recreacionales .....	11
Figura 16. Estructura Interna del brazo .....	13
Figura 17. Movimientos Articulares .....	14
Figura 18. Distancias del cuerpo humano en posición parada .....	18
Figura 19. Volumen del robot .....	23
Figura 20. Tarjeta Arduino .....	27
Figura 21. Interfaz Gráfica TFT .....	28
Figura 22. Soporte Servomotores .....	29
Figura 23. Diagrama de cuerpo libre .....	29
Figura 24. Datasheet servomotor .....	30
Figura 25. Masa de la viga .....	30
Figura 26. Diagrama de fuerzas y momentos.....	32
Figura 27. Valor de la inercia.....	32
Figura 28. Análisis estático.....	36
Figura 29. FDS .....	37
Figura 30. Valor de la densidad y FDS.....	38
Figura 31. Diagrama de fuerzas del hombro .....	38
Figura 32. Parámetros para una Rosca métrica.....	41
Figura 33. Distancia del brazo.....	46

Figura 34. Diagrama de fuerzas del antebrazo .....	48
Figura 35. Diseño de la muñeca.....	50
Figura 36. Rotación de la muñeca.....	53
Figura 37. Diseño electrónico de la muñeca .....	53
Figura 38. Movimiento del antebrazo .....	54
Figura 39. Abducción, rotación, flexión. ....	55
Figura 40. Diseño electrónico del hombro .....	56
Figura 41. Activación de secuencia abducción y rotación externa del hombro .....	59
Figura 42. Pantalla de inicio del proyecto.....	60
Figura 43. Ventana de accionamiento de movimientos.....	61
Figura 44. Extensión a guardar el archivo .....	62
Figura 45. Impresora lista para trabajar .....	63
Figura 46. Presentación del software Catalyst .....	63
Figura 47. Cargar el archivo STL .....	64
Figura 48. Configuración de las propiedades .....	64
Figura 49. Pantalla de orientación de la pieza.....	65
Figura 50. Añadir la pieza al paquete de impresión .....	65
Figura 51. Recursos necesarios.....	66
Figura 52. Diseño de la muñeca.....	67
Figura 53. Construcción final de la muñeca .....	67
Figura 54. Diseño y ensamblaje del antebrazo .....	67
Figura 55. Construcción final del antebrazo .....	68
Figura 56. Diseño y ensamblaje del Bíceps .....	68
Figura 57. Construcción final del Bíceps .....	68
Figura 58. Diseño y ensamblaje del hombro .....	69
Figura 59. Construcción final del hombro .....	69
Figura 60. Diseño y ensamblaje del torso .....	70
Figura 61. Construcción final del torso .....	70
Figura 62. Ensamblaje de las extremidades superiores.....	71
Figura 63. Ensamblaje final del intérprete humanoide .....	71
Figura 64. Conexión para el control del servomotor.....	72
Figura 65. Diseño de la placa de alimentación y control .....	73
Figura 66. Placa de control finalizada .....	73

Figura 67. LCD TFT touch screen .....	74
Figura 68. Recubrimiento final del intérprete.....	75
Figura 69. Ángulo de desplazamiento de la muñeca.....	76
Figura 70. Posición inicial y final del antebrazo.....	76
Figura 71. Flexión- extensión del hombro .....	77
Figura 72. Ángulo generado en abducción-aducción del hombro .....	77
Figura 73. Rotación del hombro .....	78
Figura 74. Tiempos promedio de ejecución.....	79
Figura 75. Porcentaje de error en movimientos.....	81
Figura 76. Instrucciones generales del docente .....	82
Figura 77. Comparación de porcentajes obtenidos .....	88
Figura 78. Tiempo de atención prestada en una clase impartida.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de movimientos en extremidades superiores.....	15
Tabla 2. Rangos de movilidad de articulaciones .....	16
Tabla 3. Dimensiones principales según la norma DIN 33.402 en posición parada .....	18
Tabla 4. Densidad de distintos materiales.....	23
Tabla 5. Método de manufactura.....	25
Tabla 6. Características de la tarjeta Arduino.....	27
Tabla 7. Características técnicas de TFT .....	29
Tabla 8. Esfuerzo de diseño basado en las resistencias.....	34
Tabla 9. Criterios para calcular el esfuerzo de diseño.....	34
Tabla 10.Comparación resultados reales y de diseño.....	37
Tabla 11.Características de movimiento. ....	54
Tabla 12.Características de movimiento del hombro .....	55
Tabla 13.Servomotores de bajo torque .....	56
Tabla 14.Servomotores de alto torque .....	57
Tabla 15.Consumo de corriente .....	58
Tabla 16.Fuentes de alimentación. ....	58
Tabla 17.Horas y material utilizados en el proceso de impresión.....	66
Tabla 18.Tiempos de ejecución de movimientos.....	78
Tabla19.Grados que intervienen en los movimientos de cada articulación .....	79
Tabla 20.Pruebas realizada con los niños.....	83
Tabla 21.Evaluación de la rotación de la muñeca. ....	84
Tabla 22.Evaluación de la flexión-extensión antebrazo .....	84
Tabla 23.Evaluación de Flexión-Extensión del hombro.....	85
Tabla 24.Evaluación abducción-aducción del hombro .....	85
Tabla 25.Evaluación de rotación del hombro .....	87
Tabla 26.Resumen de la evaluación a Estudiantes.....	87
Tabla 27.Porcentajes de evaluación. ....	88
Tabla 28.Datos obtenidos de la frecuencia observada.....	91



Tabla 29.Resultados del cálculo de la frecuencia esperada. ....	91
Tabla 30.Resultados del Chi - Cuadrado .....	92
Tabla 31.Detalle de costos .....	93

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un intérprete humanoide para el mejoramiento de la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, para lo cual se llevó a cabo investigaciones acerca de los parámetros que influyen en el mejoramiento de la motricidad gruesa, además de los requerimientos técnicos para el desarrollo del intérprete humanoide como son el sistema mecánico, el cual fue desarrollado mediante impresión 3D con material ABS y recubierto por un maniquí para mejorar su presentación y brindar seguridad al sistema; y de control compuesto por una tarjeta Arduino que ordenará cada uno de los movimientos de los servomotores enviados por el docente a través de un HMI diseñado en una pantalla táctil LCD donde se presenta los movimientos capaces de realizar el intérprete.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **INTÉRPRETE HUMANOIDE**
- **MOTRICIDAD GRUESA**
- **TARJETA ARDUINO**
- **SERVOMOTOR**

## **ABSTRACT**

This work aims to implement a humanoid interpreter to improve gross motor skills in children with special needs in the Education Unit Specialized Cotopaxi, for which conducted research on the parameters influencing improving thick, in addition to the technical requirements for the development of humanoid interpreted as motor skills are the mechanical system, which was developed by 3D printing material ABS and covered by a dummy to improve their presentation and provide security to the system; and comprising a control card Arduino order each of the movements of the servomotors sent by the teacher through an HMI designed on a touch screen LCD where movements capable of performing the interpreter is presented.

### **KEYWORDS:**

- **INTERPRETER HUMANOIDE**
- **GROSS MOTRICITY**
- **CARD ARDUINO**
- **SERVOMOTOR**

## CAPÍTULO I

### ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Introducción

La motricidad gruesa se define como las actividades y los diferentes movimientos motrices que los niños empiezan a realizar con grandes grupos musculares que pertenecen a las extremidades inferiores, las extremidades superiores junto con los movimientos de la cabeza. Un niño al nacer posee movimientos involuntarios e inconscientes, a medida que van creciendo estos movimientos van convirtiéndose en intencionados, el desarrollo y la capacidad de controlar estos movimientos del cuerpo permite al niño un desenvolvimiento adecuado en el entorno. (Guanonchaca, 2013)

Los niños con capacidades especiales tienen dificultades para realizar tareas establecidas por docentes encargados ya sea por falta de atención o porque no pueden asimilar de manera rápida las enseñanzas impartidas, se ha comprobado que los niños se relacionan mejor con robots humanoides por lo que el presente proyecto muestra el diseño e implementación de un humanoide para el mejoramiento de la motricidad gruesa en los niños de la Unidad Educativa Cotopaxi, el cual tiene como objetivo el contribuir a una mejor comunicación con el resto de personas además de la motivación para mejorar su aprendizaje mostrando mayor interés en aprender los movimientos y contribuyendo a la vez con su recuperación.

En la actualidad el realizar un análisis profundo acerca de los requerimientos de movilidad que interfiere de manera directa en el diseño e implementación de equipos sofisticados representa una necesidad para alcanzar un sistema tecnológico idóneo que permita la interacción y contribuya con el mejoramiento de la motricidad gruesa en los niños con capacidades especiales en la zona 3 de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, la falta de este tipo de sistemas limita una dinámica tecnológica para el desarrollo intelectual y físico futuro.

## **1.2. Estudio de intérpretes humanoides para mejorar la motricidad gruesa**

Un robot humanoide es un robot diseñado para asimilar el cuerpo y los movimientos de un ser humano. El diseño del humanoide puede tener fines funcionales, tales como la interacción con herramientas y entornos humanos, con fines experimentales, como el estudio de la locomoción bípeda, o para otros fines. En general, los robots humanoides tienen un torso, una cabeza, dos brazos y dos piernas, aunque algunas formas de robots humanoides pueden modelar sólo una parte del cuerpo, por ejemplo, de la cintura para arriba. Algunos robots humanoides pueden tener cabezas diseñadas para replicar los rasgos faciales humanos, tales como los ojos y la boca. (Stewart, 2009)

A continuación se describen algunos trabajos relacionados que posteriormente servirán de análisis para la selección de un diseño adecuado.

- **“Diseño de un Sistema Emulando el Movimiento Articulado de una Mano, Brazo y Antebrazo” Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Departamento de Ingeniería Mecatrónica. México. 2007**

Este documento presenta el diseño de un sistema robótico antropomórfico como se muestra en la figura 1, 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.

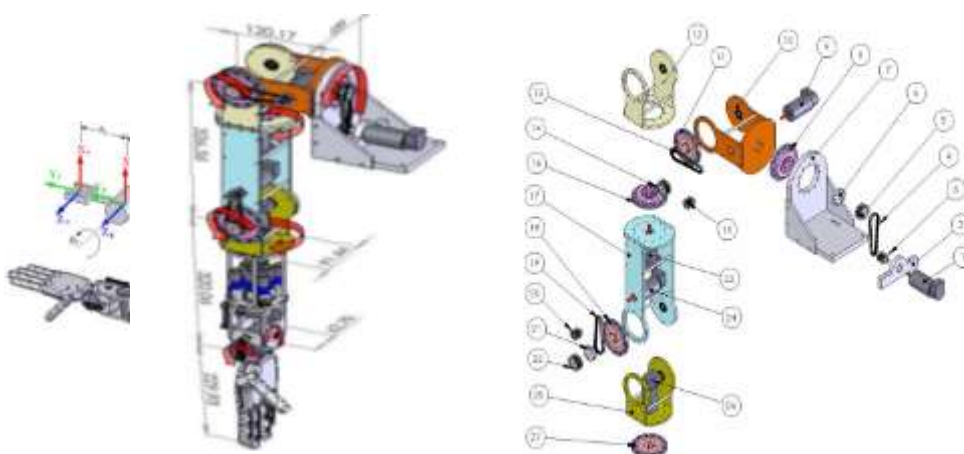
El brazo diseñado cuenta con 7 gdl de libertad, 3 para el hombro, 2 para el codo y 2 para la muñeca como se muestra en la figura 2. Estos gdl permiten que la movilidad y destreza del brazo sea muy parecida a la de un brazo humano.

El objetivo principal de este trabajo es que el diseño final del sistema robótico tenga movimientos muy similares a los humanos y que sea capaz de manipular 0.5kg en su efector final (mano antropomórfica).

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.

Al final de este proyecto se logró un resultado satisfactorio ya que el brazo antropomórfico tiene un funcionamiento similar al de un humano promedio lo cual contribuye a la investigación científica en torno a la robótica siendo apoyo para que los jóvenes estudiantes puedan comprender el funcionamiento de un brazo antropomórfico.

La figura 1 muestra además una vista detallada de los componentes que forman el ensamble del hombro y el antebrazo enumerando cada una de las partes por las cuales está formado.



**Figura 1. Diseño completo y vista detallada**

**Figura 2. Vista de GDL**

Fuente: (Mecatrónica, 2007)

- **“Metodología para el Desarrollo de un Manipulador Móvil Autónomo con Características Antropométricas”. Universidad Carlos III. España. 2011**

El objetivo de este proyecto es la construcción de un robot manipulador móvil antropomórfico de servicios avanzado capaz de operar en entornos típicamente diseñados para humanos como se puede observar en la figura

3, para lograr este objetivo la robustez, fiabilidad y seguridad han sido requisitos fundamentales para que el robot pueda desarrollar su tarea de forma adecuada en entornos compartidos con seres humanos, sin necesidad de modificar el espacio de trabajo.

Se ha llevado a cabo el diseño y construcción de un brazo manipulador de baja inercia que cuenta con 6gdl como se observa en la figura 4, pero con una capacidad de carga y alcance lo más parecido posible a los de un brazo humano.

Finalmente lograron que el peso del manipulador sea de aproximadamente 18 kg (incluyendo tornillería y cableado).

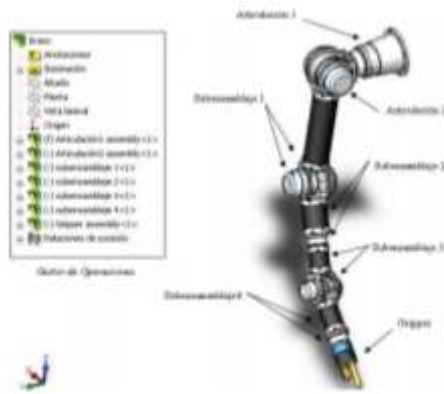
La carga máxima teórica que se impuso como requisito del diseño era de 6 Kg. Sin embargo, una vez construido el brazo observaron que la carga máxima que el manipulador podía aguantar para un correcto funcionamiento de la estructura era de 4.5 Kg.

De esta manera lograron disminuir el peso de la estructura muy por debajo de los manipuladores industriales comerciales.

En la etapa de diseño prestaron especial atención en eliminar cualquier arista en la estructura mecánica externa del manipulador con el objetivo de hacerla lo menos agresiva para el ser humano para ello se redondearon todas las terminaciones como se muestra en la figura 5.



**Figura 3. Diseño del brazo**



**Figura 4. Articulaciones y ensamblajes**



**Figura 5. Diseño redondeado**

Fuente: (Hassan, 2011)

- **“Mecatrónica bioinspirada de robots humanoides de tamaño natural”. Universidad Carlos III Madrid. España. 2009**

El objetivo principal fue la realización de un robot humanoide con una altura que ronde los 1.20 m como se observa en la figura 6, capaces de andar en cualquier dirección y con variación de alturas, manipular objetos ligeros de hasta 500gr en la punta del brazo y reconocer mediante una serie de sensores ubicados en la cabeza.

El problema que resolvieron fue, diseñar de forma eficiente esta clase de robots humanoides de tamaño natural, tomando como modelo las características del ser humano para que puedan realizar una gran variedad de tareas.

Funcionalmente observaron que el robot pesa 40Kg, que no es un peso excesivo. Tiene una capacidad de carga de 0.75 Kg en el efector final del tren superior y unas dimensiones de 1400mm, que son adecuadas para el medio doméstico.

Los principales resultados que lograron obtener son, los esfuerzos a los cuales se encuentran sometidas las articulaciones del robot al dar un paso completo y que deriva en una serie de mejoras o cambios en el diseño, para crear una versión mejorada del mismo.

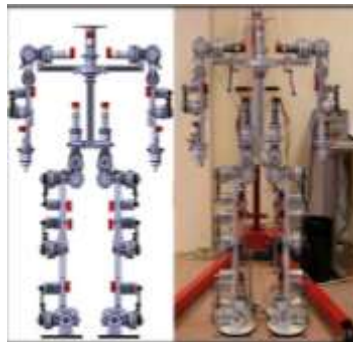


La poca experiencia con la que contaba el grupo en sus comienzos hizo que indudablemente se ocuparan factores de seguridad muy elevados.

Como resultado final obtuvieron un robot humanoide con varias falencias colectivas e individuales como por ejemplo el uso excesivo de poleas como se puede observar en la figura 7, pero sin embargo con un salto tecnológico notable para continuar con la investigación de robots humanoides y la locomoción bípeda.



**Figura 6. Diseño a tamaño natural**



**Figura 7. Resultado final**

Fuente: (Cabás Ormaechea, 2009)

- **“ROBOT HUMANOIDE CON 14 GDL” Instituto Politécnico Nacional. México. 2011**

El objetivo principal de este proyecto se enfoca en proponer un diseño mecánico y tener un primer prototipo para investigaciones posteriores en relación al tema de robots humanoides y locomoción bípeda.

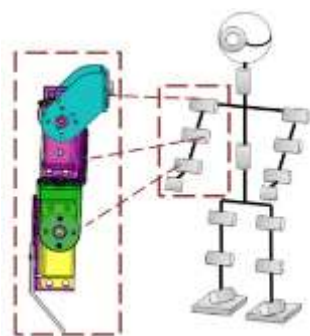
En este trabajo se presenta el diseño y construcción de la estructura mecánica de un robot bípedo humanoide conformado por 14 grados de libertad 3 de ellos en cada extremidad superior como se observa en la

figura8, conectada por articulaciones de tipo rotoide accionado por servomotores RC.

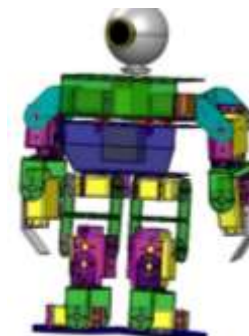
La propuesta de diseño de la estructura mecánica está realizada en Solidworks, tiene una altura de 28 cm y un peso de 7.6 Kg totales, el mecanismo del robot humanoide fue construido con piezas maquinadas en lámina de acero calibre 16 como se observa en la figura 9.

Al final de la realización de este proyecto se encontró desperfectos tales como la ubicación del centro de masa, lo cual influyó en los movimientos y locomoción del robot alterando su desplazamiento en las trayectorias trazadas.

Dentro de las posibles mejoras que se pueden realizar a este proyecto se encuentran la ubicación del centro de masa en la posición adecuada para evitar variaciones dentro de las trayectorias trazadas, además aumentar el ángulo de trabajo de las articulaciones las cuales están limitadas a  $60^\circ$ .



**Figura 8. Diseño de las extremidades superiores**



**Figura 9. Ensamblaje completo**

Fuente: (Hernández Torres, 2012)

- **“ANÁLISIS DE LOS ACCIONADORES DEL ROBOT HUMANOIDE RH-2”.Universidad Carlos III de Madrid. Alberto Navarro Criado. 2009. España.**

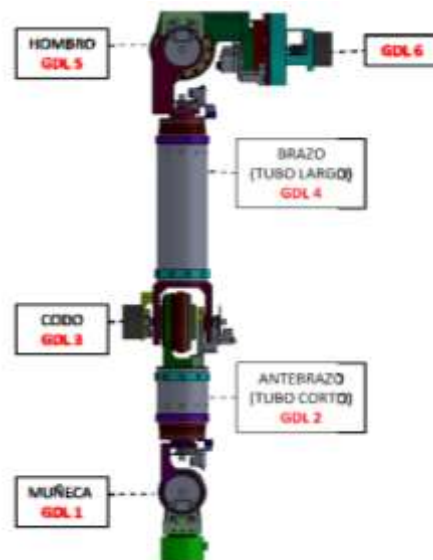
RH-2 es un robot antropomórfico con 21 grados de libertad de los cuales 6 se encuentran en cada extremidad superior como se observa en la figura 10 y 11, su estatura es la de una persona promedio es decir 1.50 m y su peso alrededor de los 50Kg, como muestra la figura 12. Los principales objetivos de la investigación están enfocados en la estabilidad del robot, la

caminata bípeda y otras actividades que están enfocadas en la interacción con el ser humano y la colaboración con el mismo.

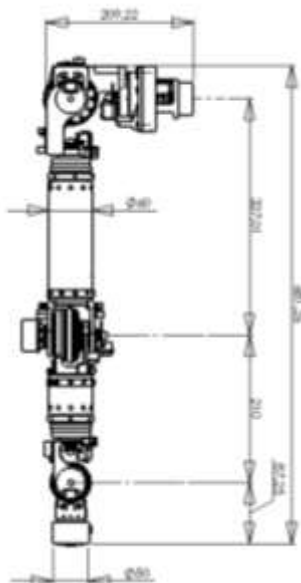
Una cuestión importante es que toda la plataforma de este humanoide está concebido bajo la premisa de poseer alta eficiencia en términos de robustez mecánica y un bajo consumo de energía.

Los problemas principales es la estructura mecánica de este prototipo ya que no era muy robusta y presentó limitaciones tales como la falta de flexibilidad de todo el cuerpo y la holgura conjunta. Haciendo referencia al diseño mecánico la estructura era de gran tamaño lo que implica el exceso de peso del prototipo, este aspecto trae repercusiones en la parte del control para la locomoción del humanoide haciendo más difícil la tarea de estabilidad al robot.

El propósito de este proyecto es la investigación sobre robots humanoides y la locomoción bípeda, actualmente el robot brinda sus servicios a los estudiantes de Ingeniería de la Universidad Carlos III de Madrid como punto de partida para desarrollar proyectos relacionados y la comprensión de la robótica o para crear una versión mejorada del presente robot como proyecto futuro.



**Figura 10. GDL del brazo**



**Figura 11. Articulaciones y medidas del brazo**



**Figura 12. Producto final**

Fuente: (Criado, 2009)

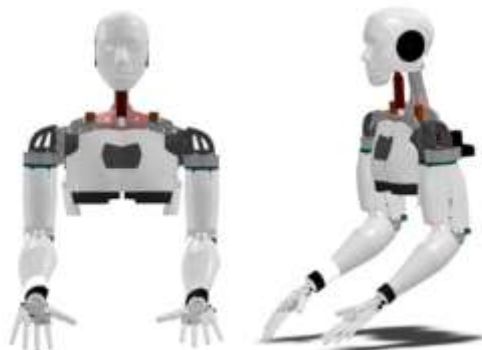
- **“Diseño y Construcción de la estructura del torso de un intérprete humanoide de múltiples grados de libertad para la enseñanza del lenguaje de señas básicas para niños con discapacidad auditiva en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi”. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L. Milton Vladimir Bustillos Pérez. 2015.**

Este documento presenta el diseño y construcción de la estructura de un robot humanoide de 22 grados de libertad distribuidos en las extremidades superiores y cabeza, está construido con material ABS mediante la utilización de impresión 3D como se observa en la figura 13.

El análisis realizado permite determinar el material idóneo para la realización de dicho robot humanoide tomando en cuenta diferentes parámetros que intervienen de forma directa con su realización.

Las medidas de las partes del robot humanoide se orienta en los principios antropométricos, cuenta con un peso aproximado de 10 kg soportando su propio peso.

El objetivo principal descrito es la ejecución de movimientos para la enseñanza del lenguaje de señas básicas para niños con discapacidad auditiva en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi.



**Figura 13. Estructura final**

Fuente: (Bustillos, 2015)

### **1.3. Motricidad Gruesa**

Armijos 2012, define la motricidad gruesa como: “La capacidad y habilidad del cuerpo a desempeñar movimientos grandes, como por ejemplo gatear, caminar o saltar.”

El siguiente documento presenta el papel que juega una buena motricidad gruesa en el desarrollo de los niños y cómo se puede favorecer con el desarrollo de ciertas secuencias realizadas por un intérprete humanoide mejoramos la habilidad propia de la motricidad gruesa.

### **1.4. Importancia del Movimiento y Motricidad**

El movimiento representa “un auténtico medio de expresión y comunicación en él se exterioriza todas la potencialidades orgánicas, motrices, intelectuales y afectivas”. Por eso es tan importante el movimiento en la vida de todas las personas y es una razón valedera para recomendar que las actividades de aprendizaje de los niños y las niñas en edad temprana, deban estar cargadas de movimiento y libertad para poder así acoplarse en el entorno como lo muestra la figura 14. Fuente especificada no válida.



**Figura 14. Movimientos diarios infantiles**

Fuente: Fuente especificada no válida.

## 1.5. Discapacidad Motriz

### 1.5.1. Definición

La Dirección General de Educación Especial define la Discapacidad Motriz como: “Una condición de vida que afecta el control y movimiento del cuerpo, generando alteraciones en el desplazamiento, equilibrio, manipulación, habla y respiración de las personas que la padecen, limitando su desarrollo personal y social.”

Estas limitaciones generan problemas en la realización de diferentes actividades propias de la vida cotidiana. En la actualidad el objetivo principal es buscar una solución para que personas con problemas afines puedan acoplarse al entorno de forma normal logrando así que puedan realizar actividades como sujetar objetos, correr, saltar, etc. como se muestra en la figura 15.



**Figura 15. Juegos Recreacionales**

Fuente: (Maschwitz, 2012)

## 1.6. Ejercicios para desarrollar la motricidad gruesa

Para poder ayudar al niño en el desarrollo de sus habilidades de motricidad gruesa, es necesario ofrecerle varias oportunidades, sobretodo

tiempo y espacio, para que pueda moverse y experimentar. Incluso puede incentivarle con actividades bien distintas para favorecer el movimiento.

Aquí proponemos algunas alternativas a desarrollar las cuales facilitarán la selección de movimientos a desarrollar con el intérprete humanoide. (Riera, 2013).

- **Coger:** Agarrar o capturar objetos, este tipo de juegos trabajan la fuerza y la resistencia además de la coordinación, elementos importantes de la motricidad gruesa.
- **Globo:** Con un globo pueden hacerse grandes cosas. Puedes jugar con el niño a lanzar y atrapar el globo, o a golpearlo hacia arriba. Puesto que un globo es bastante más lento que una pelota hay más tiempo de reacción.
- **Parques:** En un parque infantil hay muchas actividades por hacer, es un espacio abierto y por tanto emocionante y bueno por el aire fresco. Correr y saltar por el parque le permite desarrollar mucho la motricidad gruesa, especialmente el equilibrio.
- **Hacer equilibrios:** Cualquier oportunidad para que el niño juegue y practique su motricidad gruesa debe ser aprovechada. Un muro bajo o un tronco caído en el bosque son perfectos para que haga equilibrios cruzándolos de un lado a otro.

## 1.7. Estructura superior del cuerpo humano

### 1.7.1. Definición

El cuerpo humano es la estructura completa del organismo y sus partes principales son: la cabeza, el cuello, el tronco y las extremidades. Cada parte tiene una función diferente y contiene órganos específicos. Mientras caminamos, hablamos, dormimos, jugamos o permanecemos sentados, nuestro cuerpo trabaja constantemente para mantenernos plenamente saludables. Es importante conocer nuestro cuerpo para poder cuidarlo y prolongar una vida saludable. (Dixon, 2012)

### 1.7.2. 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). (Bustillos, 2015)

En el caso de este trabajo solo se hará referencia a las extremidades superiores (brazos) para su análisis y estudio.

### 1.7.3. Extremidades Superiores

Las extremidades superiores del cuerpo humano son los brazos, los cuales están conectados a la parte superior del tronco y, concretamente, desempeñar la función de darnos movilidad para coger, sujetar y manejar objetos y realizar diferentes actividades. Las extremidades inferiores están compuestas por cuatro partes que se distinguen fácilmente:

- Mano
- Antebrazo
- Brazo
- Cintura escapular

Las extremidades superiores están unidas al tronco y compuestas por dos clavículas y dos omóplatos. En los brazos, encontramos los huesos húmero, cúbito y radio; y en las manos, los huesos carpianos, metacarpianos y las falanges de los dedos como muestra la figura 16. (Ruiz, 2014)



**Figura 16. Estructura Interna del brazo**

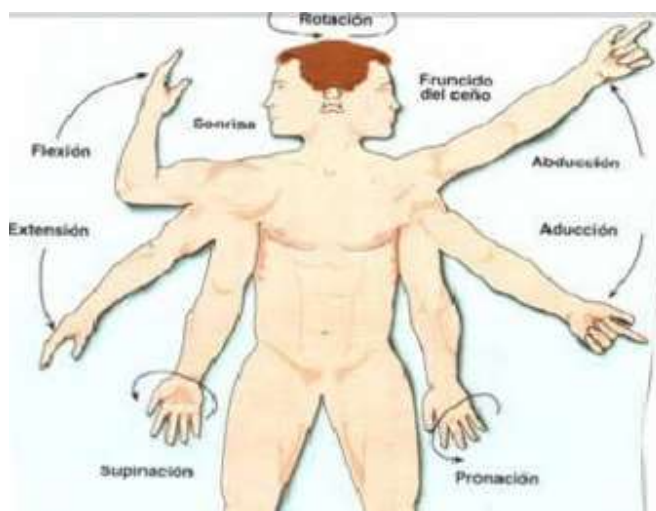
Fuente: (Ruiz, 2014)



## 1.8. Movimientos articulares

El cuerpo humano presenta varias zonas donde se producen movimientos, las articulaciones representan conexiones que existen entre los diversos puntos y áreas de superficies de los huesos que componen el esqueleto humano. Aunque el movimiento de los huesos depende de la actividad del músculo esquelético insertado, el tipo de movimiento o grado de libertad de éste, está determinado por la articulación o naturaleza de la unión o conexión entre los huesos y la forma de las superficies articulares. (Corsino, 2005)

A continuación en la figura 17 se presentan los nombres y dibujos de los movimientos articulares de las principales articulaciones del cuerpo humano, así como ciertos movimientos combinados.



**Figura 17. Movimientos Articulares**





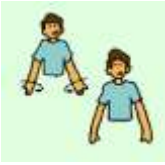
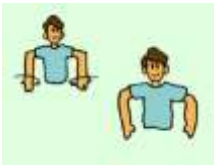




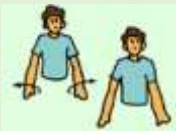
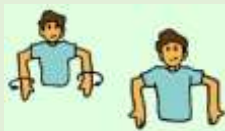
Fuente: (Corsino, 2005)

### 1.8.1. Tipos de movimientos articulares.

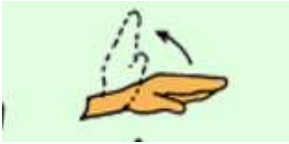

El desarrollo de este proyecto requiere tener en cuenta todos los posibles movimientos requeridos por el niño para lograr el desarrollo de la motricidad gruesa.

La Tabla 1 describe ejercicios orientados a las extremidades superiores considerados como principales por profesores terapistas.

**Tabla 1.**  
**Tipos de movimientos en extremidades superiores**

TIPOS DE MOVIMIENTOS ARTICULARES		
Movimiento	Descripción	Aplicación
<b>Flexión</b>	Disminución en el ángulo de la articulación.	  Hombros      Codo
<b>Abducción o alejamiento</b>	Movimiento lateral fuera de la línea media del cuerpo.	  Hombros      Muñecas
<b>Rotación interna</b>	El aspecto anterior de un hueso o segmento gira hacia la línea media del cuerpo.	  Hombros      Codos
<b>Extensión</b>	Aumento en el ángulo de la articulación.	  Hombros      Codos
<b>Aducción o acercamiento</b>	Movimiento lateral hacia la línea media del cuerpo.	  Hombros Muñecas
<b>Rotación externa.</b>	El aspecto anterior de un hueso o segmento gira fuera	  Hombros

CONTINÚA 

	de la línea media del os cuerpo.	Codos
<b>Dorsiflexión o flexión dorsal</b>	Movimiento de flexión del dorso de la muñeca hacia la misma articulación	
<b>Palmiflexión o flexión palmar</b>	Movimiento de Extensión del dorso de la muñeca	

Fuente: (CORSINO, 2000)

### 1.8.2. Rango de movilidad de las articulaciones

Las articulaciones poseen un rango de movilidad, la Tabla 2, describe cada uno de los ángulos correspondientes al movimiento articular. (Espinosa, 2013).

**Tabla 2.**  
**Rangos de movilidad de articulaciones**

Parte del cuerpo humano	Movimiento articular	Angulo (Grados)
<b>Cuello</b>	Inclinación a la derecha	45
	Rotación a la derecha	90
	Extensión	90
	Contracción	90
	Inclinación a la izquierda	45
	Rotación a la izquierda	90
<b>Hombros</b>	Flexión	180
	Extensión	45
	Aducción o acercamiento	180
	Abducción o alejamiento	45
	Rotación externa	90
	Rotación interna	90

CONTINÚA



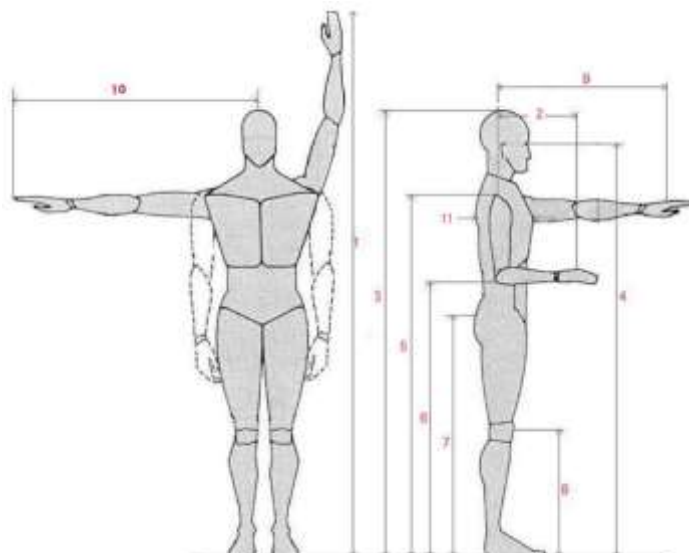
<b>Codo</b>	Flexión	135
	Extensión	0 a 5
	Rotación interna	90
	Rotación externa	90
<b>Muñeca</b>	Dorsiflexión o flexión dorsal	70
	Palmiflexión o flexión palmar	80
	Abducción o alejamiento	30
	Aducción o acercamiento	20
<b>Dedos</b>	Extensión y contracción de dedos	90

Fuente: (Espinosa, 2013).

### 1.9. 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 como se muestra en la Figura 18.

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 en milímetros, se detallan en la Tabla 3 a continuación: (Melo, 2011)



**Figura 18. Distancias del cuerpo humano en posición parada**

Fuente: (Valero, 2011)

**Tabla 3. 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)

### 1.10. Alternativas de solución

Al recopilar información acerca de proyectos relacionados con el presente tema se han estudiado cada uno de ellos para elegir la o las alternativas de solución haciendo referencia a ciertos aspectos a considerar, como son principalmente los movimientos realizados por el docente de la Unidad Especializada Cotopaxi, esta información nos servirá como punto de partida para determinar los grados de libertad necesarios para el desarrollo de las extremidades superiores.

Otros detalles técnicos que también deben de ser tomados en cuenta son por ejemplo el peso de las extremidades, el material del cual se encuentra construido, funcionalidad, medidas de las extremidades etc.

Al tomar en cuenta estos aspectos se escogió dos posibles alternativas de solución como punto de partida para desarrollar el presente proyecto las cuales se describen como:

- “Diseño de un Sistema Emulando el Movimiento Articulado de una Mano, Brazo y Antebrazo” Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Departamento de Ingeniería Mecatrónica. México. 2007
- “Metodología para el Desarrollo de un Manipulador Móvil Autónomo con Características Antropométricas”. Universidad Carlos III. España .2011

Siendo el primer proyecto la alternativa de solución más viable ya que la extremidad superior cuenta con 7 grados de libertad a diferencia del segundo el cual cuenta con seis grados de libertad restringiendo ciertos movimientos, esto nos permitirá simular de manera completa y eficiente cada uno de los movimientos realizados por el docente y favoreciendo así a un desarrollo integral de la motricidad gruesa en los alumnos de la Unidad Especializada Cotopaxi.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS**

Los elementos esenciales del proceso de diseño en ingeniería están determinados por el establecimiento de objetivos y especificaciones, la síntesis, el análisis, la construcción, las pruebas y la evaluación. Además se debe tener en cuenta las diferentes restricciones como son los factores económicos, seguridad, estéticos, éticos, impacto social e impacto ambiental. **Fuente especificada no válida.**

Una vez analizados los elementos antes mencionados que intervienen en el diseño total del intérprete humanoide, se procede a la realización del diseño por calidad y todos los aspectos que este abarque.

#### **2.1. Diseño por calidad**

El intérprete humanoide se desarrolla en base a un modelo antropomórfico donde se presenta medidas promedio de un cuerpo humano, detallado en el apartado 1.9, enfatizando la realización de movimientos de motricidad gruesa con el propósito de mejorar el estilo de vida en niños con capacidades especiales.

El sistema se diseñará e implementará con el fin de mejorar la motricidad en los niños con capacidades especiales, mejorar la interacción en una hora de clase impartida, mayor repetición de los ejercicios a realizar con lo que se mejorará la atracción visual, reducción del tiempo de ejecución de movimientos en el docente a cargo evitando cansancio físico excesivo con lo que se protege su integridad.

##### **2.1.1. Requisitos del usuario**

Dentro del diseño por calidad, los requerimientos del usuario es el factor más importante para el diseño, por lo cual a continuación se detallan por



sugerencia del docente a cargo las particularidades en el diseño y funcionamiento del intérprete.

- Ligero para un fácil desplazamiento del intérprete.
- Buena ejecución de los movimientos programados.
- Rapidez en la repetición de los ejercicios.
- Que mejore de manera progresiva la motricidad gruesa en los niños.
- Reducir el tiempo de ejecución de ejercicio para el docente.
- Que el sistema sea seguro
- Que la presentación sea amigable con los estudiantes y el docente encargado.
- El modo de acceso a cada una de las funciones presentada en la interfaz debe ser asequible.

### **2.1.2. Requisitos técnicos**

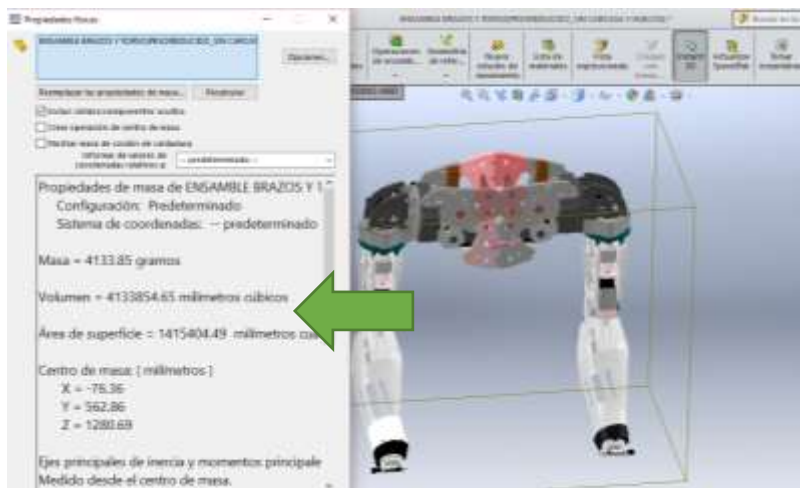
Después de analizar los requerimientos y necesidades que presenta el usuario, se procede a traducirlos en requerimientos técnicos que se detallan a continuación:

- Tipo de material.
- Sistema mecánico
- Sistema de control.
- Precisión en la ejecución de movimientos.
- Interfaz Humano Máquina.
- Rapidez de respuesta en la selección de movimientos.
- Sistema independiente.

## **2.2. Selección de componentes**

### **2.2.1. Selección del material**

Para escoger el material con el cual se construirá el presente proyecto es necesario tener datos técnicos como el volumen, masa, centro de masa entre otros como se observa en la figura 19.



**Figura 19. Volumen del robot**

A continuación se presenta una tabla con la lista de posibles materiales seleccionables para la construcción del robot con su respectiva densidad.

**Tabla 4. Densidad de distintos materiales.**

Material	Densidad (Kg/ m <sup>3</sup> )
Acero AISI 1010	7860
Aluminio	2710
Madera (Pino)	420
ABS	1020
Nylon / Duralón	1130

Fuente: (Mott-Robert, 2006)

Para escoger un material adecuado para la construcción se realizó el cálculo de la masa del robot con cada uno de los materiales presentados en la tabla 4, los resultados fueron analizados para determinar así el más adecuado para la construcción. Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula.

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{donde} \quad m = d * v$$

a) Acero AISI

$$m = 7860 \frac{Kg}{m^3} * 0.004133854m^3$$

$$m = 32.5Kg$$

**b) Aluminio**

$$m = 2710 \frac{Kg}{m^3} * 0.004133854m^3$$

$$m = 11.2Kg$$

**c) Madera**

$$m = 420 \frac{Kg}{m^3} * 0.004133854m^3$$

$$m = 1.73Kg$$

**d) ABS**

$$m = 1020 \frac{Kg}{m^3} * 0.004133854m^3$$

$$m = 4.21Kg$$

**e) Nylon/Duralón**

$$m = 1130 \frac{Kg}{m^3} * 0.004133854m^3$$

$$m = 4.67Kg$$

Al conocer cada uno de los valores calculados se puede descartar materiales como el acero y el aluminio al ser una estructura muy pesada para las necesidades de este proyecto, de igual manera se puede descartar el uso de la madera debido a su baja densidad lo cual no proporcionará una buena resistencia por parte de este material.

Ahora solo restan dos opciones de los cuales el material de ABS es el más apropiado debido a que es ligeramente mas liviando que el Nylon, lo cual significa un ahorro de material y presupuesto.

### **2.2.2. Selección del método de manufactura**

Para realizar la manufactura del robot se cuenta con distintas opciones existentes como son Torno CNC, Fresadora CNC, Cortadora a laser CNC, Impresora 3D de estas opciones a continuación en la tabla 5 se presenta las ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos para poder elegir de esta manera el procedimiento más adecuado para la manufacturación.

**Tabla 5.**  
**Método de manufactura**

Características	Torno CNC	Fresadora CNC	Cortadora	Impresora 3D
Ejes X,Y,Z	SI	SI	NO	SI
Dibujo CAD	SI	SI	SI	SI
Programació n	SI	SI	SI	SI
Material	SI	SI	SI	SI

Al observar estas características se puede descartar por completo el método de Cortadora Laser CNC debido a que esta máquina únicamente trabaja en los ejes X,Y lo cual impide la construcción de muchas piezas del robot, entre las opciones de Torno y Fresadora se necesita realizar el dibujo en un software adecuado y además de esto producir un código de programación método por el cual trabajan estas máquinas, en el caso de la Impresora 3D únicamente se necesita el dibujo en un software adecuado y directamente introducirlo a la máquina para que sea producido siendo así este el método más apropiado para la fabricación de cada una de las piezas.

### 2.2.3. Selección de los motores.

- **Motor DC:** Este tipo de motores funcionan a altas revoluciones por minuto, el control de velocidad es mediante la modulación de ancho de pulso, son de fácil adquisición y su costo no es elevado. La desventaja que presentan este tipo de motores es que al conectarlos el motor comenzará a girar hasta que sea desconectado es decir tienen una rotación continua rápida.
- **Servomotores:** Los servomotores son en general un conjunto de cuatro cosas: un motor de corriente continua, un conjunto de engranajes, un circuito de control y un sensor de posición que puede ser un potenciómetro. La posición de los servomotores se puede controlar con mayor precisión que los de motores de corriente estándar, tiene un rotor, que gira más o menos 180° pero si se lo modifica puede llegar a 360°. Poseen mucho torque, lo cual los hace muy usuales para

robótica. Se manejan por medio de un pulso cuadrado de ancho variable. El ancho del pulso determina el ángulo dónde queda el eje del servo, y puede cambiar de posición muy rápida y exactamente.

- **Motores a pasos:** El motor de pasos es un motor eléctrico que tiene que manejarse por medio de un circuito electrónico que activa de manera exacta y ordenada sus bobinas que son 2 ó 4, dependiendo de su tipo, se usan para robótica, impresoras, discos duros, etc. porque su posición es muy exacta si el circuito está bien calculado, pueden tener un gran rango de velocidades de rotación, dado que la misma es proporcional a la frecuencia de los pulsos de entrada. La desventaja que posee es que no gira, sino que avanza un "paso", predeterminado en su fabricación, que por lo general es cercano a  $1,8^\circ$ .

Una vez presentadas las características de los diferentes motores con los que se podría trabajar se procede a seleccionar los servomotores ya que para el tipo de aplicación cumple con los requerimientos necesarios.

#### **2.2.4. Selección de la tarjeta controladora.**

Para el controlador del presente proyecto se tiene varias opciones por ejemplo microcontroladores, tarjeta de adquisición de datos, tarjetas de control Arduino, a continuación se presenta algunas características de cada una de ellas para posteriormente seleccionar la adecuada al proyecto.

- **Microcontroladores:** Poseen muchas desventajas entre las más significativas se encuentran los puertos PWM ya que únicamente cuenta con 5 entradas de este tipo y al utilizar 10 servomotores estos no abastecen las necesidades del proyecto.
- **Tarjetas Arduino:** Presentan ventajas con respecto a los microcontroladores en su número de entradas PWM las cuales superan los 20 puertos lo cual es suficiente, posee una gran facilidad de acople de varios tipos de sensores con sus respectivas librerías proporcionadas por el fabricante, además su lenguaje de programación es relativamente fácil y resulta compatible a otros softwares.

- **Tarjeta de adquisición de datos:** Esta opción es la más completa en relación a la anterior debido a que su número de puertos es muy superior a un microcontrolador y un arduino, su robustez es mayor ya que puede trabajar con varios dispositivos de manera simultánea, la gran desventaja de este controlador es su elevado costo el cual supera fácilmente los \$100.

Una vez presentadas las características de las diferentes tarjetas controladoras se determina que la tarjeta Arduino posee los requerimientos necesarios para un buen funcionamiento a un precio accesible.

A continuación la figura 20 muestra la estructura de la tarjeta Arduino donde se puede apreciar los conectores para los diferentes requerimientos.



**Figura 20. Tarjeta Arduino**

Fuente: (Products, 2016)

Es necesario proporcionar ciertas características técnicas de esta tarjeta controladora por lo que la tabla 6 muestra un resumen de la misma.

**Tabla 6.  
Características de la tarjeta Arduino**

Características	
Alimentación	5V
Puertos Pwm	16
Velocidad	16Mhz
Memoria	256KB
Comunicación	USB

Fuente: (Products, 2016)

### 2.2.5. Selección de la Interfaz gráfica.

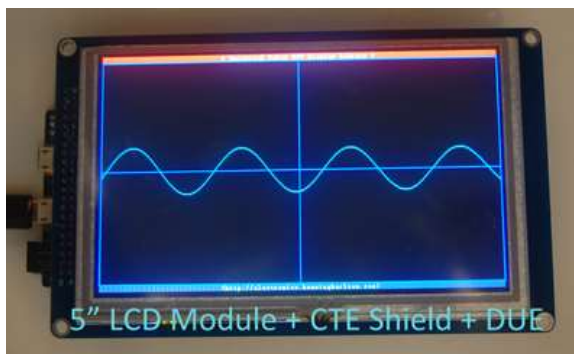
Para la realización del diseño de la interfaz gráfica se realiza un análisis de diversos softwares y sus respectivas características que permiten el desarrollo de las mismas.

- **Labview:** Posee un lenguaje gráfico de programación, además proporciona herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales, componentes visuales, ya sean controladores, botones, instrumentos de medida, cuadros de texto, etc. trabaja en tiempo real, la desventaja de este software es el requerimiento de una PC lo cual implica una dificultad en el diseño del presente proyecto ya que se pretende ser autónomo.
- **Arduino LCD TFT touch Screen:** Posee un lenguaje de programación accesible ya que cuenta con el software propio de Arduino, el cual brinda librerías con diferentes herramientas textuales, además de trabajar en tiempo real, el modo de representación de esta interfaz es similar al de un LCD y necesita ser acoplada a un sistema de selección para su funcionamiento ya sea: teclado, botones, entre otros.

TFT and Arduino, posee un lenguaje y características similares a las descritas anteriormente con la diferencia que brinda herramientas gráficas y cuenta con un modo de selección táctil incorporado haciéndolo más eficiente.

Al analizar las características generales de las opciones presentadas se determina que el TFT and Arduino cumple con los requerimientos del diseño ya que permitirá que el sistema sea autónomo.

A continuación la figura 21 muestra la estructura de la pantalla, y la tabla 16 sus características técnicas.



**Figura 21. Interfaz Gráfica TFT**

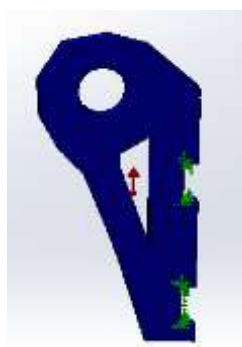
**Tabla 7.**  
**Características técnicas de TFT**

CARACTERISTICAS	
Resolución	HD 800X480
Bus de Datos	16
Voltaje de alimentación	5 V a 3.3 V
Controlador de la pantalla LCD	SSD1963
Conexión	tarjetas SD
Compatibilidad	Arduino Mega 2560
Dimensiones	154 mm x 86 mm x 16 mm

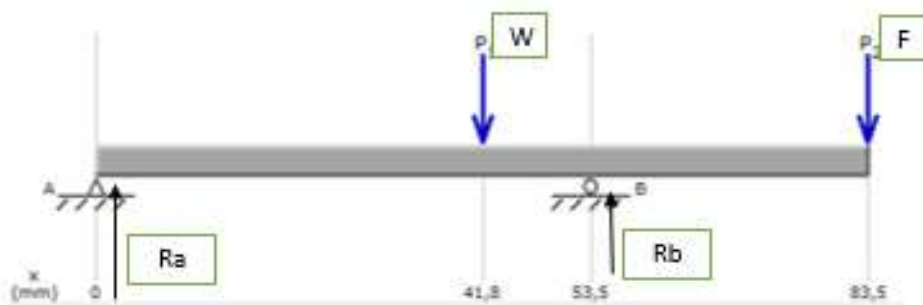
Fuente: (Sainsmart, 2010)

### 2.3. Validación del sistema mecánico

Se procede a estudiar la pieza mostrada en la figura 22, la cual representa el soporte de los servomotores, por motivo de cálculo será analizado como una viga con dos apoyos sometida a dos fuerzas de acuerdo a la figura 23.



**Figura 22. Soporte Servomotores**



**Figura 23. Diagrama de cuerpo libre**



Como se explicó anteriormente el cálculo se realizará del soporte de los servomotores para lo cual, la figura 24 muestra los datos obtenidos de la masa del servomotor a utilizar para calcular la fuerza que será aplicada en la barra, este valor ha sido obtenido del datasheet de un servomotor estándar

**ANNOUNCED SPECIFICATION OF  
HS-805BB+ MEGA 1/4 SCALE SERVO**

1. TECHNICAL VALUES	
CONTROL SYSTEM	: +PULSE WIDTH CONTROL 1500usec NEUTRAL
OPERATING VOLTAGE RANGE	: 4.8V TO 6.0V
OPERATING TEMPERATURE RANGE	: -20 TO +60°C
TEST VOLTAGE	: AT 4.8V <span style="float: right;">AT 6.0V</span>
OPERATING SPEED	: 0.19sec/60° AT NO LOAD <span style="float: right;">0.14sec/60° AT NO LOAD</span>
STALL TORQUE	: 19.8kg.cm(274.96oz.in) <span style="float: right;">24.7(343.01oz.in)</span>
OPERATING ANGLE	: 45° ONE SIDE PULSE TRAVELING 400usec
DIRECTION	: CLOCK WISE/PULSE TRAVELING 1500 TO 1900usec
CURRENT DRAIN	: 8mA IDLE AND 700mA NO LOAD RUNNING
DEAD BAND WIDTH	: 8usec
CONNECTOR WIRE LENGTH	: 300mm(11.81in)
DIMENSIONS	: 66x30x57.6mm(2.60x1.18x1.26in)
WEIGHT	: 152g(5.36oz) <span style="float: right;">←</span>

**Figura 24. Datasheet servomotor**

*Datos de la fuerza:*

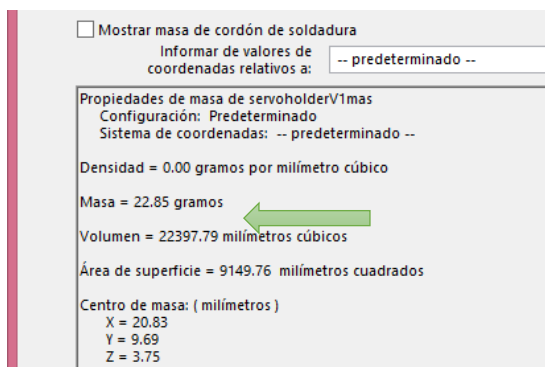
$$m = 0.152\text{Kg}$$

$$F = m * g$$

$$F = 0.152\text{Kg} * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 1.48\text{N}$$

La figura 25 muestra los datos entregados por software de la masa de la pieza a analizar lo que permitirá el cálculo de la fuerza proporcionada por la propia pieza.



**Figura 25. Masa de la viga**

*Datos de la barra:*

$$m = 0.02285\text{Kg} \text{ (dato entregado por el software SolidWorks)}$$

$$d = 83.5\text{mm}$$

$$W = 00.02285\text{Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 0.2238\text{N}$$

Obtenidos estos datos se procede al cálculo de las fuerzas restantes.

*Sumatoria de fuerzas en el eje Y.*

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - W + R_b - F = 0 \quad \text{Ec. 1}$$

*Sumatoria de momentos en el punto A.*

$$\sum M_A = 0$$

$$W * (41.75 \text{ mm}) - R_b * (53.5 \text{ mm}) + F * (83.5 \text{ mm}) + M_c = 0$$

$$(0.22398 \text{ N}) * (41.75 \text{ mm}) - R_b * (53.5 \text{ mm}) + (1.48 \text{ N}) * (83.5 \text{ mm}) + (1.48 \text{ N}) * (24.5 \text{ mm}) = 0$$

$$(53.5 \text{ N} * \text{mm}) * R_b = 169.2 \text{ mm}$$

$$R_b = 3.16 \text{ N}$$

*Se reemplaza en Ec. 1*

$$R_a - 0.2238 \text{ N} + 3.16 \text{ N} - 1.48 \text{ N} = 0$$

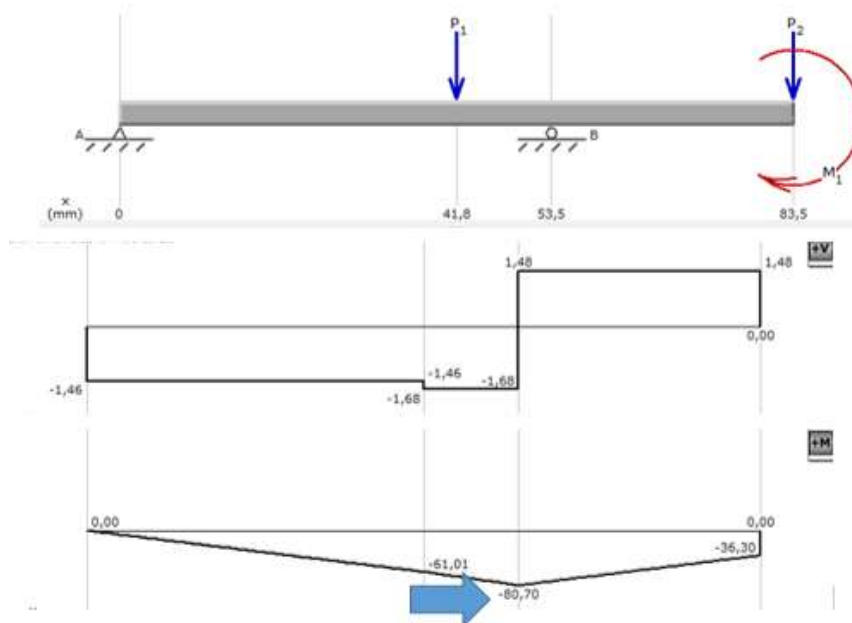
$$R_a = 1.46 \text{ N}$$

*Reacciones resultantes*

$$R_b = 3.16 \text{ N}$$

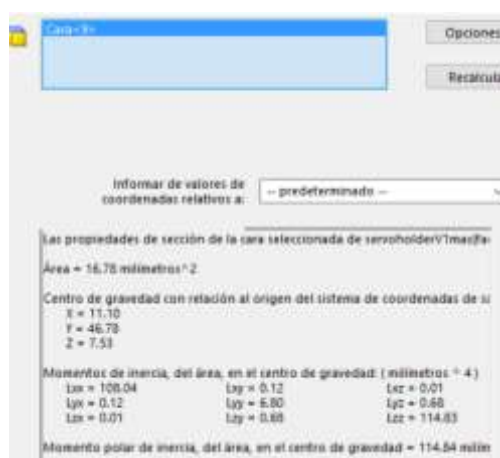
$$R_a = 1.46 \text{ N}$$

En la figura 26, se presenta el diagrama de fuerzas aplicadas, así como el diagrama que determinará el momento flector máximo producido.



**Figura 26. Diagrama de fuerzas y momentos**

En la figura 27 se presenta el valor de la inercia y centro de masa de la pieza analizada obtenidos por software, los datos presentados serán utilizados para el cálculo del esfuerzo por flexión el cual viene dado por la relación que existe entre el producto del momento flector máximo y el centro de masa, con la inercia como se muestra en la ecuación 2.



**Figura 27. Valor de la inercia**

$$\sigma_f = \frac{M_{max} * C}{I}$$

**Ec. 2**

$$\sigma_f = \frac{80.79 Nmm \frac{1m}{1000mm} * 0.02328m}{1.14 \times 10^{-10} m^4}$$

$$\sigma_f = 15.789 MPa$$

### **Cálculo del esfuerzo**

$$F_t = R_a - W + R_b - F$$

$$F_t = 1.46N - 0.2238N + 3.16N - 1.48N$$

$$F_t = 2.9N$$

$$\sigma = \frac{F_t}{A}$$

$$\sigma = \frac{2.9N}{0.00915m^2}$$

$$\sigma = 316.95 Pa$$

### **Esfuerzo Total**

$$\sigma_T = 15789473.68 Pa + 316.95 Pa$$

$$\sigma_T = 15.78 MPa$$

### **Cálculo del esfuerzo de diseño.**

El esfuerzo de diseño es ese nivel de esfuerzo que puede desarrollarse en un material al mismo tiempo que se garantiza que el miembro cargado sigue siendo seguro. (Mott-Robert, 2006)

En la tabla 8 se presentan las características y parámetros para seleccionar la fórmula apropiada para el cálculo del esfuerzo de diseño.

**Tabla 8.**  
**Esfuerzo de diseño basado en las resistencias**

$\sigma_d = \frac{Sy}{N}$	Basado en la resistencia a la sedencia
$\sigma_d = \frac{Su}{N}$	Basado en la resistencia maxima

Fuente: (Mott-Robert, 2006)

Existen criterios y fórmulas determinadas para realizar el cálculo del esfuerzo de diseño, el factor de seguridad “N” se determina realizando varias pruebas donde la pieza es sometida a las diversas cargas que va a soportar y tomando como resultado el valor promedio, en la tabla 9 se muestran los criterios.

**Tabla 9.**  
**Criterios para calcular el esfuerzo de diseño**

Forma de la carga	Material dúctil	Material frágil
<b>Estática</b>	$\sigma_d = \frac{Sy}{2}$	$\sigma_d = \frac{Su}{6}$
<b>Repetida</b>	$\sigma_d = \frac{Su}{8}$	$\sigma_d = \frac{Su}{10}$
<b>Impacto o choque</b>	$\sigma_d = \frac{Su}{12}$	$\sigma_d = \frac{Su}{15}$

Fuente: (Mott-Robert, 2006)

El porcentaje de alargamiento es mayor al 5% por lo que es un material dúctil y al ser sometido a una carga estática seleccionamos la siguiente fórmula:

$$\sigma_d = \frac{Sy}{2}$$

La resistencia de fluencia “Sy” es la sección en el diagrama esfuerzo – deformación unitaria, donde hay un gran incremento de la deformación con poco o ningún aumento del esfuerzo. Esta propiedad indica que en realidad ha cedido o se ha alargado en gran medida y en forma plástica y permanente. (Mott-Robert, 2006)

Este valor depende del tipo de material a utilizar, en este caso se trabajará con ABS, el valor a utilizar se ha tomado de una tabla que muestra las propiedades típicas de algunos plásticos seleccionados como se muestra en el Anexo A.

$$S_y = 41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{41}{2}$$

$$\sigma_d = 20.5 \text{ MPa}$$

Para ser un diseño seguro se debe cumplir con la siguiente regla: *El esfuerzo de diseño debe ser mayor o igual que el esfuerzo calculado.*

$$\sigma \leq \sigma_d$$

$$15.78 \text{ MPa} \leq 20.5 \text{ MPa}$$

### **Factor de seguridad**

Joseph-E-Shigley (3ra Edición) manifiesta que la resistencia es una propiedad de un material o de un elemento mecánico. La resistencia de un elemento depende de la clase, el tratamiento y procesado del material. El término factor de seguridad se aplica al factor utilizado para evaluar la condición segura de un elemento. Definido como:

$$N = \frac{S_y}{\sigma_T}$$

$$N = \frac{41 \text{ MPa}}{15.78 \text{ MPa}}$$

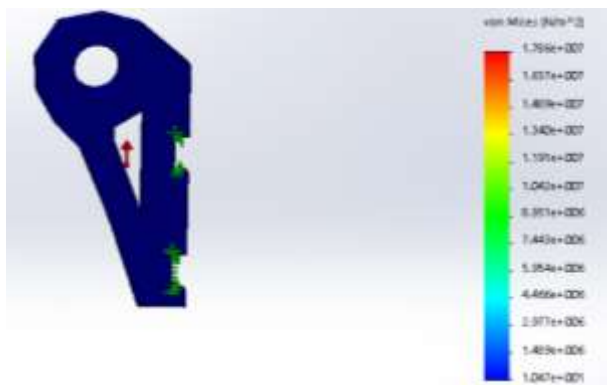
$$N = 2.59$$

#### **2.3.1. Resultados evaluados mediante el software SolidWorks**

Una vez realizado todos los cálculos manuales necesarios se procede a su validación mediante software, con la ayuda del complemento Simulation de SolidWorks se realiza un análisis estático de la figura aplicando

sujeciones fijas en los apoyos, las fuerzas a las cuales se encuentra sometida y la gravedad, adicionalmente se debe agregar el tipo de material el cual será ABS y por último se ejecuta el análisis estático de dicho elemento como se muestra en la figura 28.

### **Cálculo de Von Mises**



**Figura 28. Análisis estático**

En la figura se puede observar que el resultado de Von Mises tiene un valor de 17.86 MPa.

La teoría de Von Mises dice lo siguiente: *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 así:*

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

El valor del límite elástico del material ABS es de 32Mpa. (Mott-Robert, 2006)

$$17.86\text{Mpa} \leq 32\text{Mpa}$$

Con esta teoría se pudo concluir que el material seleccionado no va a fallar.

### **Cálculo del Factor de Seguridad.**

Con la ayuda del software se logró obtener el factor de seguridad FDS de 3.21 como se observa en la figura 29.



**Figura 29. FDS**

Como resultado se obtuvo datos realizados manualmente y datos obtenidos mediante el software, con los cuales se realiza una comparación para validar su fabricación como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10.  
Comparación resultados reales y de diseño.**

Ítem	R. manuales	R. de software	R. de diseño
<b>Esfuerzo</b>	15.78Mpa	17.86Mpa	20.5MPa
<b>Factor de seguridad</b>	2.59	3.21	2.59

En la presente tabla se puede observar que los resultados manuales son menores a los resultados de diseño con lo cual se puede validar la fabricación de cada uno de los componentes.

### **2.3.2. Optimización del material**

El presente punto comprende la optimización de los recursos a utilizar mediante ajustes por software, en el programa SolidWorks se llevó a cabo una modificación en la densidad de la malla introduciendo un valor de 2.40mm con lo cual se obtendrá una pieza menos densa ahorrando de esta manera el material a utilizar y disminuyendo el factor de seguridad a 2.583 como se observa en la figura 30, lo cual es muy aproximado al valor calculado, de esta manera se obtiene un desarrollo eficiente del proyecto.



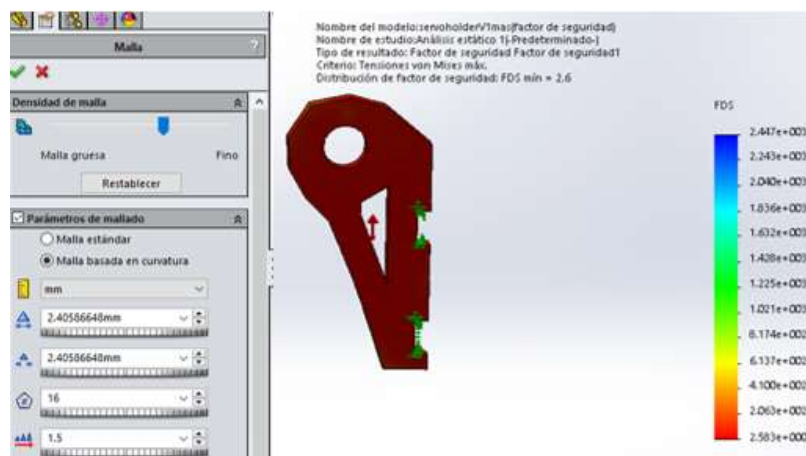


Figura 30. Valor de la densidad y FDS

### 2.3.3. 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.

#### a) Aducción – abducción.

Se debe considerar el caso más crítico, es decir; el cálculo se realiza en el movimiento de aducción – abducción cuando el brazo se encuentra extendido horizontalmente, ya que su peso total está en la componente Y, para este movimiento a continuación en la figura 31, se muestra el diagrama de fuerzas, además se incluyen los datos correspondientes como las distancias, las cuales han sido obtenidas de la tabla 3 del apartado 1.9 correspondiente a las medidas antropométricas del cuerpo humano, y el cálculo de la fuerza para mantener en equilibrio.

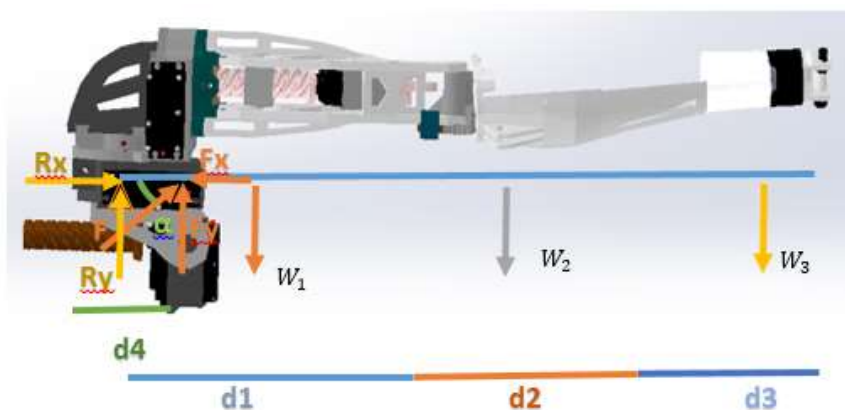


Figura 31. Diagrama de fuerzas del hombro

**Datos:**

$$d_1 = 34.9 \text{ cm}$$

$$d_2 = 23.1 \text{ cm}$$

$$d_3 = 14.2 \text{ cm}$$

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

$$\alpha = 14.54^\circ$$

$$w_1 = 0.851 \text{ Kg}$$

$$w_2 = 0.192 \text{ Kg}$$

$$w_3 = 0.086 \text{ Kg}$$

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

$$\sum F_x = 0$$

$$F_x = R_x$$

$$\sum F_y = 0$$

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

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

$$\sum M = 0$$

$$-\left(d_1 + d_2 + \frac{d_3}{2}\right) * W_3 - \left(d_1 + \frac{d_2}{2}\right) * W_2 - \left(\frac{d_1}{2}\right) * W_1 + d_4 * F \sin \alpha = 0$$

$$-\left(34.9 \text{ cm} + 23.1 \text{ cm} + \frac{14.2 \text{ cm}}{2}\right) * 0.086 \text{ kg} - \left(34.9 \text{ cm} + \frac{23.1 \text{ cm}}{2}\right) * 0.192 \text{ kg}$$

$$-\left(\frac{34.9 \text{ cm}}{2}\right) * 0.851 \text{ kg} + 9.1 \text{ cm} * F \sin 14.54 = 0$$

$$\mathbf{F = 12.296 Kgf}$$

$$R_x = F_x = F \cos \alpha = 12.296 \text{ Kgf} * \cos 14.54 = 11.902 \text{ Kgf}$$

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

$$\mathbf{R_y = 0.851 + 0.195 + 0.086 - 12.296 \text{ Kgf} * \sin 14.54 = -2.122 \text{ Kgf}}$$

Siendo ésta la fuerza para permanecer en equilibrio, la que tiene que vencer para realizar el movimiento por medio de un tornillo de potencia, a

continuación se realiza el cálculo del torque necesario en subida definido por la Ec. 3.

$$T_s = \frac{F * D_m}{2} * \left[ \frac{\rho + \pi * \mu * D_m * \sec \theta}{\pi * D_m - \mu * \rho * \sec \theta} \right] \quad \text{Ec. 3.}$$

**Donde:**

$T_s =$  Torque de subida

$F =$  Fuerza a mover = 12.296 Kgf

$D_m =$  Diámetro medio de la rosca

$\theta =$  ángulo de rosca

$\rho =$  paso

$u =$  coeficiente de fricción de ABS (polietileno) = 0.2

Para el diseño del tornillo de potencia se parte del valor del área de esfuerzo para posteriormente seleccionar un diámetro estandarizado, a continuación la Ec. 4. permite el cálculo del mismo **Fuente especificada no válida.**

$$A = \left( \frac{6 * F}{S_y} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{Ec. 4.}$$

$$A = \left( \frac{6 * 32.56}{700} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$A = 0.427 \text{ in}^2 = 2.75 \text{ cm}^2$$

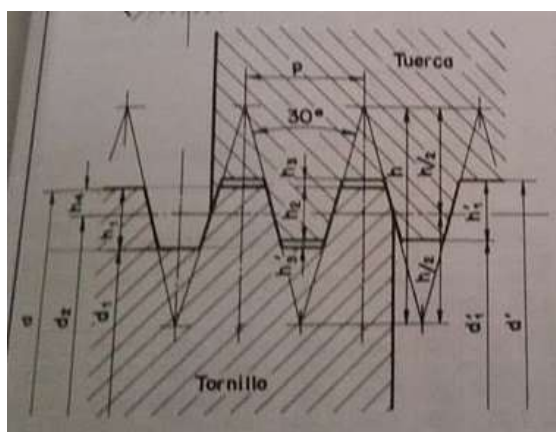
Partiendo de este valor del área de esfuerzo se procede a tomar un valor estándar, el Anexo B muestra que para la cantidad calculada el valor del diámetro normalizado es de:

$$d = 26 \text{ mm}$$

$$L = \rho = 5$$

$$d_m = 23.5 \text{ mm}$$

Para una rosca métrica el ángulo viene definido por la figura 32:



**Figura 32. Parámetros para una Rosca métrica**

Fuente: (Larburu, 1980)

Teniendo como dato

$$\theta = 30^\circ$$

Reemplazando los datos en la Ec. 3. tenemos:

$$T_s = \frac{12.296 \text{ Kgf} * 23.5 \text{ mm}}{2} * \left[ \frac{5 + \pi * 0.2 * 23.5 \text{ mm} * \sec 30^\circ}{\pi * 23.5 \text{ mm} - 0.2 * 5 * \sec 30^\circ} \right]$$

$$T_s = 43.850 \text{ Kgf} * \text{ mm} = 4.3850 \text{ Kgf} * \text{ cm}$$

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 definida mediante la Ec. 5.

$$T_b = \frac{F * D_m}{2} * \left[ \frac{\pi * \mu * D_m * \sec \theta - \rho}{\pi * D_m + \mu * \rho * \sec \theta} \right] \quad \text{Ec. 5.}$$

$$T_b = \frac{12.296 \text{ Kgf} * 23.5 \text{ mm}}{2} * \left[ \frac{\pi * 0.2 * 23.5 \text{ mm} * \sec 30^\circ - 5}{\pi * 23.5 \text{ mm} + 0.2 * 5 * \sec 30^\circ} \right]$$

$$T_b = 23.22 \text{ Kgf} * \text{ mm} = 2.322 \text{ Kgf} * \text{ cm}$$

Para los dos primeros movimientos rotación externa - interna y flexión - extensión se necesita saber el dato de velocidad de giro, un estudio realizado por (Bustillos, 2015) revela una velocidad promedio obtenida luego de varias pruebas cuyo valor es de 6.20RPM y 8.15RPM respectivamente para los movimientos citados anteriormente.

## b) Rotación externa e interna.

El mecanismo a utilizar es el de tornillo sin fin. El tornillo sin fin es un mecanismo de transmisión circular compuesto por dos elementos: el tornillo (sin fin), que actúa como elemento de entrada (o motriz) y la rueda dentada, que actúa como elemento de salida (o conducido) y que algunos autores llaman corona. La rosca del tornillo engrana con los dientes de la rueda de modo que los ejes de transmisión de ambos son perpendiculares entre sí. (González, 2008)

### Cálculo

Este tipo de movimiento es realizado con una velocidad de giro promedio de 6.20 RPM, se aplicará la relación de transmisión para obtener el número de dientes necesarios para el mecanismo a utilizar mediante la Ec. 6., los demás parámetros, así como las potencias vienen descritos en las Ec. 7. a Ec. 22.

*Relación de transmisión*

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad \text{Ec. 6.}$$

**Donde:**

$i$  = Relación de transmisión

$n_1$  = Velocidad de entrada

$n_2$  = Velocidad de salida

$$i = \frac{n_2}{n_1}$$

$$i = \frac{6.20RPM}{91RPM}$$

$$i = 0.068$$

Con este valor se procede a calcular el número de dientes necesarios para la corona  $Z_1 = 1$ , ya que el tornillo es de 1 sola entrada.

$$0.068 = \frac{1}{Z_2}$$

$$Z_2 = 14.7$$

Como sabemos no es posible utilizar el valor calculado de dientes por lo que se procede a estandarizar siendo:

$$Z_2 = 15$$

Según (Mott-Robert, 2006) para ángulos de avance hasta 15° el angulo de presión esta estandarizado en un valor de 20°

$$\phi = 20^\circ$$

Los datos obtenidos para las condiciones iniciales se describen en los anexos A, C, D y E respectivamente.

*Datos iniciales:*

$$C = 27 \text{ mm} = 1.06 \text{ in}$$

$$S_{at} = 3000 \text{ Psi}$$

$$Pd = 16$$

$$y = 0.566$$

$$SF = 1.25$$

Para el cálculo de los diferentes parámetros es necesario guiarse en las tablas presentadas en el anexo F y G.

*Diámetro del Sin Fin:*

$$D_W = \frac{C^{0.875}}{2.2} \quad \text{Ec. 7.}$$

$$D_W = \frac{(1.06)^{0.875}}{2.2}$$

$$D_W = 0.47 \text{ in} = 1.2 \text{ cm}$$

*Diámetro de la Corona:*

$$D_G = 2 * C - D_W \quad \text{Ec. 8.}$$

$$D_G = 2(1.06 \text{ in}) - 0.47 \text{ in}$$

$$D_G = 1.635 \text{ in} = 4.2 \text{ cm}$$

*Addendum:*

$$a = \frac{1}{Pd} \quad \text{Ec. 9.}$$

$$a = \frac{1}{16}$$

$$a = 0.0625$$

*Profundidad Total:*

$$h_T = \frac{2.157}{P_d} \quad \text{Ec. 10.}$$

$$h_T = \frac{2.157}{16}$$

$$h_T = 0.13$$

*Profundidad de trabajo:*

$$h_K = \frac{2}{P_d} \quad \text{Ec. 11.}$$

$$h_K = \frac{2}{16}$$

$$h_K = 0.125$$

*Dedendum:*

$$b = \frac{1.25}{P_d} \quad \text{Ec. 12.}$$

$$b = \frac{1.25}{16}$$

$$b = 0.078$$

*Diámetro raíz del Sin fin*

$$D_{RW} = D_W - 2b \quad \text{Ec. 13.}$$

$$D_{RW} = 0.47 \text{ in} - 2 * 0.078$$

$$D_{RW} = 0.31 \text{ in} = 0.8 \text{ cm}$$

*Diámetro exterior del Sin Fin*

$$D_o = D_W + 2a \quad \text{Ec. 14.}$$

$$D_o = 0.47 \text{ in} + 2 * 0.0625$$

$$D_o = 0.6 \text{ in} = 1.51 \text{ cm}$$

*Diámetro raíz de la Corona*

$$D_{RG} = D_G - 2b \quad \text{Ec. 15.}$$

$$D_{RG} = 1.65 \text{ in} - 2 * 0.078$$

$$D_{RG} = 1.5 \text{ in} = 3.8 \text{ cm}$$

*Diámetro garganta de la Corona:*

$$D_T = D_G + 2a \quad \text{Ec. 16.}$$

$$D_T = 1.65 \text{ in} + 2 * 0.0625$$

$$D_T = 1.78 \text{ in} = 4.5 \text{ cm}$$

*Avance:*

$$L = N_W * \rho \quad \text{Ec. 17.}$$

$$L = N_W * (m * \pi)$$

$$L = 1 * (1.5 * \pi)$$

$$L = 4.71$$

*Angulo de avance:*

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{L}{\pi * D_W} \right) \quad \text{Ec. 18.}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{4.71}{\pi * 12} \right)$$

$$\lambda = 7.12^\circ$$

*Rendimiento:*

$$\eta = \frac{\cos \phi - \mu * \tan \lambda}{\cos \phi + \mu * \tan \lambda} \quad \text{Ec. 19.}$$

$$\eta = \frac{\cos 20^\circ - 0.2 * \tan 7.12^\circ}{\cos 20^\circ + 0.2 * \tan 7.12^\circ}$$

$$\eta = 0.94$$

*Potencia de entrada:*

$$P_e = \frac{T * n}{9.55} \quad \text{Ec. 20.}$$



$$P_e = \frac{1.519 [N * m] * 62.5 rpm}{9.55}$$

$$P_e = 9.94 \text{ Watts}$$

Potencia de salida:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad \text{Ec. 21.}$$

$$P_s = 0.94 * 9.94 \text{ Watts}$$

$$P_s = 9.34 \text{ Watts}$$

Calculo del Torque:

$$T = F * d \quad \text{Ec. 22.}$$

$$T = 0.899 \text{ Kgf} * 2.7 \text{ cm}$$

$$T = 2.43 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

### c) Flexión – Extensión

Como se muestra en la sección 2.4.4. la velocidad de giro promedio para realizar este movimiento es de 8.15 RPM, de igual manera que en el apartado anterior el peso y distancias son obtenidos mediante software del diseño realizado y de la tabla 3 del apartado 1.9 correspondiente a las medidas antropométricas del cuerpo humano respectivamente, a continuación se realiza el cálculo del torque utilizando la Ec. 22.

#### Datos:

$$\text{Peso } (W) = F = 1.68 \text{ kg} = 3.7 \text{ lb}$$

$$l = 72.2 \text{ cm} = 28.42 \text{ in}$$



Figura 33. Distancia del brazo

$$T = F * d$$

$$T = 3.7 \text{ lb} * 28.42 \text{ in}$$

$$T = 105.154 \text{ lbf} * \text{in} = 121.40 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

Siendo este el torque necesario para generar dicho movimiento, el mecanismo a utilizar es el de tornillo sin fin, a continuación se detallan los datos de tornillo y corona los mismos que serán utilizados para el cálculo del torque y la potencia requerida que servirán posteriormente para la selección del servomotor definidos mediante las Ec.20. a Ec. 22.

### Condiciones iniciales:

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

Potencia de entrada:

$$P_e = \frac{T * n}{9.55}$$

$$P_e = \frac{1.519 \text{ [N * m]} * 8.15 \text{ rpm}}{9.55}$$

$$P_e = 9.94 \text{ Watts}$$

Potencia de salida:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$

$$P_s = 0.94 * 9.94 \text{ Watts}$$

$$P_s = 9.34 \text{ Watts}$$

Calculo del Torque:

$$T = F * d$$

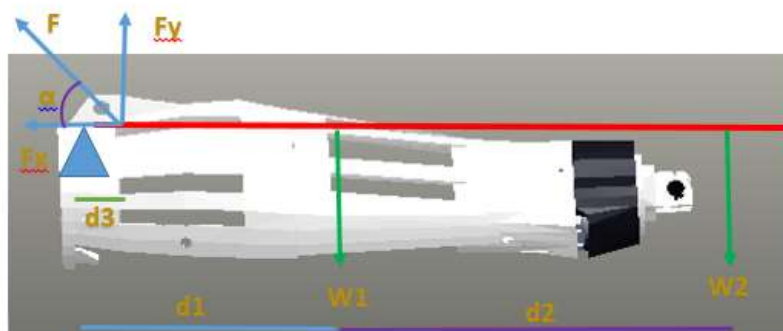
$$T = 0.899 \text{ Kgf} * 2.7 \text{ cm}$$

$$T = 2.43 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

### 2.3.4. Cálculos en el antebrazo.

Los movimientos que aquí se realizan son los de flexión y extensión del codo, para realizar el cálculo se debe considerar el caso más crítico, es decir en la posición en la cual se ejerza más fuerza, siendo en posición horizontal

y totalmente extendido en la figura 34, se muestra el diagrama de fuerzas con los datos obtenidos del Software SolidWorks.



**Figura 34. Diagrama de fuerzas del antebrazo**

**Datos:**

$$\begin{aligned} d_1 &= 23.1 \text{ cm} & \alpha &= 21.74^\circ \\ d_2 &= 14.2 \text{ cm} & W_1 &= 192 \text{ g} = 0.192 \text{ Kg} \\ d_3 &= 1.97 \text{ cm} & W_2 &= 86 \text{ g} = 0.086 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Se realiza la sumatoria de momentos, del sistema en equilibrio para hallar las respectivas fuerzas.

$$\Sigma M = 0$$

$$-\left(d_1 + \frac{d_2}{2}\right) * W_2 - \left(\frac{d_1}{2}\right) * W_1 + d_3 * F \sin \alpha = 0$$

$$-\left(23.1 \text{ cm} + \frac{14.2 \text{ cm}}{2}\right) * 0.086 \text{ Kg} - \left(\frac{23.1 \text{ cm}}{2}\right) * 0.192 \text{ Kg} + 1.97 * F \sin 21.74 = 0$$

$$F = 6.59 \text{ Kg}$$

La fuerza obtenida es el valor el cual debe vencer para realizar el movimiento, a continuación se procede a realizar el cálculo del torque necesario para llevar a cabo cada uno de los movimientos.

*Torque de subida:*

$$T_s = \frac{F * D_m}{2} * \left[ \frac{\rho + \pi * \mu * D_m * \sec \theta}{\pi * D_m - \mu * \rho * \sec \theta} \right]$$

**Donde:**

$T_s = \text{Torque de subida}$

$F = \text{Fuerza a mover} = 6.59 \text{ Kgf}$

$D_m = \text{Diámetro medio de la rosca} = 23.5 \text{ mm}$

$\theta = \text{ángulo de rosca} = 30^\circ$

$\rho = \text{paso} = 5$

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

$$T_s = \frac{6.59 \text{ Kgf} * 23.5 \text{ mm}}{2} * \left[ \frac{5 + \pi * 0.2 * 23.5 \text{ mm} * \sec 30^\circ}{\pi * 23.5 \text{ mm} - 0.2 * 5 * \sec 30^\circ} \right]$$

$$T_s = 23.49 \text{ Kgf} * \text{mm} = 2.349 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

*Torque de bajada:*

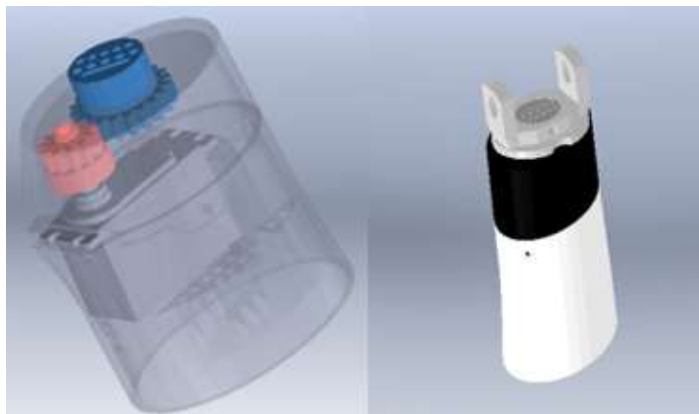
$$T_b = \frac{F * D_m}{2} * \left[ \frac{\pi * \mu * D_m * \sec \theta - \rho}{\pi * D_m + \mu * \rho * \sec \theta} \right]$$

$$T_b = \frac{6.59 \text{ Kgf} * 23.5 \text{ mm}}{2} * \left[ \frac{\pi * 0.2 * 23.5 \text{ mm} * \sec 30^\circ - 5}{\pi * 23.5 \text{ mm} + 0.2 * 5 * \sec 30^\circ} \right]$$

$$T_b = 12.44 \text{ Kgf} * \text{mm} = 0.1244 \text{ Kgf} * \text{c}$$

### 2.3.5. Cálculo de la muñeca.

En el presente numeral se muestra el diseño mecánico de la muñeca, la cual posee un movimiento de rotación, se realizarán cálculos para su respectiva justificación, fabricación y ensamblaje de cada uno de los componentes.



**Figura 35. Diseño de la muñeca**

El diseño de la muñeca consta de un servomotor, un conjunto reductor compuesto por dos engranajes los cuales transmitirán el movimiento a una velocidad adecuada para su uso y durabilidad como se muestra en la figura 35, a más de ello en la parte final se acoplará la mano y su respectiva carcasa.

La velocidad con la que va a realizar dicho movimiento será rápida por lo que según (Larburu, 1980) la relación de transmisión requerida para este tipo de movimiento es de 0.5 por lo que:

$$i = \frac{T_2}{T_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Para el cálculo del número de dientes del piñón y del engrane se parte del número mínimo de dientes permisible para evitar interferencia en la transmisión por lo que  $Z_1 = 12$ . (Mott-Robert, 2006)

$$i = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$0.5 = \frac{12}{Z_2}$$

$$Z_2 = 24$$

Con estos valores se procede al cálculo de los diámetros primitivos tanto del engrane como del piñón, así como la distancia entre centros.

$$D_{p1} = m * Z_1$$

$$D_{p1} = 2 * 12$$

$$D_{p1} = 24 \text{ mm}$$

$$D_{p2} = 2 * 24$$

$$D_{p2} = m * Z2$$

$$D_{p2} = 48 \text{ mm}$$

$$C = \frac{D_{p1} + D_{p2}}{2}$$

$$C = \frac{24 \text{ mm} + 48 \text{ mm}}{2}$$

$$C = 36 \text{ mm}$$

**Datos:**

$$\text{Peso} = 86 \text{ gr} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{gr}} = 0.086 \text{ Kgf}$$

$$\text{Distancia} = 36 \text{ mm} \times \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} = 0.036\text{m}$$

$$T = F * d$$

$$T = 0.086 \text{ Kgf} * 0.036\text{m}$$

$$T = 0.003096 \text{ Kgf} * \text{m} = 0.3 \text{ Kgf} * \text{cm} = T_2$$

$$i = \frac{T_2}{T_1}$$

$$0.5 = \frac{0.003096 \text{ Kgf} * \text{m}}{T_1}$$

$$T_1 = 0.006192 \text{ Kgf} * \text{m} = 0.6192 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

#### 2.4. Diseño y selección del sistema electrónico

El intérprete humanoide tiene la finalidad de ayudar a mejorar la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, dicho proyecto contará con una interfaz gráfica el cual permita seleccionar los movimientos que este realizará ya sea en las muñecas, brazos y hombros, como se muestra en la sección 1.8.1, tabla 1 que muestra los tipos de movimientos en extremidades superiores,

recreando de esta manera movimientos completos lo cual favorecerá al desarrollo motriz en los niños de la escuela.

A continuación se presenta una lista con parámetros para desarrollar el diseño electrónico del proyecto.

#### **2.4.1. Requisitos del diseño**

- Se deberá implementar un sistema de control el cual contará con la característica de ser en lazo cerrado.
- La selección de los servomotores se realizarán de acuerdo a los datos técnicos obtenidos en el diseño mecánico del proyecto.
- La fuente a utilizar deberá proporcionar un voltaje de 5V, la selección de esta se realizará basándose en el cálculo del consumo de energía.
- Se deberá seleccionar una o varias tarjetas de control que permitan enviar y recibir información a altas velocidades y que dicha tarjeta cuente con varias salidas PWM para poder controlar cada uno de los actuadores.
- El sistema debe contar con las debidas protecciones para de esta manera garantizar el funcionamiento y la durabilidad del presente proyecto.
- Se realizará el diseño de una interfaz gráfica capaz de interactuar al humanoide con los beneficiados, se busca realizar una interfaz sencilla y amigable que sea de fácil uso.

#### **2.4.2. Movimientos de la muñeca.**

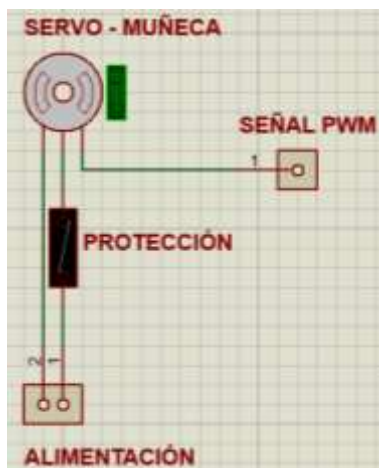
En el caso de la muñeca, se realizará movimientos de rotación externa e interna como se observa en la figura 36, se necesita que el movimiento sea muy parecido al de un humano por lo cual estará limitada a un rango de 90°



**Figura 36. Rotación de la muñeca**

Para realizar dichos movimientos se deberá contar con un servomotor el cual posea un torque de  $0.3 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$  como se muestra en la sección 2.2.8.

En la figura 37, se presenta el diseño electrónico de la muñeca, el cual cuenta con un servomotor, fusibles como medio de protección, fuente de alimentación y entradas PWM.

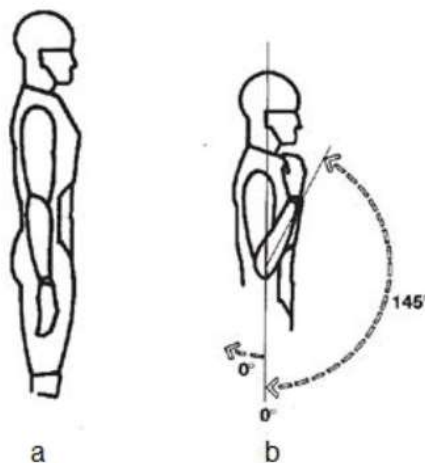


**Figura 37. Diseño electrónico de la muñeca**

#### **2.4.3. Movimientos del Antebrazo.**

En el caso del antebrazo realizará movimientos de flexión y extensión, se busca que el accionar sea muy parecido al de un humano por lo cual estará limitada de  $0$  a  $145^\circ$ , como lo hace una persona promedio, en la figura 38, se muestra los detalles.





**Figura 38. Movimiento del antebrazo**

Fuente: (Julius Panero, 1979)

Para realizar dichos movimientos se deberá contar con un servomotor el cual genere un torque de subida de 2.349 Kgf\*cm como se muestra en la sección 2.2.7, se considera este valor ya que el torque de bajada es menor como se muestra en la Tabla 11.

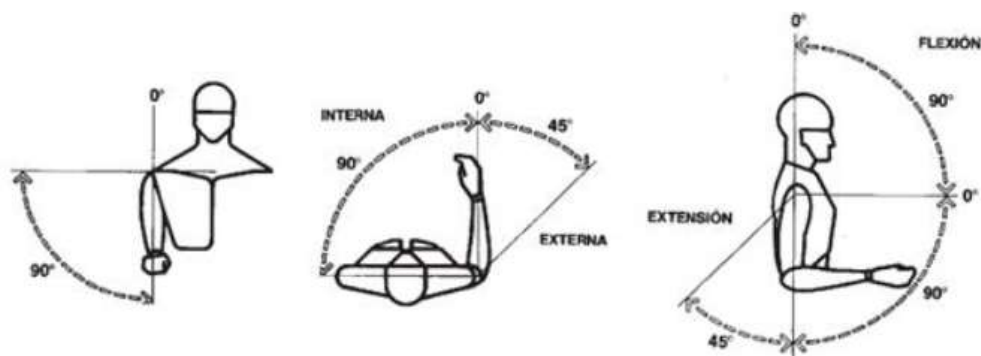
**Tabla 11.  
Características de movimiento.**

Nombre	Torque [Kgf*cm]
Flexión, extensión	Subida: 2.349
	Bajada: 0.1244

El diseño electrónico a utilizar es similar al propuesto para la ejecución del movimiento de la muñeca por lo que se hace referencia a la figura 37.

#### **2.4.4. Movimientos del hombro.**

En el caso del hombro realizará movimientos de aducción y abducción, rotación externa e interna, flexión y extensión, se busca que el accionar sea muy parecido al de un humano por lo cual estará limitada como lo hace una persona promedio, en la figura 39 se muestra los detalles.



**Figura 39. Abducción, rotación, flexión.**

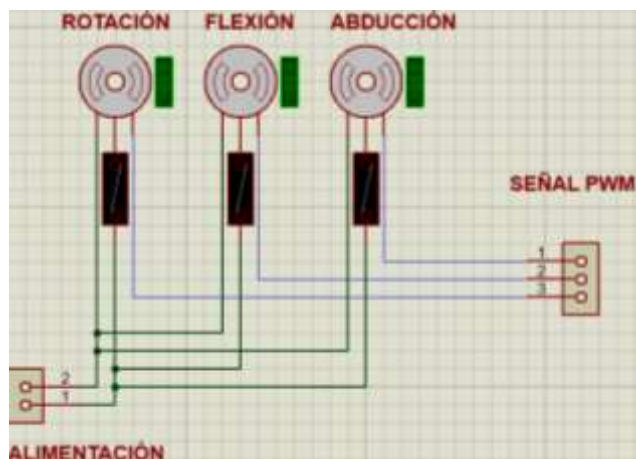
Fuente: (Julius Panero, 1979)

Para realizar dichos movimientos se deberá contar con servomotores adecuados los cuales se deben seleccionar de acuerdo a la siguiente tabla 12.

**Tabla 12.**  
**Características de movimiento del hombro**

Movimiento	Torque [Kgf*cm]
Rotación	0.3
Flexión	14.87
Abducción	Subida: 4.385 Bajada: 2.322

En la figura 40, se presenta el diseño electrónico del hombro el cual cuenta con un servomotor, fusibles como medio de protección, fuente de alimentación y entradas PWM.



**Figura 40. Diseño electrónico del hombro**

#### 2.4.5. Selección de Servomotores.

Varios factores se deben tener en cuenta para una correcta selección de servomotores entre los más importantes podemos destacar el torque, tamaño, velocidad, alimentación, momento de inercia, estos requisitos deben ser evaluados para evitar problemas al momento de ensamblar y realizar pruebas.

En los apartados anteriores se determinó los torques a utilizar por lo que se debe seleccionar dos servomotores, uno de valor bajo para las articulaciones de la muñeca y la rotación del hombro con un torque mínimo de  $0.3 \text{ Kg} * \text{cm}$ , y un segundo para la flexión, abducción del hombro y antebrazo el cual deberá tener un torque mínimo de  $14.87 \text{ Kg} * \text{cm}$ .

A continuación se presenta un resumen de los servomotores de alto y bajo torque con sus respectivos datos técnicos los que permitirán la selección del servomotor más a fin a los requerimientos expuestos.

**Tabla 13.**  
**Servomotores de bajo torque**

Nombre	Torque <i>Kg * cm.</i>	Vol. <i>V</i>	Velocidad <i>60°/s</i>	Peso <i>gr</i>	Tamaño <i>mm</i>	Costo <i>USD</i>
<b>S3802</b>	8.8	4.8	0.7	72	44.0x23.0x43.0	42
<b>HS-645MG</b>	7.7	4.8	0.24	55.2	40.6X19.8X37.8	40
<b>GS-</b>	2.5	4.8	0.12	13	22X12.1X28.8	28

9025MG						
CDS-55XX	16	4.8	0.18	55	50X32X38	135

Al analizar los datos presentados en la tabla 13 se puede determinar que el servomotor GS-9025MG cuenta con las dimensiones adecuadas para el diseño mecánico propuesto, además el peso no excede los 15 gr, su torque es suficiente para la aplicación y su precio no es elevado, por lo cual se convierte en la mejor opción para el uso de los movimientos que requieren un torque bajo.

**Tabla 14.**  
**Servomotores de alto torque**

Nombre	Torque <i>Kg * cm.</i>	Vol. <i>V</i>	Velocidad <i>60°/s</i>	Peso <i>Gr</i>	Tamaño <i>mm</i>	Costo <i>USD</i>
CYS- S8218	38	4.8	0.20	164	59.5X29X55.2	42.50
HS-805-BB	19.8	4.8	0.19	152	66X30X576	52
S3306	19	4.8	0.20	126	66X30X57	50
HD 1501MG	15.5	4.8	0.16	60	40.7X20.5X39. 5	38

Al analizar los datos presentados en la tabla 14 se puede determinar que el servomotor HD-1501-MG cuenta con las dimensiones adecuadas para el diseño mecánico propuesto, además el peso no excede los 60 gr, su torque es suficiente para la aplicación y su precio no es elevado, por lo cual se convierte en la mejor opción para el uso de los movimientos que requieren un torque alto.

#### 2.4.6. Selección de la fuente de energía

Para seleccionar la fuente de energía se debe conocer el consumo de corriente de los servomotores cuando estos se encuentren en forma activa es decir realizando algún tipo de desplazamiento, en la tabla 15 se presenta el consumo de energía de cada servomotor.

**Tabla 15.**  
**Consumo de corriente**

Servomotor	Corriente [mA]	Cantidad servomotores	Corriente total [mA]
HD-1501-MG	500	6	3000
MG-995	350	4	1400
<b>Total corriente nominal</b>			<b>4400</b>

Previo a la selección de la fuente es importante tener en cuenta la corriente de arranque ya que esta es relativamente mayor a la corriente nominal.

**a) Corriente de arranque.**

Todos los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior. (Alina, 2006).

Para este caso se tomará una corriente de arranque equivalente a 8 veces el valor de la corriente nominal dando como resultado un valor de:

$$I_{ar} = I_{nom} * 8$$

$$I_{ar} = 4400mA * 8$$

$$I_{ar} = 35200mA = 35.2A$$

Una vez tomado en cuenta las diferentes corrientes participes en el proyecto se procede a la selección de la fuente más idónea para lo cual se presentan diferentes opciones.

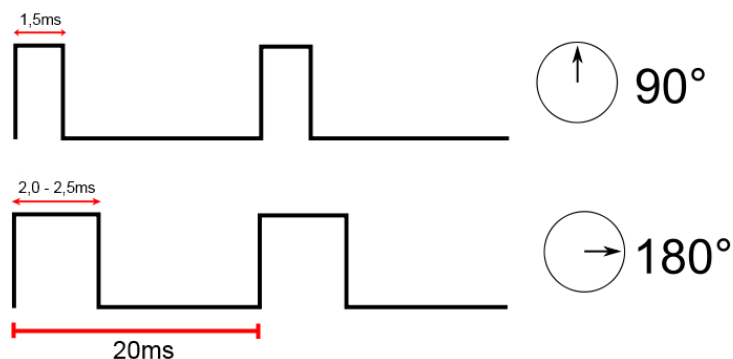
**Tabla 16.**  
**Fuentes de alimentación.**

Nombre	Vin [V]	Vout [V]	I [A]	P [W]	Valor [USD]
Omega 800	110	5	56	800	52
Speedmind 800	110	5	40	800	50
Cmpsu-600xc	100-240	5	25	150	125

Después de analizar las características de cada una de las fuentes propuestas en la tabla 16, se puede determinar que la denominada Speedmind 800 posee una salida de 5V y 40A por lo cual se convierte en la mejor opción.

#### 2.4.7. Modo de control

El presente sistema será controlada mediante señales PWM, para la realización del control se utilizará las herramientas que proporciona el software Arduino, el cual cuenta ya con una librería propia que permite el control absoluto del servomotor. Las diferentes señales serán enviadas al servomotor correspondiente a la articulación que se desea sea activada. La figura 41 muestra una secuencia modelo que se utilizará.



**Figura 41. Activación de secuencia abducción y rotación externa del hombro**

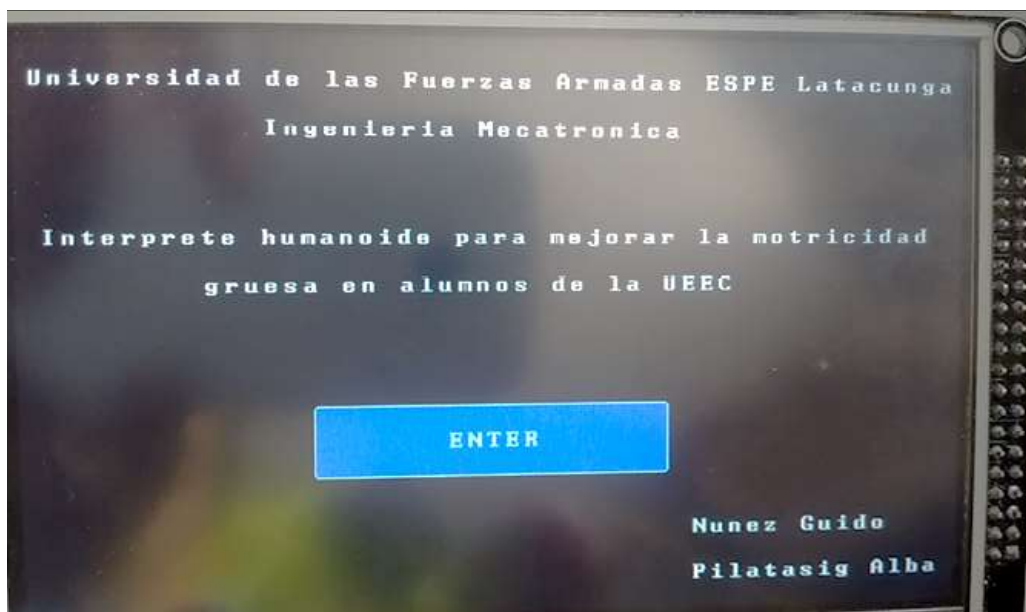
#### 2.4.8. Diseño de la interfaz gráfica

Es necesario tener en cuenta ciertos aspectos importantes para el diseño de la interfaz gráfica los cuales influirán en la presentación inicial del proyecto, a continuación se detalla los más importantes.

- Al tratarse de un proyecto destinado a una institución educativa esta debe contar con una presentación amigable con los estudiantes y el docente encargado.
- El modo de acceso a cada una de las funciones presentada en la interfaz debe ser accesible.

- El diseño debe acatar los lineamientos correctos para lo que ha sido elaborado el proyecto, es decir, los iconos, imágenes, colores y fuentes deben ser las correctas.
- Realizar un diseño acorde a las facilidades que presenta la LCD TFT touch screen.

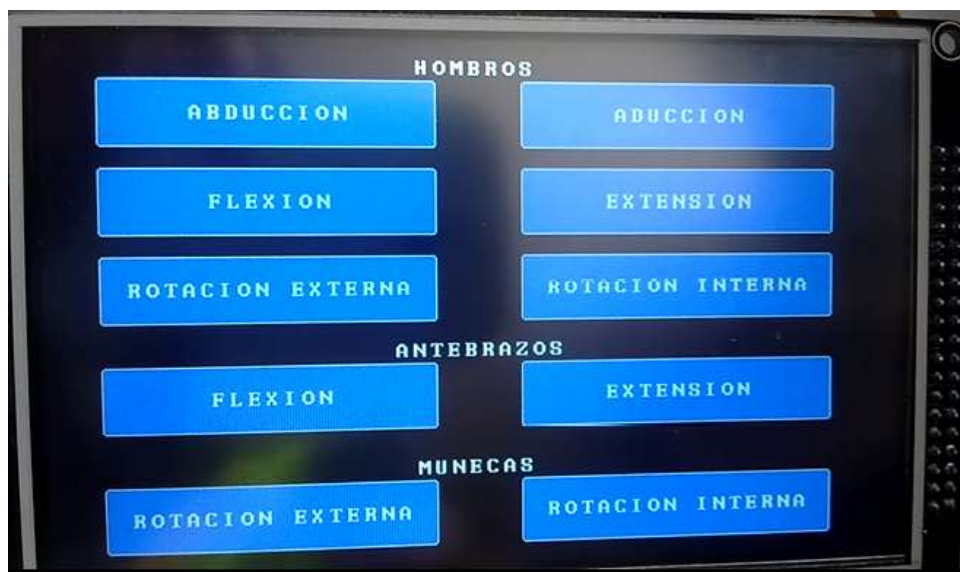
A continuación se presenta el diseño de la interfaz gráfica diseñada, esta ha sido realizada bajo los lineamientos y posibilidades que la LCD TFT brinda al usuario. Véase figura 42.



**Figura 42. Pantalla de inicio del proyecto.**

Para el diseño de la pantalla principal se tomó en cuenta la información más relevante acerca del proyecto, la figura 42 muestra la gama de colores utilizadas para la presentación, estos han sido considerados ya que son los que proporciona la propia pantalla, la información que se proporciona permitirá al docente, estudiantes entre otros miembros ya sean pertenecientes o no a la institución conocer el nombre del proyecto así como sus autores.

La siguiente ventana consta del menú principal en donde se puede apreciar botones que van a permitir que el docente acceda a los diferentes movimientos programados con anterioridad, el ambiente presentado es amigable para el docente o la persona que vaya a manipular el proyecto. Véase la figura 43.



**Figura 43. Ventana de accionamiento de movimientos**

La figura 43 muestra a detalle cada uno de los movimientos que el intérprete será capaz de realizar al presionar cualquiera de estos botones el intérprete ejecutara el movimiento deseado y se mantendrá en dicha posición hasta que se le ordene otra acción.

La lógica utilizada para la realización de cada acción es accesible para que pueda ser utilizada en la institución.



## CAPÍTULO III

### IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

El presente capítulo detalla la fase de construcción y ensamblaje del humanoide, el proceso de construcción de cada una de las piezas se llevó a cabo mediante la utilización de una Impresora 3D para posteriormente ensamblarlas y colocar en ellas cada uno de los dispositivos electrónicos y demás, al final de este capítulo se presenta un intérprete humanoide que cumpla con las necesidades requeridas.

#### 3.1. Proceso de Impresión

Una vez finalizado y verificado el diseño mecánico realizado, se procede a manufacturar cada una de sus partes, para dicho propósito se utilizó una Impresora 3D Dimension Stratasys disponible en el Laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, a continuación se detalla cada uno de los pasos a realizar previo a la impresión.

- Guardar cada archivo diseñado en el software Solid Works en formato .STL, este tipo de formato será aceptado en el software que se utilizará para el proceso de impresión.

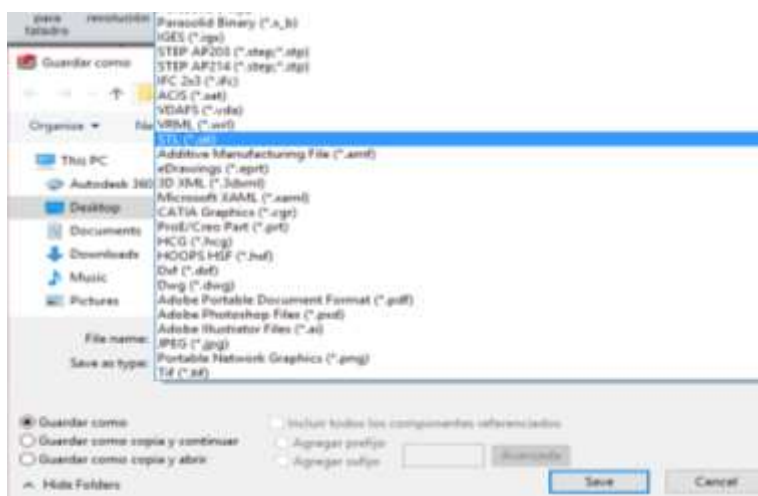


Figura 44. Extensión a guardar el archivo

- Arrancar la impresora, esperar unos minutos hasta que el equipo encuentre el home, al mismo tiempo esta alcanzará una temperatura adecuada de trabajo y purgará una cantidad de material de modelado y soporte, finalmente se encuentra lista para trabajar, como se presenta en la figura 45.



**Figura 45. Impresora lista para trabajar**

- Ejecutar el software Catalyst, este software es compatible con la impresora 3D a utilizar, se encuentra instalado en las computadoras del laboratorio.



**Figura 46. Presentación del software Catalyst**

- Abrir el archivo deseado seleccionando la pestala File > Open STL

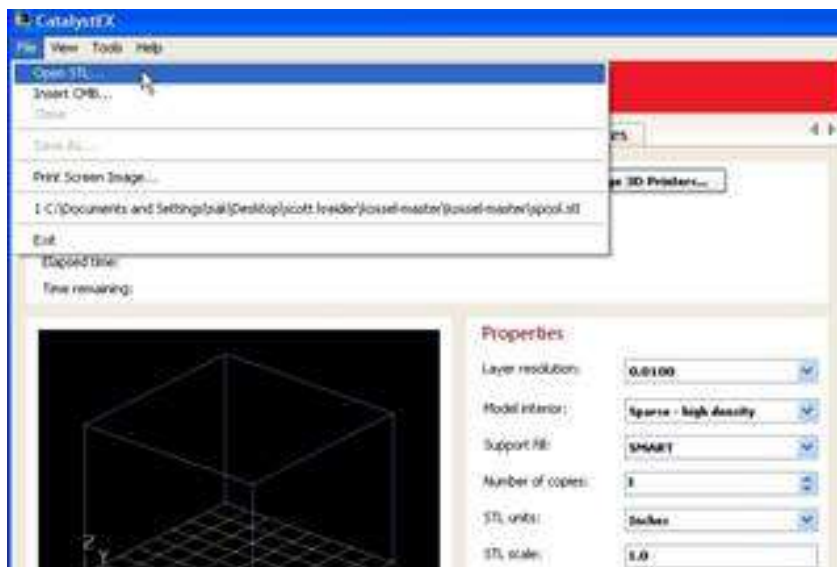


Figura 47. Cargar el archivo STL

- Verificar cada una de las propiedades

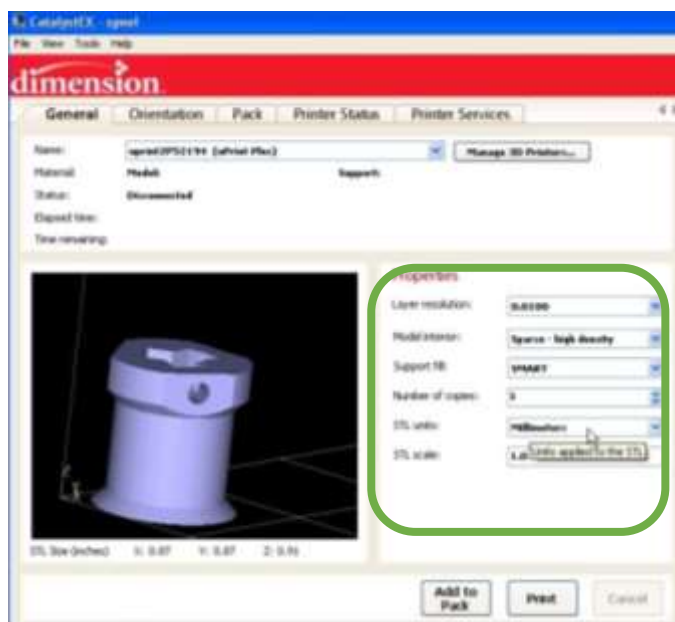
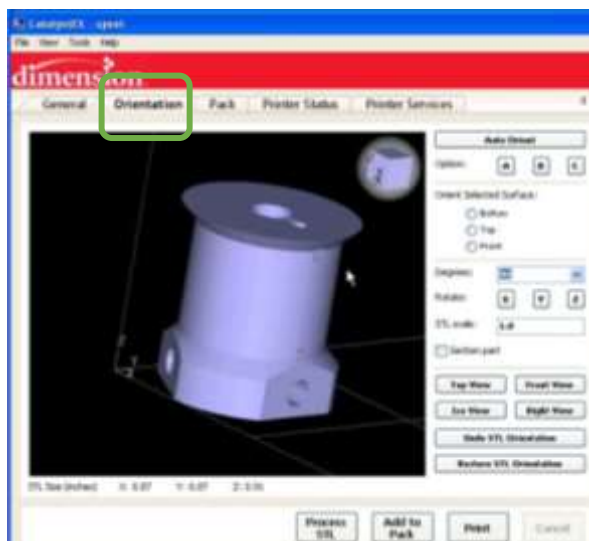


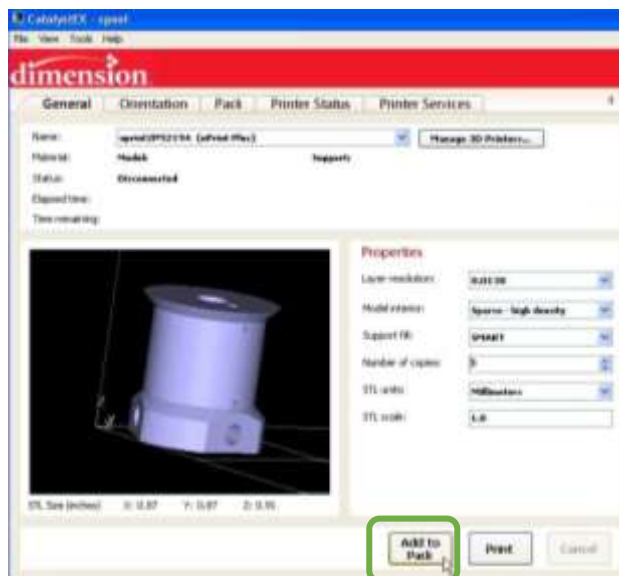
Figura 48. Configuración de las propiedades

- Seleccionar la pestaña Orientation, posicionar la pieza de forma adecuada para lograr una correcta impresión.



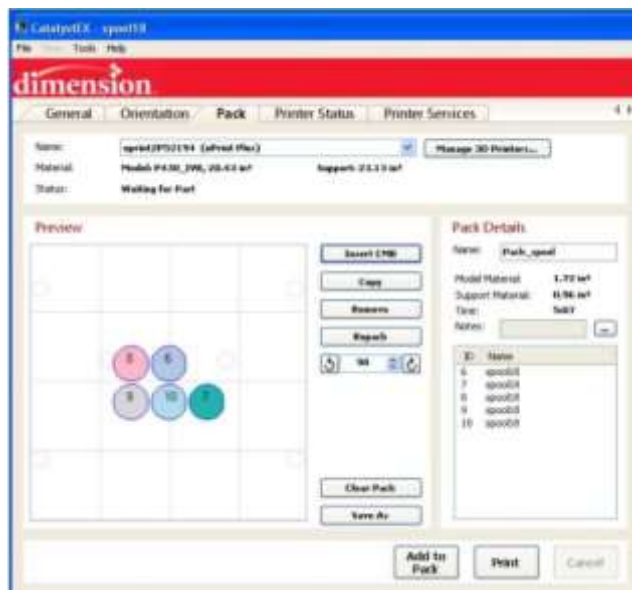
**Figura 49. Pantalla de orientación de la pieza**

- Posteriormente seleccionar la pestaña Add to Pack.



**Figura 50. Añadir la pieza al paquete de impresión**

- Dirigirse a la pestaña Pack para ubicar la pieza dentro del área de trabajo admisible y verificar la cantidad de material de modelado, soporte y tiempo empleados, finalmente seleccionar la pestaña Print para enviar a imprimir.



**Figura 51. Recursos necesarios**

- Al concluir el proceso de impresión se retira la base con las piezas listas y finalmente se apaga la impresora.

### 3.2. Tiempo y material utilizado en la impresión

A continuación se presenta la tabla 17 donde se detalla el número de horas de impresión y material utilizado de modelado y soporte durante el proceso.

**Tabla 17.**  
**Horas y material utilizados en el proceso de impresión**

Item	Horas	Mat. Modelado	Mat. Soporte
Humanoide	148	250in <sup>3</sup>	38in <sup>3</sup>

### 3.3. Proceso de ensamblaje

Al finalizar la etapa de manufacturación de cada una de las partes y componentes del intérprete humanoide, se obtuvo piezas de calidad con las que se procede a la fase de ensamblaje, a continuación se presenta el montaje de las extremidades y torso.

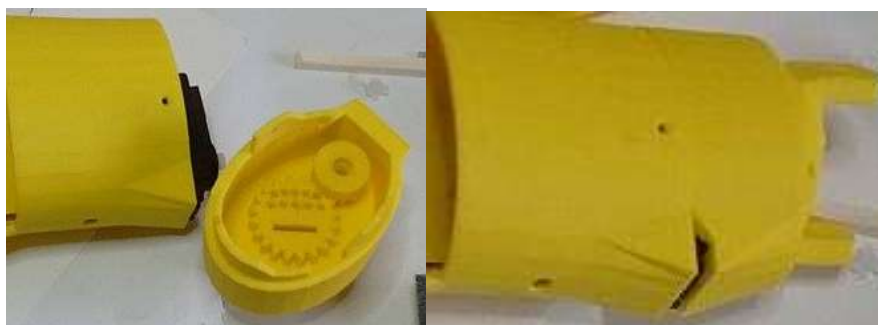
### 3.3.1. Ensamblaje de la muñeca

El primer componente a ensamblar es la muñeca, a continuación la figura 52 presenta el orden en el cual deberán ser acoplados.



**Figura 52. Diseño de la muñeca**

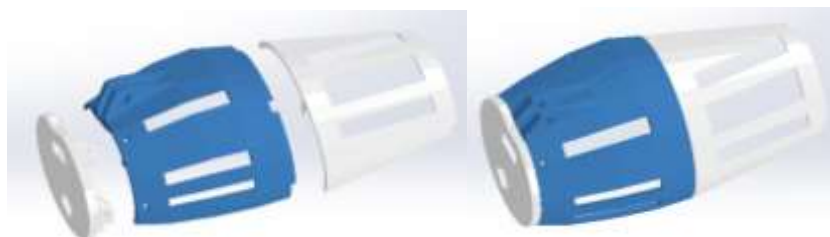
Al final se puede observar en la figura 53 el producto obtenido después de realizar su respectivo montaje.



**Figura 53. Construcción final de la muñeca**

### 3.3.2. Ensamblaje del antebrazo.

En este punto se realiza el acople de las piezas que forman el antebrazo quienes favorecerán el correcto funcionamiento y la resistencia de su propio peso, a continuación se muestra la figura 54 con el diseño del mismo.



**Figura 54. Diseño y ensamblaje del antebrazo**

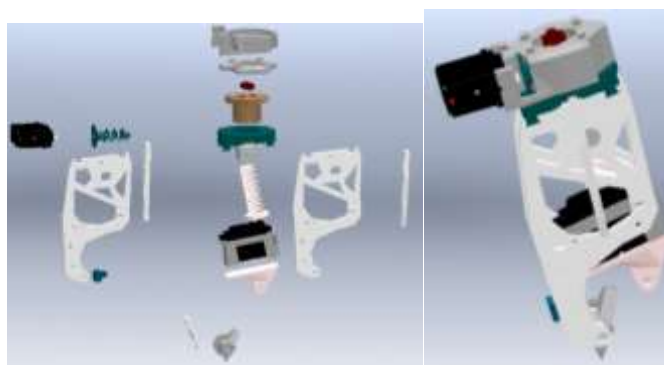
El producto obtenido se muestra en la figura 55.



**Figura 55. Construcción final del antebrazo**

### 3.3.3. Ensamblaje del bíceps

El siguiente conjunto a ser unificado corresponde al bíceps, esta es una parte muy importante del humanoide ya que en él se instalarán un gran número de dispositivos, a continuación se presenta la figura 56 con la forma adecuada de ensamblaje del bíceps tanto derecho como izquierdo.



**Figura 56. Diseño y ensamblaje del Bíceps**

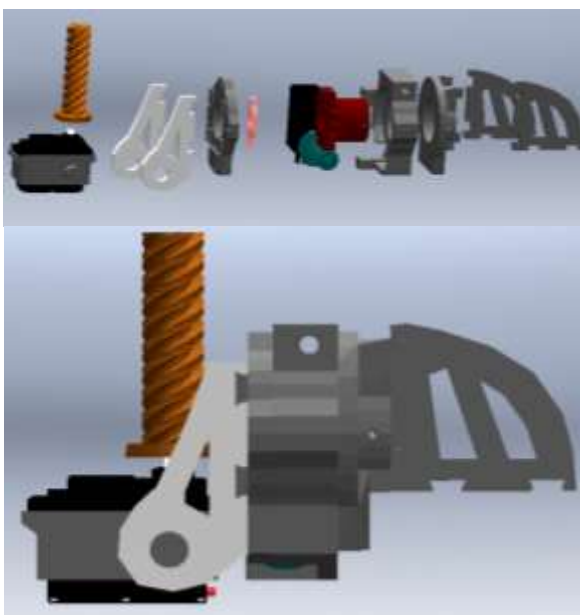
Al analizar el diseño presentado en la figura anterior se procede a su construcción como se muestra la figura 57.



**Figura 57. Construcción final del Bíceps**

### 3.3.4. Ensamblaje del hombro

Esta sección corresponde al montaje del hombro, desde donde se transmitirán varios movimientos como son Abducción, Flexión, Rotación, por lo que requiere seguir el orden presentado en la figura 58.



**Figura 58. Diseño y ensamblaje del hombro**

El resultado final de la fase de construcción del hombro se presenta en la figura 59.



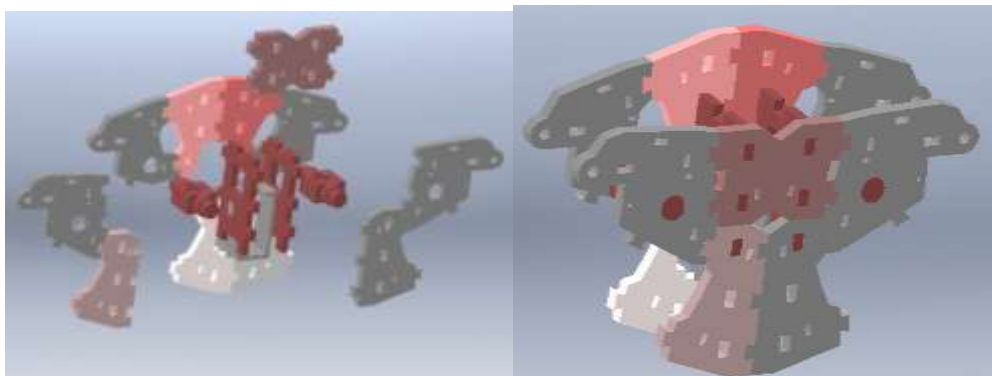
**Figura 59. Construcción final del hombro**

### 3.3.5. Ensamblaje del torso.

En este punto se realiza el acople del torso, el mismo es la parte central del proyecto debido a que en este sitio se conectarán las dos extremidades superiores y deberán soportar dicho peso por lo cual se debe realizar de



manera correcta para evitar posibles fallas y tener un producto final de acuerdo a las necesidades establecidas, la figura 60 muestra la secuencia a seguir.



**Figura 60. Diseño y ensamblaje del torso**

Luego de comprender el orden y la forma en la cual se deberá realizar el ensamble del torso, se muestra la figura 61 en la cual podemos apreciar el torso con cada una de sus partes y componentes.



**Figura 61. Construcción final del torso**

### **3.3.6. Ensamblaje completo de las extremidades superiores.**

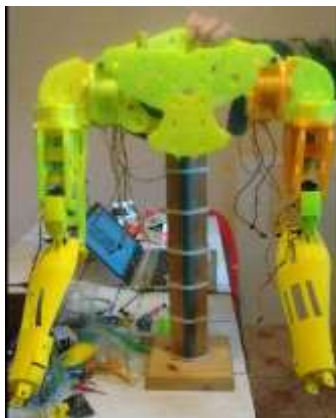
Aquí se muestra la figura 62 donde se aprecia el ensamble completo de las extremidades superiores, como resultado se obtiene un brazo acorde a los requerimientos del proyecto listo para ser sujetado al torso para posteriormente entrar a la siguiente etapa de control y proporcionar cada uno de los movimientos necesarios para su correcto funcionamiento.



**Figura 62. Ensamblaje de las extremidades superiores**

### **3.3.7. Ensamblaje final**

El resultado final obtenido comprende las dos extremidades superiores y torso unidos de forma adecuada, como se muestra en la figura 63, una vez culminada esta etapa se procederá a la implementación del sistema de control para la ejecución de los movimientos de cada articulación.



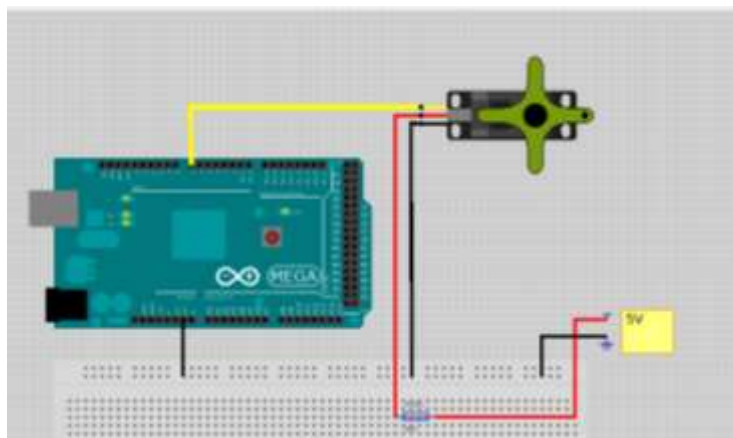
**Figura 63. Ensamblaje final del intérprete humanoide**

## **3.4. Implementación del sistema de control**

En la siguiente fase del proyecto se procede a realizar el sistema de control de cada uno de los servomotores para lograr los movimientos adecuados en cada articulación, el sistema de control a implementar consta de una tarjeta controladora Arduino, la respectiva etapa de potencia en

donde interviene la fuente con la corriente necesaria para el correcto funcionamiento de los servomotores, también se incluye la etapa del HMI (Interfaz Maquina-Humano) mediante la pantalla TFT Arduino táctil, la misma que es de gran utilidad para el presente proyecto ya que le da un alto grado de independencia y portabilidad al no necesitar de una interfaz en un ordenador lo cual es una gran desventaja al momento mover el humanoide de un lugar al otro.

Para comenzar se debe implementar en cada uno de los servomotores el esquema electrónico que se muestra en la figura 64, se deberá realizar cada una de las conexiones con mucho cuidado para evitar daños y fallos en los servomotores así como en la tarjeta controladora



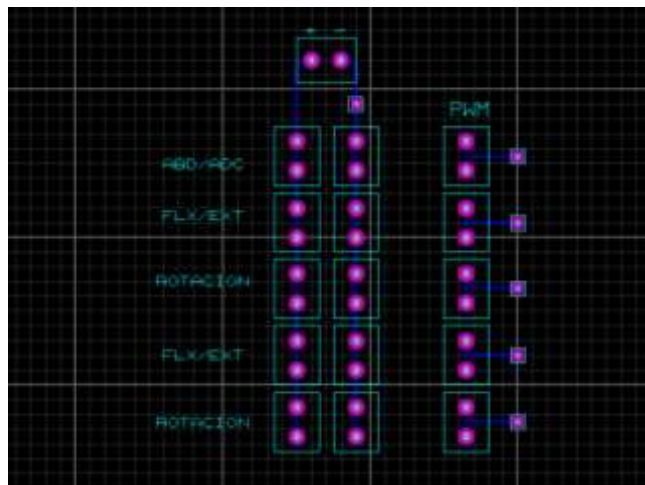
**Figura 64. Conexión para el control del servomotor**

Una vez realizada la conexión indicada se procede a generar el código de programación con la ayuda del software Arduino 1.0.6, la programación se debe realizar por partes para facilitar su entendimiento es decir partir por las muñecas, bíceps y hombros.

### **3.5. Construcción de placas electrónicas**

Para obtener un correcto funcionamiento de los dispositivos se debe realizar placas electrónicas las cuales puedan alimentar a los servomotores y transmitir la señal PWM de la tarjeta controladora Arduino y así realizar cada uno de los movimientos requeridos, a continuación en la figura 65 se

presenta el diseño de la placa a utilizar en el Software Isis Proteus 8 Profesional.



**Figura 65. Diseño de la placa de alimentación y control**

Una vez realizado el diseño con la ayuda del software se procede a su respectiva manufacturación, la cual consiste en imprimir el circuito en papel fotográfico, luego se procede a pegarlo en la placa mediante el método de transmisión de calor con ayuda de una plancha, finalmente se procede a realizar las perforaciones y colocar cada una de las borneras las cuales recibirán señales de alimentación y comunicarán los servomotores con la tarjeta controladora, la figura 66 muestra la placa finalizada.



**Figura 66. Placa de control finalizada**

### 3.6. Implementación del HMI

Respecto a la interfaz, se ocupará un pantalla táctil TFT Arduino de 5 pulgadas, con su respectiva Shield y un Arduino Mega 2560, esta pantalla nos ayudará a enviar las ordenes de cada uno de los movimiento que

deseamos realizar por medio del humanoide, dentro de la interfaz se realiza una pantalla de presentación resumida, la cual se encuentra detallada en la sección 2.3.10, en la figura 3.65 se puede observar el acople de la pantalla, shield y Arduino



**Figura 67. LCD TFT touch screen**

Fuente: (Sainsmart, 2010)

### **3.7. Recubrimiento del humanoide**

Para tener una mejor presentación del presente proyecto, se recurre a la idea de recubrir la estructura del interprete humanoide diseñado mediante un maniquí, al cual se le realiza ciertas modificaciones como: las dimensiones en el torso, recortar los hombros, realizar una compuerta en la parte posterior para poder introducir el humanoide, realizar un corte en la parte abdominal para colocar la pantalla, los brazos se realizan de forma modular ya que son partes sujetas a movimiento por lo cual no deben ser rígidas, estas modificaciones permitirán obtener un diseño amigable a la vista de los niños, en la siguiente figura se puede observar el resultado del maniquí modificado.



**Figura 68. Recubrimiento final del intérprete**

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

Ya finalizada la fase de construcción y ensamblaje, se procede al siguiente capítulo el cual comprende las pruebas y resultados del intérprete humanoide implementado, para corroborar su buen funcionamiento se pondrá a prueba cada uno de los movimientos programados midiendo el tiempo y los grados recorridos en cada articulación y realizando una comparación con los grados que debería moverse teóricamente, además se verificará su utilidad y finalmente se validará la hipótesis planteada, para esto, se realizará pruebas de funcionamiento con niños, los cuales al final de la terapia darán su calificación y satisfacción con el proyecto desarrollado .

#### **4.1. Rango de movimiento de cada articulación**

Los grados permisibles para el movimiento de cada articulación dependerán del servomotor seleccionado detallados en la sección 2.3.5, a continuación se especifican los rangos con los que trabajan.

##### **4.1.1. Rotación de la Muñeca**

Se da en un rango de 0 a 70° similar al movimiento realizado por una persona, ya verificado los diferentes requerimientos de funcionamiento se procede a la verificación del ángulo desplazado como se muestra en la figura 69.



**Figura 69. Ángulo de desplazamiento de la muñeca**

#### 4.1.2. Flexión – Extensión del Antebrazo

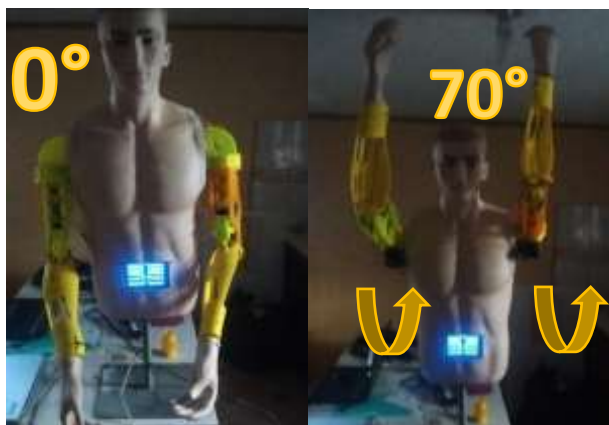
Para realizar el movimiento del antebrazo se toma un valor de 0 a 30°, se requiere de un mayor torque al utilizado en las muñecas ya que este soporta el peso de las manos. La posición inicial y el ángulo generado al final de la trayectoria por esta articulación se presentan en la figura 70.



**Figura 70. Posición inicial y final del antebrazo**

#### 4.1.3. Flexión – Extensión del Hombro

En el caso de la flexión y extensión del hombro se trabaja con un valor de 0 a 70°, se ha logrado levantar toda la extremidad superior sin dificultades, los detalles se muestran en la figura 71.



**Figura 71. Flexión- extensión del hombro**

#### 4.1.4. Abducción - Aducción del Hombro

Para realizar la acción señalada en el hombro se toma un rango de 0 a 35°, los requerimientos para el movimiento son similares al de la flexión-extensión, la figura 72 muestra la ejecución del mismo.



**Figura 72. Ángulo generado en abducción-aducción del hombro**

#### 4.1.5. Rotación del Hombro

Este es un movimiento compuesto ya que primero se realiza el movimiento de abducción y posteriormente se realiza la rotación del hombro, rota en un rango de 0 a 30°, en la figura 73 se puede apreciar dicho movimiento.

**30°**





**Figura 73. Rotación del hombro**

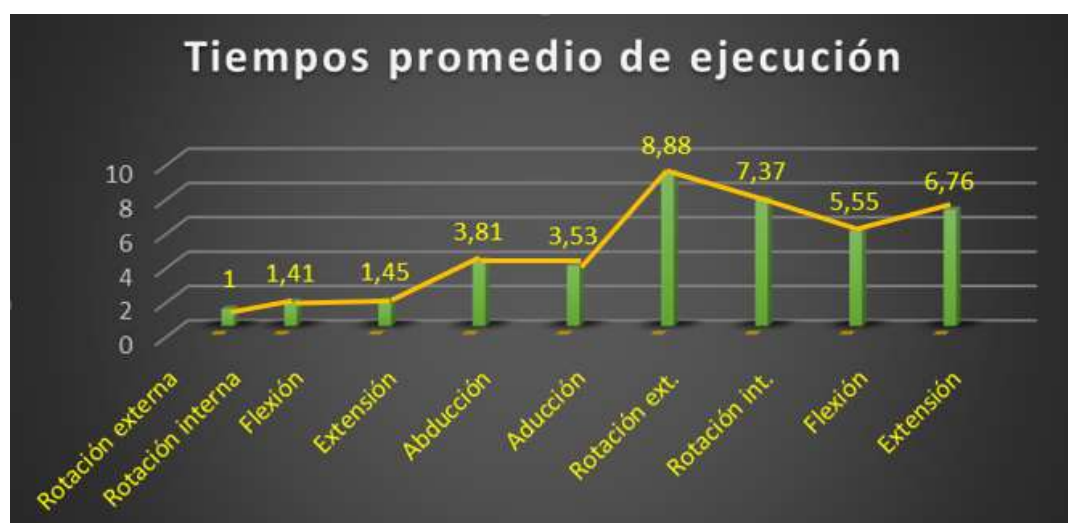
#### 4.2. Medición de tiempos en ejecutar cada movimiento.

Se presenta el tiempo empleado en cada movimiento programado, la tabla 18 muestra el promedio en cada articulación, estos datos permitirán una verificación posterior del buen funcionamiento del proyecto.

**Tabla 18.**  
**Tiempos de ejecución de movimientos**

Partes	Movimiento	Tiempo [seg]	Promedio
Muñecas	Rotación externa	1	1
	Rotación interna	1	1
Antebrazos	Flexión	1,41	1,41
		1,46	
	Extensión	1.38	1,45
		1,51	
Hombros	Abducción	1,56	3,81
		1,29	
		3,86	
	Aducción	3,74	3,53
		3,84	
		3,22	
Rotación ext.	3,67	8,88	
	3,71		
	9,38		
Rotación int.	8,63	7,72	
	8,65		

	7,15	7,37
	7,25	
<b>Flexión</b>	5,55	
	5,53	5,55
	5,57	
<b>Extensión</b>	7,16	
	6,33	6,76
	6,79	



**Figura 74. Tiempos promedio de ejecución**

La tabla comparativa de cada uno de los tiempos de ejecución mostrada en la figura 74 entrega los siguientes resultados, la rotación externa del hombro es el movimiento que más tiempo necesita 8.88 segundos para llegar de su posición inicial a la final, todo lo contrario ocurre con la rotación externa e interna de la muñeca únicamente necesita de 1 segundo para llegar a sus posiciones, por lo que se convierte en el movimiento más rápido.

#### **4.3. Cálculo del error en la ejecución de los movimientos**

La tabla 19 presenta los valores teóricos y medidos de los grados que intervienen en cada uno de los movimientos, estos valores permitirán realizar el cálculo del error mediante la Ec. 23.

**Tabla 19.**  
**Grados que intervienen en los movimientos de cada articulación**

Movimiento	Valor teórico	Valor medido	% de error
Rotación Muñeca	70°	67°	4.28%
Flex/Ext Antebrazo	30°	32°	6.67%
Flex/Ext Hombro	70°	68°	2.85%
Abd/Adc Hombro	35°	37°	5.7%
Rotación Hombro	30°	32°	6.67%

$$\%error = \left[ \frac{v.medido - v.teórico}{v.teórico} * 100 \right] \quad \text{Ec. 23.}$$

- *Rotación de la Muñeca*

$$\%error = \left[ \frac{67^\circ - 70^\circ}{70^\circ} * 100 \right]$$

$$\%error = 4.28 \%$$

- *Flex/Ext Antebrazo*

$$\%error = \left[ \frac{32^\circ - 30^\circ}{30^\circ} * 100 \right]$$

$$\%error = 6.67 \%$$

- *Flex/Ext Hombro*

$$\%error = \left[ \frac{68^\circ - 70^\circ}{70^\circ} * 100 \right]$$

$$\%error = 2.85 \%$$

- *Abd/Adc Hombro*

$$\%error = \left[ \frac{37^\circ - 35^\circ}{35^\circ} * 100 \right]$$

$$\%error = 5.7 \%$$

- *Rotación Hombro*

$$\%error = \left[ \frac{32^\circ - 30^\circ}{30^\circ} * 100 \right]$$

$$\%error = 6.67 \%$$



**Figura 75. Porcentaje de error en movimientos**

Ya finalizado los cálculos del error producido en cada movimiento se puede determinar mediante la figura 75 que el error máximo es de 6.67% y se produce en la flexión-extensión del antebrazo y la rotación del hombro mientras que el error mínimo producido es de 2.85% generado en la flexión-extensión del hombro, el motivo del error producido es el cambio de sensores en los servomotores utilizados, ya que estos al ser no lineales existe pequeñas variaciones en sus valores.

#### 4.4. Cálculo de la muestra de alumnos

Para la realización de las pruebas es necesario tomar una muestra del total de alumnos existentes en la unidad educativa para esto según (Navidi, 2006) se utiliza la Ec. 24.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{i^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * N * p * q} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

$n$  = Tamaño muestral

$Z_{\alpha}$  = Distribución de Gauss

$N =$  Población

$p =$  Prevalencia esperada del parametro a evaluar

$q = 1 - p$

$i =$  error que se prevé cometer

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{i^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

$$n = \frac{1.96_{0.05}^2 * 25 * 0.7 * 0.3}{0.2^2 * (25 - 1) + 1.96_{0.05}^2 * 0.7 * 0.3}$$

$$n = 11.41$$

#### 4.5. Prueba realizada a niños con capacidades especiales

En este punto se realizó pruebas con una muestra de 11 niños con capacidades especiales, con la supervisión de los padres de familia y profesores encargados de impartir la clase de terapia física en un lapso de tiempo de 1 hora, para obtener un veredicto confiable sobre el uso, importancia y ayuda que puede brindar el proyecto desarrollado.







Con la ayuda de las maestras de la institución se interactuó con los niños permitiéndoles observar, tocar de cerca al intérprete y de esta manera crear un grado de confianza, una vez realizado esto la profesora procede a dar las indicaciones que los niños deben seguir cada uno de los movimientos para tratar de imitarlo como se muestra en la figura 76.



**Figura 76. Instrucciones generales del docente**

Se realizó cada uno de los movimientos programados por el robot los cuales fueron aceptados e imitados por cada uno de los niños, captando de manera eficiente su atención y su intención de interactuar con el robot, a continuación se detalla la tabla 20 la cual muestra imágenes del trabajo realizado por los niños y el humanoide con cada uno de los movimientos programados.

**Tabla 20.**  
**Pruebas realizada con los niños**

MOVIMIENTOS	EJECUCIÓN
Rotación / muñecas	
Flexión - Extensión/ hombros	 
Abducción – Aducción / hombros	 
Rotación / hombros	

A continuación se presenta una evaluación individual de la ejecución de cada uno de los movimientos en diferentes pruebas para determinar la mejora motriz en los alumnos de la institución.

Los resultados de la evaluación de cada actividad se controlan ubicando a los niños en tres categorías, **B**: Buen desarrollo de las actividades. **R**: Regular desarrollo de las actividades. **M**: No realiza correctamente las actividades.

En las tablas presentadas se detalla las calificaciones obtenidas por los estudiantes en las tres pruebas ejecutadas, además se realiza una sumatoria expresada en porcentaje de cada una de ellas.

**Tabla 21.**  
**Evaluación de la rotación de la muñeca.**

Alumno	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	% B	%R	%M
1	M	M	R	-	33.33	66.67
2	M	R	R	-	66.67	33.33
3	M	M	R	-	33.33	66.67
4	R	R	B	33.33	66.67	-
5	R	R	R	-	100	-
6	M	R	R	-	66.67	33.33
7	R	R	B	33.33	66.67	-
8	M	R	R	-	66.67	33.33
9	M	R	R	-	66.67	33.33
10	M	M	R	-	33.33	66.67
11	M	M	R	-	66.67	33.33
<b>Total</b>				<b>6.06%</b>	<b>60.60%</b>	<b>33.34%</b>

**Tabla 22.**  
**Evaluación de la flexión-extensión antebrazo**

Alumno	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	% B	%R	%M
1	M	R	R	-	66.67	33.33
2	M	R	B	33.34	33.33	33.33
3	M	M	R	-	33.33	66.67
4	R	B	B	66.67	33.33	-
5	R	B	B	66.67	33.33	-

6	M	R	R	-	66.67	33.33
7	R	R	B	33.33	66.67	-
8	M	R	R	-	66.67	33.33
9	M	R	B	33.34	33.33	33.33
10	M	M	R	-	33.33	66.67
11	M	M	B	33.33	66.67	
<b>Total</b>				<b>24.24%</b>	<b>48.48%</b>	<b>27.27%</b>

**Tabla 23.**  
**Evaluación de Flexión-Extensión del hombro**

Alumno	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	% B	%R	%M
1	R	R	R	-	100	-
2	M	B	R	33.34	33.33	33.33
3	M	R	R	-	66.67	33.33
4	B	R	B	66.67	33.33	-
5	M	R	R	-	66.67	33.33
6	R	B	B	66.67	33.33	-
7	R	R	B	33.33	66.67	-
8	R	R	R	-	100	-
9	B	B	R	66.67	33.33	-
10	M	M	R	-	33.33	66.67
11	M	M	R	-	33.33	66.67
<b>Total</b>				<b>24.24%</b>	<b>54.54%</b>	<b>21.21%</b>

**Tabla 24.**  
**Evaluación abducción-aducción del hombro**

Alumno	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	% B	%R	%M
1	M	R	R	-	66.67	33.33
2	M	R	R	-	66.67	33.33
3	M	M	R	-	33.33	66.67
4	R	B	B	66.67	33.33	-
5	R	R	R	-	100	-
6	R	B	B	66.67	33.33	-
7	R	B	B	66.67	33.33	-
8	R	R	B	33.33	66.67	-
9	R	B	B	66.67	33.33	-



<b>10</b>	M	R	R	-	66.67	33.33
<b>11</b>	M	R	R	-	66.67	33.33
<b>Total</b>				<b>27.27%</b>	<b>54.54%</b>	<b>18.18%</b>

**Tabla 25.**  
**Evaluación de rotación del hombro**

Alumno	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	% B	%R	%M
1	M	R	R	-	66.67	33.33
2	M	R	R	-	66.67	33.33
3	M	R	R	-	66.67	33.33
4	R	B	B	66.67	33.33	-
5	R	R	R	-	100	-
6	R	B	B	66.67	33.33	-
7	R	B	B	66.67	33.33	-
8	R	B	B	66.67	33.33	-
9	R	B	B	66.67	33.33	-
10	M	R	R	-	66.67	33.33
11	M	R	R	-	66.67	33.33
<b>Total</b>				<b>30.30%</b>	<b>54.54%</b>	<b>15.15%</b>

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la evaluación mostrada anteriormente.

**Tabla 26.**  
**Resumen de la evaluación a Estudiantes**

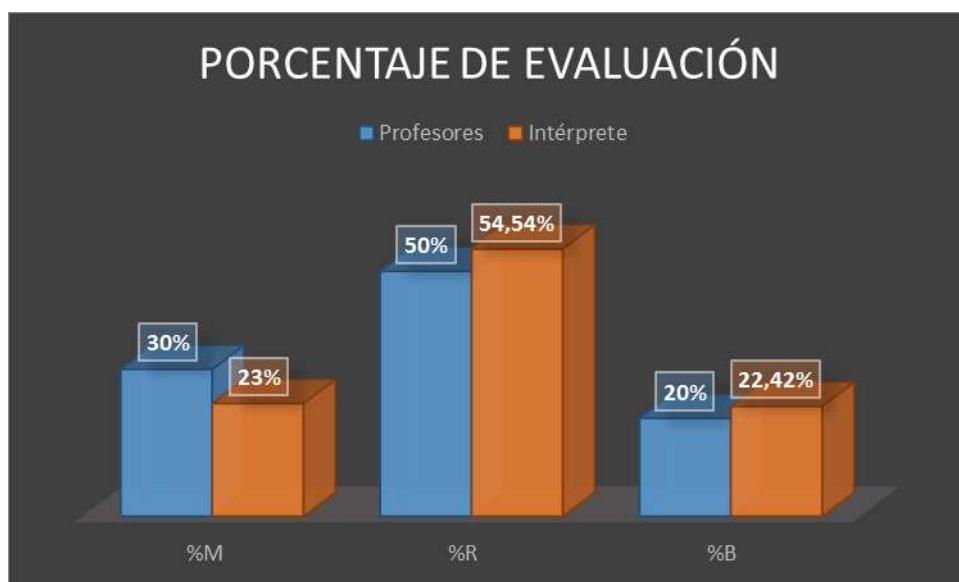
Movimiento	%M	%R	%B
Abd/Adc	18.18	54.54	27.27
Rotación Hombro	15.15	54.54	30.30
Flx/Ext Hombro	21.21	54.54	24.24
Flx/Ext Antebrazo	27.27	48.48	24.24
Rot. Muñeca	33.33	60.60	6.06
<b>Total</b>	<b>23%</b>	<b>54.54%</b>	<b>22.42%</b>

Para realizar una comparación se llevó a cabo la misma evaluación de la ejecución de los movimientos, en este caso impartidos por el docente, la tabla 27 muestra los resultados globales obtenidos.

**Tabla 27.**  
**Porcentajes de evaluación.**

	%M	%R	%B
<b>Total</b>	30%	50%	20%

Una vez obtenidos los datos tanto de la clase impartida por el intérprete como por el docente se realiza una comparación de los porcentajes globales generados en la ejecución de cada movimiento realizado como se muestra en la figura 77, para posteriormente realizar un análisis de las ventajas y desventajas de cada una de ellas.



**Figura 77. Comparación de porcentajes obtenidos**

Para el mejoramiento de la motricidad gruesa es necesario realizar un análisis del tiempo de atención prestada por los niños en la clase, por lo que a continuación se presenta en la figura 78 una gráfica comparativa de los tiempos obtenidos en una clase impartida por el intérprete y por el docente a cargo.



**Figura 78. Tiempo de atención prestada en una clase impartida**

#### **4.6. Resultados obtenidos**

Al realizar las diferentes pruebas del intérprete junto a alumnos, docentes y padres de familia de la institución se han obtenido los siguientes resultados:

- Una vez realizadas las evaluaciones con el docente y el intérprete se puede observar que en ambos casos prevalece la ejecución de los movimientos en forma regular.
- Al analizar los resultados descritos en la figura 77 en donde se realiza una comparación del porcentaje de la ejecución de los movimientos existe una diferencia del 4.54% a favor del intérprete, corroborando de esta manera el fin para el cual fue desarrollado el presente proyecto.
- Los niños prestaron atención a la maestra durante un lapso de tiempo de 20 minutos, mientras que con el humanoide la atención fue de 25 minutos por lo que el impacto visual obtenido se dio de forma favorable al obtener un 25% más de atención a comparación de una clase estándar impartida por el docente.
- La mejora de la motricidad en los niños es progresiva ya que en la primera prueba prevaleció un resultado poco favorable a diferencia de la

tercera en donde la ejecución de los movimientos fueron en su mayoría regulares.

- El intérprete está en la capacidad de desarrollar un alto número de repeticiones de los movimientos, lo que es de gran ayuda para el docente.
- En las pruebas realizadas el intérprete fue manipulado por docentes y padres de familia por lo que se determinó que la clase de terapia puede ser impartida por cualquier persona con la ayuda del mismo.
- Al interactuar con un equipo novedoso se generó la confianza y motivación necesaria para que los niños imiten los movimientos realizados por el humanoide de forma correcta.

#### **4.7. Validación de la Hipótesis**

La hipótesis planteada es la siguiente:

¿La implementación de un intérprete humanoide en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi mejorará la motricidad en los niños con capacidades especiales al iniciar su etapa escolar?

- **Variables Dependientes**

Mejorar la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales.

- **Variables Independientes**

Intérprete Humanoide

Para la validación de la hipótesis se utiliza la técnica de chi-cuadrado, es una prueba de hipótesis la cual determina si dos variables están relacionadas o no. (Rivera, 2011)

En primer lugar se debe establecer una hipótesis nula ( $H_0$ ) y una hipótesis de trabajo ( $H_1$ ).

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): El intérprete humanoide no mejorará la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales.
- Hipótesis de Trabajo ( $H_1$ ): El intérprete humanoide mejorará la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales.

Se procede a realizar una evaluación a las personas presentes en las pruebas de funcionamiento para obtener datos acerca de la frecuencia observada.

**Tabla 28.**  
**Datos obtenidos de la frecuencia observada**

Movimiento	Muy Bueno	Bueno	Regular	Total
Abd/Adc	4	6	1	11
Rotación Hombro	5	6	0	11
Flx/Ext Hombro	4	5	2	11
Flx/Ext Antebrazo	6	3	2	11
Rot. Muñeca	2	6	3	11
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>55</b>

Una vez obtenidos los datos de la frecuencia observada ( $O_i$ ) se procede al siguiente paso el cual es calcular la frecuencia esperada ( $E_{ij}$ ). Definido por la Ec. 25. (Navidi, 2006)

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O} \quad \text{Ec. 25.}$$

Donde:

$O_i$ = Frecuencia Observada

$E_{ij}$ = Frecuencia Esperada

$O$ = Total

Teniendo como resultado los datos presentados en la tabla 29.

**Tabla 29.**  
**Resultados del cálculo de la frecuencia esperada.**

Movimiento	Muy Bueno	Bueno	Regular	Total
Abd/Adc	4.2	5.2	1.6	11
Rotación Hombro	4.2	5.2	1.6	11
Flx/Ext Hombro	4.2	5.2	1.6	11
Flx/Ext Antebrazo	4.2	5.2	1.6	11
Rot. Muñeca	4.2	5.2	1.6	11
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>55</b>

Por último se realiza el cálculo final del chi – cuadrado con ayuda de la Ec. 26. (Navidi, 2006)

$$X_{cal}^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad \text{Ec. 26.}$$

Donde:

$X_{cal}^2$  = Chi cuadrado calculado

i = Número de filas

j = Número de columnas

Con lo cual se obtiene los resultados presentados en la tabla 30.

**Tabla 30.**  
**Resultados del Chi - Cuadrado**

Movimiento	Muy Bueno	Bueno	Regular
Abd/Adc	0.01	0.12	0.23
Rotación Hombro	0.15	0.12	1.6
Flx/Ext Hombro	0.01	0.008	0.1
Flx/Ext Antebrazo	0.8	0.93	0.1
Rot. Muñeca	1.15	0.008	1.23
Total	2.12	1.18	3.26
<b>Total</b>	<b>= 6.56</b>		

Es necesario el cálculo del grado de libertad por lo que se recurre a la Ec. 27.

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1)(\text{cantidad de columnas} - 1) \quad \text{Ec. 27.}$$

$$v = (5 - 1)(3 - 1)$$

$$v = 8$$

Por lo general se trabaja con un nivel de significancia de 0.05, lo que indica que se espera un alto grado de funcionalidad del proyecto.

Valor del parámetro  $p$  se calcula mediante la Ec. 28.

$$p = 1 - \text{nivel de significancia} \quad \text{Ec.28.}$$

$$p = 1 - 0.05$$

$$p = 0.95$$

Con los presentes valores se recurre al anexo H en la cual seleccionamos el valor correspondiente.

$$\text{Chi-Cuadrado tabulado} = 2.7326$$

### Conclusión:

$$X_{cal}^2 > X_{tab}$$

$$6.56 > 2.7326$$

Entonces se acepta la hipótesis de trabajo que dice: “El intérprete humanoide mejorará la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales.”

### 4.8. Análisis de costos

Al terminar la etapa de construcción, ensamblaje y pruebas del proyecto, es importante realizar un análisis de costos, teniendo en cuenta cada uno de los gastos generados para establecer un valor, es necesario mencionar que las muñecas y los antebrazos fueron impresos en el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se utilizó un cartucho de material de modelado y un cartucho de material de soporte, el resto del proyecto fue impreso de manera particular, a continuación en la tabla 31 se detalla una lista con cada uno de los gastos.

**Tabla 31.**  
**Detalle de costos**

Ítem	Unidades	Valor	Total
<b>Impresión 3D</b>			940
<b>Servomotores</b>	10	48	480
<b>Pantalla</b>	1	84	84
<b>Arduino</b>	1	50	50
<b>Mat. Electro.</b>		30	30
<b>Fuente</b>	1	25	25
<b>Base</b>	1	30	30
<b>Maniquí</b>	1	300	300
<b>Grasa</b>	1	4	4



<b>Pegamento, tornillos</b>	15	15
<b>Total</b>	<b>1928</b>	

Al detallar cada uno de los gastos incurridos, la manufacturación del proyecto tiene un costo de USSD 1928, siendo el gasto más elevado la impresión de cada una de las piezas.

Al no existir proyectos relacionados al realizado no se puede desarrollar un análisis de costos comparativo.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- Se desarrolló de forma satisfactoria la implementación de un intérprete humanoide el cual ayudará a mejorar la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales.
- Una vez realizada cada una de las pruebas se obtuvo una mejora del 4.54% en la ejecución de los movimientos, lo cual favorece al desarrollo de la motricidad gruesa en niños con capacidades especiales.
- El tiempo de atención prestado por los niños presento un aumento del 25% a comparación de una clase normal impartida por el docente, con lo cual los niños desarrollarán sus habilidades motrices en un lapso de tiempo menor.
- Al ser un equipo automatizado está en la capacidad de realizar el número de repeticiones de ejercicios que el docente requiera en cada una de sus clases.
- Una vez realizada la prueba de funcionabilidad las maestras expresaron su satisfacción con la ayuda que puede brindar el presente proyecto, ya que cualquier persona está en la capacidad de manipular el intérprete.
- El diseño de la interfaz gráfica fue realizada cumplimiento con las consideraciones destinadas a los niños y docentes de la institución, presenta un diseño fácil de manejar con lo que se consigue que el docente tenga un rápido acceso a cada uno de los movimientos.
- Al implementar una pantalla como medio de control permite que el sistema sea autónomo facilitando así la movilidad del proyecto ya que se evita la instalación de un computador.

- El humanoide posee medidas antropométricas de una persona adulta promedio, lo que asegura una excelente interacción con los niños al poseer una apariencia amigable.
- La implementación de este tipo de proyectos permite que las instituciones de educación especial cuenten con sistemas tecnológicos logrando que las clases impartidas sean más didácticas al generar la confianza y motivación necesaria.
- El desarrollo de la motricidad gruesa es de gran importancia ya que de esto depende un buen desempeño del niño en el entorno, por lo que la implementación de este proyecto cumple con las expectativas del docente y alumnos de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi.
- Los movimientos programados son los requeridos por los profesores encargados de impartir la clase de terapia física, lo cual conlleva a un desarrollo integral en sus capacidades motrices.
- Cada uno de los movimientos fue supervisado y aprobado por las maestras de la institución, lo cual nos asegura su fiabilidad para el desarrollo motriz.
- Se realizó la recolección de información necesaria acerca de los diferentes movimientos requeridos en una clase de terapia física para determinar así la programación del intérprete humanoide.
- Se realizó los cálculos correspondientes para el diseño y selección del sistema mecánico y de control con lo que se logró un diseño adecuado a los requerimientos planteados.
- El intérprete humanoide fue construido con material ABS lo cual garantiza que el sistema sea resistente y ligero facilitando su manipulación.
- El sistema mecánico fue recubierto por un maniquí, logrando una apariencia similar al ser humano y proporcionando seguridad a los diferentes componentes del sistema.

## 5.2. Recomendaciones

- La fuente de alimentación debe ser conectada a 110V AC y a su vez la tarjeta de control a 5V DC y 1 A.
- Los ángulos de movimiento de cada una de las articulaciones no deben sobrepasar los valores establecidos en la sección 4.1.
- El intérprete no debe ser expuesto a la interperie para evitar posibles daños mecánicos o electrónicos.
- Por seguridad del sistema diseñado se recomienda evitar la ejecución de movimientos combinados, regirse a un movimiento a la vez.
- Se recomienda continuar con la investigación relacionada a este proyecto enfocado al mejoramiento de la motricidad fina con lo que se logrará una atención completa al mejoramiento de la motricidad infantil.
- Se recomienda que en la implementación de proyectos relacionados se utilice formas y colores llamativos para receptar de mejor manera la atención de los niños.
- Se recomienda disminuir los tiempos empleados en la ejecución de cada uno de los movimientos realizados por el humanoide.
- Al estar destinado el proyecto a niños con capacidades especiales es necesario socializar para conocer de forma directa sus necesidades y lograr así cumplir con sus expectativas y necesidades.
- Buscar ayuda de los profesores entendidos en la materia de Terapia Física y de esta manera poder comprender cada uno de los movimientos realizados para posteriormente poder programarlos en la plataforma Arduino.
- Al ser un tratamiento de resultados progresivos es necesario buscar una mayor interacción con los niños por lo que se recomienda mejorar la forma de captar la atención al momento de ejecutar los movimientos.

- No se deberá asumir ninguna medida, cada una de ellas debe estar sustentada por algún autor o demostrada con pruebas de operación basados en algún estudio anterior relacionado al tema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alina, P. (Mayo de 2006). *Monografías.com*. Recuperado el 15 de 03 de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos36/maquinas-electricas/maquinas-electricas2.shtml>
- Bustillos, M. B. (2015). *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*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL, Ingeniería Mecatrónica, Latacunga. Recuperado el 17 de 01 de 2016
- Cabás Ormaechea, L. M. (29 de Septiembre de 2009). *Mecatrónica bioinspirada de robots humanoides de tamaño natural*. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/5709>
- CORSINO, E. L. (12 de Diciembre de 2000). *ARTICULACIONES Y MOVIMIENTOS*. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de <http://www.saludmed.com/CsEjerci/Cinesiolo/Articula.html>
- Corsino, E. L. (25 de 05 de 2005). *ARTICULACIONES Y MOVIMIENTOS*. Recuperado el 2016 de 01 de 12, de <http://www.saludmed.com/CsEjerci/Cinesiolo/Articula.html>
- Criado, A. N. (Junio de 2009). *Análisis de los accionadores del robot humanoide RH-2*. Recuperado el 28 de Enero de 2016, de [https://www.researchgate.net/publication/41505223\\_Analisis\\_de\\_los\\_accionadores\\_del\\_robot\\_humanoide\\_RH-2](https://www.researchgate.net/publication/41505223_Analisis_de_los_accionadores_del_robot_humanoide_RH-2)
- Dixon, R. (30 de 08 de 2012). *Cuerpo Humano: Partes y Funciones*. Recuperado el 01 de 12 de 2016, de [http://www.ehowenespanol.com/cuerpo-humano-partes-funciones-sobre\\_42168/](http://www.ehowenespanol.com/cuerpo-humano-partes-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>

- González, A. (2008). *Aprendamos Tecnología*. Recuperado el 14 de 03 de 2016, de <https://aprendemostecnologia.org/2009/03/19/el-tornillo-sinfin-y-la-rueda-dentada/>
- Guanonchaca, L. (30 de 09 de 2013). *Motricidad Gruesa*. Recuperado el 15 de 01 de 2016, de <http://es.slideshare.net/lorenaguanochanga/motricidad-gruesa-27756507>
- Hassan, K. a. (12 de Julio de 2011). *Metodología para el Desarrollo de un Manipulador Móvil Autónomo con Características Antropométricas*. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/12515>
- Hernández Torres, M. (Enero de 2012). *ROBOT HUMANOIDE CON 14 GDL*. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12960?show=full>
- Julius Panero, M. Z. (1979). *Human Dimension and Interior space*. United states: Copyright.
- Larburu, N. (1980). *Técnica del Dibujo*. Madrid: PARANINFO.
- Maschwitz, I. (25 de Enero de 2012). *JUEGOS RECREATIVOS PARA NIÑOS*. Recuperado el 29 de Enero de 2016, de <http://cosquillitasenlapanza2011.blogspot.com/2012/01/juegos-recreativos-para-ninos.html>
- Mecatrónica, D. d. (28 de Agosto de 2007). *Diseño de un Sistema Emulando el Movimiento Articulado de una Mano, Brazo y Antebrazo*. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de <http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-mktro/submenus/investigacion/tesis/34-35%20Carlos%20Hernandez%20Santos%20-%20Carlos%20Francisco%20Montoya%20Mejia.pdf>
- Melo, J. L. (2011). Recuperado el 05 de 11 de 2014, de [http://www.fiso-web.org/files/Antropometria\\_Lic.%20Melo.pdf](http://www.fiso-web.org/files/Antropometria_Lic.%20Melo.pdf)
- Mott-Robert. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. México D.F.: Pearson Educación.
- Navidi. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Products, G. (08 de 2016). *ARDUINO*. Recuperado el 25 de 02 de 2016, de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- Riera, A. M. (02 de 12 de 2013). *netmoms*. Recuperado el 2016 de 01 de 14, de <http://www.netmoms.es/revista/ninos/desarrollo-infantil/motricidad-gruesa/>
- Rivera, J. (23 de 05 de 2011). *Prueba Chi - Cuadrado*. Recuperado el 08 de 08 de 2016, de <http://es.slideshare.net/armando310388/prueba-chic cuadrado>

Ruiz, L. (04 de 11 de 2014). *Cuales son las extremidades del cuerpo humano*. Recuperado el 14 de 01 de 2016, de <http://educacion.uncomo.com/articulo/cuales-son-las-extremidades-del-cuerpo-humano-24392.html>

Sainsmart. (18 de 10 de 2010). *Sainsmart Products*. Recuperado el 25 de 03 de 2016, de <http://www.sainsmart.com/sainsmart-extend-tft-lcd-shield-for-arduino-due-5-7-inch-lcd-display.html/>

Stewart, E. (2009). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Robot\\_humanoide](https://es.wikipedia.org/wiki/Robot_humanoide)

Valero, E. (2011). *ANTROPOMETRÍA*. Recuperado el 4 de 11 de 2014, de <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Diseno%20del%20puesto/DTEAntropometriaDP.pdf>

# ANEXOS





**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los señores **ALBA ESTEFANIA PILATASIG ZAMBRANO** y **GUIDO SANTIAGO NÚÑEZ VILLACÍS**.

En la ciudad de Latacunga, a los 24 días del mes de Octubre del 2016.

Aprobado por:

Ing. Fausto V. Acuña  
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Vicente Hallo  
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca  
SECRETARIO ACADEMICO