



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

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

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE DOS MANOS
ROBÓTICAS, CONTROLADAS POR TECLADO Y VOZ
MEDIANTE ANDROID, PARA REALIZAR OPERACIONES
MATEMÁTICAS BÁSICAS EN LA UNIDAD EDUCATIVA
ESPECIALIZADA COTOPAXI.**

**AUTORES: DIANA MARICELA CURICHO RONQUILLO
FREDDY BAYARDO MOLINA BELTRÁN**

**DIRECTOR: ING. ERNESTO SANTILLÁN
CODIRECTOR: ING. MARCO SINGAÑA**

LATACUNGA

2015



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE DOS MANOS ROBÓTICAS, CONTROLADAS POR TECLADO Y VOZ MEDIANTE ANDROID, PARA REALIZAR OPERACIONES MATEMÁTICAS BÁSICAS EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI*” realizado por los señores *DIANA MARICELA CURICHO RONQUILLO* y *FREDDY BAYARDO MOLINA BELTRÁN*, 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 *DIANA MARICELA CURICHO RONQUILLO* y *MOLINA BELTRÁN FREDDY BAYARDO* para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de agosto del 2015

ING. ERNESTO SANTILLÁN

DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **DIANA MARICELA CURICHO RONQUILLO**, con cédula de identidad N° 0502924277 y **FREDDY BAYARDO MOLINA BELTRÁN**, con cédula de identidad N° 0503403289, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE DOS MANOS ROBÓTICAS, CONTROLADAS POR TECLADO Y VOZ MEDIANTE ANDROID, PARA REALIZAR OPERACIONES MATEMÁTICAS BÁSICAS 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 declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 20 de agosto del 2015

DIANA MARICELA CURICHO RONQUILLO

C.C.: 0502924277

FREDDY BAYARDO MOLINA BELTRÁN

C.C.: 0503403289



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **DIANA MARICELA CURICHO RONQUILLO** y **FREDDY BAYARDO MOLINA BELTRÁN**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE DOS MANOS ROBÓTICAS, CONTROLADAS POR TECLADO Y VOZ MEDIANTE ANDROID, PARA REALIZAR OPERACIONES MATEMÁTICAS BÁSICAS EN LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 20 de agosto del 2015

DIANA MARICELA CURICHO RONQUILLO

C.C.: 0502924277

FREDDY BAYARDO MOLINA BELTRÁN

C.C.: 0503403289

DEDICATORIA

A Dios por la salud y fortaleza, necesarios para no desmayar en este camino, por ofrecerme sus fuerzas, cuando las mías, parecían desaparecer.

A mis padres Elvita y Oswaldo, por su amor, apoyo y confianza absoluta, pues fueron mí fortaleza en momentos difíciles. A mi ángel, quien inicio conmigo este sueño y me alentó desde el cielo a seguir hasta cumplir mi objetivo. A mi mejor amigo, por su apoyo incondicional en momentos difíciles.

A mis hermanos y demás familiares por su entrega, paciencia, cariño y ejemplo de superación.

A todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.

Diana Maricela Curicho Ronquillo.

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y fortaleza para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Fanny, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi padre Cristóbal, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Freddy Bayardo Molina Beltrán.

AGRADECIMIENTO

A Dios ante todo por la vida, y a la vida por enseñarme a superar retos que se presentaron en el camino a la obtención de mi título profesional y hacer de este, el inicio de muchos a futuro.

A mis padres, hermanos y demás familiares; pilares fundamentales en mi formación personal y académica, por inculcarme principios, valores morales y fe, a ustedes me debo, y no me alcanzará la vida para retribuirles el apoyo y confianza que han depositado en mí.

A mis amigos y amigas; por todas las experiencias compartidas, y por el inmenso cariño brindado.

A los docentes de la ESPE - Latacunga y más personas que colaboraron en el desarrollo del proyecto de tesis.

De manera especial agradezco a los ingenieros: Ernesto Santillán, Marco Singaña y Vicente Hallo, por su apoyo académico y moral a la hora de resolver inquietudes que se presentaron a lo largo del desarrollo de este proyecto, lo que hizo posible culminar de la mejor forma este proyecto de grado.

A ustedes, un infinito GRACIAS!

Diana Maricela Curicho Ronquillo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE

1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Línea base	2
1.3	Robótica educativa	2
1.4	Discapacidad	3
1.4.1	Discapacidad intelectual	3
1.4.2	Trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH)	4
1.5	La mano humana	6
1.5.1	Anatomía de la mano humana	6
1.5.2	Movimientos de la Mano humana	6
1.6	Manos robóticas	8
1.6.1	Mano robótica UTAH-MIT	8
1.6.2	Mano Standford-JPL	8
1.6.3	Mano robótica DLR-HAND	9
1.6.4	Mano robótica DIST-HAND	9
1.6.5	Mano Robonaut	10
1.6.6	Mano robótica TUAT/Karlsruhe	10
1.6.7	Mano robótica antropomórfica Gifu-Hand	11
1.6.8	Mano robótica NAIST	11

1.6.9	Mano antropomorfa	11
1.6.10	Mano robótica multiarticulada	12
1.6.11	Mano robótica InMoov	12
1.7	Proyectos relacionados.....	13
1.8	Comunicación inalámbrica	15
1.9	Sistema Operativo Android.....	17
1.9.1	Características de Android	18
1.10	Dispositivos móviles	18
1.11	Aplicaciones móviles	19
1.11.1	App Inventor	20
1.11.2	Ejemplos de aplicaciones móviles.	21

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1	Metodología de diseño	23
2.1.1	Definición requisitos y especificaciones.....	23
2.1.2	Diseño conceptual.....	25
2.2	Subsistemas.....	30
2.2.1	Diseño del sistema mecánico	30
2.2.2	Selección de componentes mecánicos	49
2.2.3	Diseño de la aplicación móvil.....	50
2.2.4	Diseño del sistema de control	52
2.2.5	Diseño del algoritmo de la tarjeta de control	57

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

2.3	Tecnología de construcción	58
2.3.1	Operaciones tecnológicas.....	59
2.3.2	Diagrama de procesos del sistema	59
2.3.3	Proceso de montaje	63
2.4	Implementación del sistema de control.....	64
2.4.1	Implementación de la aplicación Android.	66
2.4.2	Implementación del algoritmo de control para reconocimiento de voz.....	68
2.5	Análisis económico	69

2.5.1	Costos por utilización de máquinas (CUM).....	70
2.5.2	Costo de mano de obra (CMO).....	70
2.5.3	Costo de diseño (CD).....	70
2.5.4	Costo total	71
2.6	Protocolo de pruebas.....	71
2.6.1	Pruebas de las manos robóticas.....	71
2.6.2	Pruebas del reconocimiento de voz.....	73
2.6.3	Validación de la hipótesis.	76
2.7	Manual de usuario.....	76

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.8	Conclusiones	77
2.9	Recomendaciones	78

BIBLIOGRAFÍA.....	80
--------------------------	-----------

LINKOGRAFÍA.....	81
-------------------------	-----------

GLOSARIO	86
-----------------------	-----------

ANEXOS	88
---------------------	-----------

ANEXO A: Planos mecánicos.

ANEXO B: Código de programación.

ANEXO C: Especificaciones técnicas.

ANEXO D: Casa de la calidad (Matriz 2 y 3).

ANEXO E: Manual de usuario.

ANEXO F: Artículo Científico.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ángulos de flexión de los dedos	6
Tabla 2 Medidas en milímetros para los dedos de la mano.	7
Tabla 3 Dimensiones de la palma de la mano.....	7
Tabla 4 Ventajas y desventajas de las conexiones inalámbricas.....	16
Tabla 5 Especificaciones Técnicas.....	26
Tabla 6 Posibles soluciones del Nivel 1.....	28
Tabla 7 Importancia de cada criterio.....	28
Tabla 8 Materiales para impresión 3D.....	49
Tabla 9 Características básicas de las tarjetas de control ARDUINO	53
Tabla 10 Comparación de Tecnologías de Comunicación Inalámbrica.....	55
Tabla 11 Máquinas y equipos	58
Tabla 12 Herramienta Y/O Accesorios	58
Tabla 13 Operaciones tecnológicas.....	59
Tabla 14 Simbología del diagrama de procesos.....	59
Tabla 15 Operaciones de montaje.....	63
Tabla 16 Costos de materiales (CM).....	69
Tabla 17 Costo de alquiler de equipo.....	70
Tabla 18 Costo de mano de obra.....	70
Tabla 19 Costo de diseño	70
Tabla 20 Costo total	71
Tabla 21 Extensión de los dedos.....	72
Tabla 22 Datos obtenidos durante el ensayo.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Discapacidad Intelectual.....	4
Figura 2 Hiperactividad en niños de 3 años.....	4
Figura 3 Huesos que conforman la mano y muñeca humana.....	6
Figura 4 Dimensiones lineales de la mano.....	7
Figura 5 Mano UTAH/MIT Dextrous.....	8
Figura 6 Mano Stanford-JPL.....	9
Figura 7 Mano robótica DLR-HAND II	9
Figura 8 Mano DIST	10
Figura 9 Robot antropomórfico Robonaut	10
Figura 10 Mano robótica TUAT/Karlsruhe	10
Figura 11 Mano Robótica: a) GIFU HAND II, b) KH Hand Type S	11
Figura 12 Mano robótica NAIST	11
Figura 13 Evolución de la mano antropomorfa.....	12
Figura 14 Mano robótica multiarticulada.....	12
Figura 15 Mano robótica InMoov.....	13
Figura 16 Pruebas de la aplicación de Gorlewicz	14
Figura 17 Mano robótica InMoov	14
Figura 18 Fritz: una marioneta robótica.....	14
Figura 19 Mano robótica.....	15
Figura 20 Mano biónica i-LIMB ultra revolution	15
Figura 21 Tipos de comunicaciones inalámbricas	16
Figura 22 Rangos de comunicación	16
Figura 23 Logo de Android.....	17
Figura 24 Arquitectura del sistema Android	17
Figura 25 Dispositivos móviles.....	18
Figura 26 Entorno de programación de Android Studio.....	19
Figura 27 Diagrama de funcionamiento de App Inventor	20
Figura 28 Aplicación clínica	22
Figura 29 Casa de la calidad para las manos robóticas	25
Figura 30 Diagramas funcionales.....	27
Figura 31 Diseño de un dedo de la mano robótica.....	30
Figura 32 Falange distal	31

Figura 33 Base de la falange distal	31
Figura 34 Propiedades físicas de la falange distal	31
Figura 35 Diagrama de cuerpo libre de la falange distal	32
Figura 36 Diagrama de fuerzas cortantes de la falange distal.....	32
Figura 37 Diagrama de momentos flectores de la falange distal	33
Figura 38 Vista de sección de la falange distal	34
Figura 39 Factor de seguridad en falange distal.....	35
Figura 40 Falange media.....	36
Figura 41 Propiedades físicas de la falange media y distal.....	36
Figura 42 Diagrama de cuerpo libre de la falange media	37
Figura 43 Diagrama de fuerzas cortantes de la falange media.....	37
Figura 44 Diagrama de momentos flectores de la falange media	37
Figura 45 Vista de sección de la falange media.....	38
Figura 46 Factor de seguridad en falange Media	39
Figura 47 Falange proximal	39
Figura 48 Propiedades físicas de la falange proximal, media y distal	40
Figura 49 Diagrama de cuerpo libre falange proximal	40
Figura 50 Diagrama de fuerzas cortantes de la falange proximal.....	40
Figura 51 Diagrama de momentos flectores de la falange proximal	41
Figura 52 Vista de sección de la falange proximal	41
Figura 53 Factor de seguridad en falange proximal.....	43
Figura 54 Palma	43
Figura 55 Antebrazo y base de los servomotores.....	44
Figura 56 Base para las manos robóticas	44
Figura 57 Propiedades físicas de la mano robótica obtenidas de SolidWorks.....	44
Figura 58 Diagrama de cuerpo libre de la base.....	45
Figura 59 Diagrama de fuerzas cortantes de la base	45
Figura 60 Diagrama de momentos flectores de la base.....	46
Figura 61 Factor de seguridad en base de mano robótica	47
Figura 62 Distancia máxima	48
Figura 63 Modelado final de las manos robóticas	49
Figura 64 Diagrama de flujo de la aplicación Android.....	51
Figura 65 Arduino UNO R3.....	54
Figura 66 Servo driver Adafruit PCA9685	54

Figura 67 Módulo Bluetooth JY-MCU (HC-06)	56
Figura 68 Diagrama de bloques del sistema de control	56
Figura 69 Diagrama de flujo del algoritmo en Arduino UNO	57
Figura 70 Esquema electrónico de las manos robóticas.....	64
Figura 71 Luz piloto.....	65
Figura 72 Componentes en el interior de la base	65
Figura 73 Interfaz gráfica de App Inventor 2.....	66
Figura 74 Editor de bloques	66
Figura 75 Icono de la aplicación Android.....	67
Figura 76 Pantallas de inicio y conexión	67
Figura 77 Pantalla de menú, teclado y voz	68
Figura 78 Programación para la conexión Bluetooth.....	68
Figura 79 Programación para el reconocimiento de voz.....	69
Figura 80 Eficiencia de visualización del Kit	73
Figura 81 Pruebas a niños con discapacidad intelectual	74
Figura 82 Eficiencia en el reconocimiento de voz	74
Figura 83 Pruebas a niños con Hiperactividad.....	75
Figura 84 Eficiencia en el reconocimiento de voz	75

RESUMEN

Este proyecto con fines didácticos, permite a los estudiantes de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, realizar operaciones matemáticas básicas y generar un vínculo estrecho con la robótica educativa, debido a que es una herramienta pedagógica innovadora, para los niños/as con discapacidad intelectual leve a moderada e hiperactividad. El kit está formado por dos manos robóticas, controladas desde un dispositivo móvil a través de una aplicación Android, la misma que responde a comandos de voz y/o teclado. Estas manos robóticas, permiten visualizar las respuestas de operaciones como: suma, resta, multiplicación y división, cuyo resultado sea menor o igual a diez. Esta iniciativa propone establecer una herramienta, que fortalezca el proceso de enseñanza-aprendizaje del estudiante, a través del uso de prototipos robóticos y programas especializados con fines pedagógicos, para que contribuyan a mejorar el aprendizaje de los niños y niñas con discapacidad intelectual.

PALABRAS CLAVE:

- **MANOS ROBÓTICAS**
- **APLICACIÓN ANDROID**
- **BLUETOOTH**
- **ROBÓTICA Y MECATRÓNICA**
- **RECONOCIMIENTO DE VOZ**

ABSTRACT

This Project with educational purposes allows the students of the “Specialized Educational Center Cotopaxi”, to perform basic mathematical operations and generate a close link with educational robotics because it is an innovative teaching tool for children with mild to moderate intellectual disabilities and hyperactivity. The kit is composed of two robotic hands, controlled from a mobile device through an Android App which responds to voice and/or keyboard command. These robotic hands allow visualize the answers of operations such as: additions, subtraction, multiplication and division, which such results were less or equal to ten. This initiative plans to establish a tool that will strengthen the teaching/learning process through the use of robotic prototypes and special programs for educational purposes which will contribute to enhance the learning on children with intellectual disabilities.

KEYWORDS:

- **ROBOTIC HANDS**
- **ANDROID APPLICATION**
- **BLUETOOTH**
- **ROBOTICS AND MECHATRONICS**
- **VOICE RECOGNITION**

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta la evolución de la robótica como herramienta innovadora en el aprendizaje de matemáticas para niños y niñas con problemas de desconcentración y discapacidad intelectual, conceptos básicos de lo que comprende el kit conformado por dos manos robóticas, así como un análisis de proyectos similares realizados a nivel institucional y mundial.

1.1 Planteamiento del problema

A nivel nacional en la actualidad existen pocos trabajos relacionados con la inclusión de niños con discapacidad intelectual y problemas de concentración, que relacione a la educación primaria con la robótica educativa como herramienta pedagógica, pues resulta muy difícil la concentración en el proceso de aprendizaje con las técnicas de enseñanza tradicionales.

En ciudad de Latacunga la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, es una institución dedicada a educar niños y niñas con diferentes discapacidades, donde la enseñanza de las matemáticas es a través de programas regulares, pues los niños de séptimo y octavo grado con discapacidad leve a moderada, reciben el mismo programa de un niño(a) de segundo año de educación básica de una escuela regular.

Por lo tanto, es importante implementar un kit de manos robóticas que facilite la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, desarrollando los movimientos y control adecuado para la ejecución de las operaciones, sin dejar de lado la parte estética de manera que esta tecnología sea entretenida e innovadora, consiguiendo así un prototipo funcional.

Para ello es necesario realizar la optimización y simplificación del mecanismo para ser desarrollada en una impresora 3D, obteniendo un modelado tridimensional para asegurar el diseño, el mismo que tiene como objetivo garantizar el adecuado movimiento de las manos robóticas a partir de un dispositivo electrónico que comande las operaciones a través de la voz o teclado, y finalmente visualice la respuesta correcta de las operaciones matemáticas realizadas.

1.2 Línea base

Actualmente los niños y niñas, de séptimo y octavo año de la Unidad educativa Especializada Cotopaxi son doce, los cuales trabajan conjuntamente e inician de forma personalizada con la enseñanza de las matemáticas básicas y terapia de lenguaje, de acuerdo con el nivel de retraso escolar o grado de discapacidad, esto afecta de forma emocional y psicológica a la niñez con problemas de Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) y discapacidad intelectual además que las herramientas de enseñanza es a través de la pizarra o con material didáctico común como libros, carteles y hojas impresas.

1.3 Robótica educativa

La robótica es una herramienta tecnológica dedicada al diseño, construcción, control, manufactura y aplicación de los robots, los mismos que ejecutan órdenes de un programa, realizan los movimientos necesarios a través de un control del proceso, en tiempo real. Esto da lugar a utilización de la robótica educativa como estrategia para fortalecer las aptitudes socioemocionales en niños o alumnos con problemas de concentración y discapacidad intelectual, que promueve un nuevo formato de acercamiento al conocimiento.

La presencia de tecnologías en el aula de clase, busca proveer ambientes de aprendizaje interdisciplinarios donde los estudiantes adquieran habilidades para estructurar investigaciones y resolver problemas concretos, forjar personas con capacidad para desarrollar nuevas habilidades y nuevos conceptos.

Una de las características más importantes que tiene la robótica educativa es la capacidad de mantener la atención del estudiante lo que hoy en día es un recurso que facilita la enseñanza de las matemáticas en niños y niñas de primaria con problemas de aprendizaje debido a que presentan merma intelectual o concentración.

Identificada la riqueza pedagógica de este entorno, se comienzan a diseñar un conjunto de actividades, materiales y proyectos que dan vida a lo que hoy en día se conoce como Robótica Pedagógica. Como señala Cabrera (1996), profesor e investigador de la Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, México:

“...la Robótica Pedagógica es la actividad de concepción, creación y puesta en funcionamiento, con fines pedagógicos, de objetos tecnológicos que son reproducciones reducidas muy fieles y significativas de los procesos, y herramientas robóticas que son usados cotidianamente, sobre todo, en el medio industrial.”

Los beneficios que trae consigo la incorporación de la robótica en el proceso de educación según menciona Cabrera (1996) es amplio y enriquecedor, pues lo transforma en un recurso didáctico que fortalece la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y tecnologías despertando el interés de los estudiantes de una manera entretenida.

1.4 Discapacidad

En la actualidad existen algunas organizaciones registradas en el Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades (CONADIS), dedicadas al bienestar de las personas con discapacidad intelectual y los factores que deriva de la misma, como por ejemplo: deficiencia intelectual, trastornos graves de la personalidad, nivel sociocultural bajo, dificultades para obtener un rendimiento académico satisfactorio.

1.4.1 Discapacidad intelectual

La discapacidad intelectual es conocida también como retraso mental, término utilizado para referirse a una persona que no tiene capacidad de aprender a niveles esperados y actuar. Es decir, afecta de manera global al funcionamiento intelectual y adaptativo lo que se entiende como el conjunto de habilidades conceptuales, sociales y prácticos cuyo aprendizaje impide desenvolverse con normalidad en la vida cotidiana. Los niveles de discapacidad en los niños con estas limitaciones van de muy leves hasta problemas muy graves.

Según la Confederación Española de Organizaciones en favor de las Personas con Discapacidad Intelectual (FEAPS) expresa que la Discapacidad Intelectual:

“Es una discapacidad caracterizada por limitaciones significativas en el funcionamiento intelectual y en la conducta que se manifiesta en habilidades adaptativas conceptuales, sociales, y prácticas” (FEAPS, 2014).



Figura 1 Discapacidad Intelectual.
Fuente: (FEAPS, 2014)

Las causas del síndrome de Down (ver Figura 1) por ejemplo es el síndrome alcohólico fetal, el síndrome X frágil, afecciones genéticas, defectos congénitos e infecciones que pueden ocurrir antes del nacimiento. Sin embargo existen otras causas de discapacidad intelectual que no se presentan sino hasta cuando el niño es mayor, provocadas por lesiones graves de la cabeza, accidentes cerebro-vasculares o ciertas infecciones.

1.4.2 Trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH)

Este trastorno es una patología crónica derivada de un diagnóstico psiquiátrico, de los cuales el 75% de los casos son genéticos, en la edad infantil el TDAH genera alteraciones en el aprendizaje escolar y problemas sociales.



Figura 2 Hiperactividad en niños de 3 años.
Fuente: (GuiaInfantil, 2009)

Los síntomas que presenta un niño con TDAH, de acuerdo con diferentes lecturas realizadas son:

- Inquietud.
- Baja autoestima.
- Aburrimiento y excitación excesivos e incontrolables.
- Grado acentuado de impulsividad.

- Falta de concentración.
- Falta de persistencia.
- Falta de atención.
- En ocasiones, parece que no escuchan.

Mena Pujol et al. (2006) señalan que los niños con hiperactividad no tratados a tiempo tendrán problemas en la adolescencia, padecerán problemas para relacionarse e incluso sufrirán fracaso escolar. Sin embargo, un tratamiento continuado, a medida que el niño va creciendo, permitirá que el trastorno mejore e incluso que se consiga controlar.

El tratamiento tiene como objetivo:

- Mejorar o anular los síntomas del trastorno.
- Disminuir o eliminar los síntomas asociados.
- Mejorar el aprendizaje, lenguaje, escritura, relación social y familiar.

Para eso, el especialista empleará según el caso, todos los medios a su alcance para facilitar información exhaustiva a los padres y profesores, tratamiento farmacológico (imprescindible en 7 de cada 10 niños), y tratamiento psicopedagógico. No se debe olvidar que los padres juegan un papel fundamental durante el tratamiento. Los niños hiperactivos necesitarán mucho apoyo, comprensión, cariño y, sobre todo mucha paciencia para que poco a poco consigan desarrollar su día a día con normalidad (Mena Pujol, Nicolau Paluo, Salat Foix, Tort Almeida, & Romero Roca, 2006).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), estima que el 5% de la población infantil y juvenil, de entre 3 a 16 años, sufren de TDAH siendo tres veces más frecuente en los varones. En el Ecuador un estudio realizado en la ciudad de Cuenca señala que el 10.6% de un total de 1000 escolares valorados poseen este trastorno (Mora Robles, 2011).

Según la epidemiología de cada 10 niños, 3 niños sufren de TDAH y actualmente este fenómeno va en crecimiento debido a que por ejemplo: los factores alimenticios de las madres han cambiado y por ende el proceso de lactancia se ha visto alterada y no es la adecuada (Ramos Galarza, 2011).

1.5 La mano humana

Es capaz de maniobrar casi en cualquier posición que se desee, esto es posible gracias a la destreza de los dedos y a la habilidad de la muñeca para su posicionamiento.

1.5.1 Anatomía de la mano humana

La mano humana está formada por los huesos que se observan en la siguiente Figura:

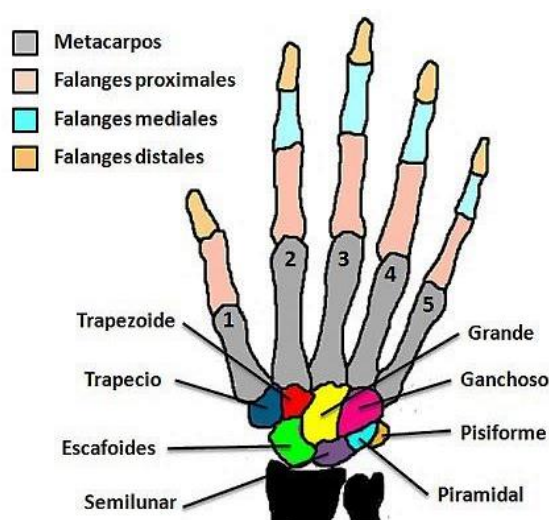


Figura 3 Huesos que conforman la mano y muñeca humana.

Fuente: (SaberEsPráctico, 2014)

1.5.2 Movimientos de la Mano humana

Para realizar los movimientos adecuados de los dedos y la muñeca, la mano está dispuesta por dos grados de libertad en la articulación con la palma (llamada metacarpofalangeal) y dos grados de libertad para el movimiento entre la falange media y distal, los movimientos laterales que permiten abrir los dedos se denominan aducción y abducción son limitados, pero los movimientos de flexión y extensión son extremadamente amplios (López, 2013).

Tabla 1

Ángulos de flexión de los dedos

Flexión Distal-Medial 3ªFalange-2ªFalange	90°	Los ángulos de flexión para los dedos, se tomaron iguales para los dedos índice, corazón, anular y meñique. Se tomaron también respecto a una horizontal coincidente con el eje axial del dedo.
Flexión Medial-Proximal 2ªFalange-1ªFalange	110°-135°	
Flexión Proximal-Palma 1ªFalange-Palma	90°-110°	

Fuente: (Loaiza, 2012)

El dedo pulgar tiene una movilidad amplia por lo cual es útil para la manipulación, los otros 4 dedos se mueven en sentido lateral con una capacidad de flexión, permitiendo abrir y cerrar la mano, buena para atrapar y sujetar objetos con seguridad. La distancia, tamaño y diámetro de una mano humana promedio lo podemos observar en la siguiente Tabla.

Tabla 2

Medidas en milímetros para los dedos de la mano

Falange Dedos	Largo				Ancho			Espesor		
	1°Falange Proximal	2°Falange Medial	3°Falange Distal	Total	En la Unión con la palma	En la última falange	Promedio	En la Unión con la palma	En la última falange	Promedio
Pulgar	37		31	68 (34)	19	15	17	20	11	15.5
Índice	32	26	18	76 (33)	16 (28)	13 (29)	14.5	13	11	12
Corazón	35	29	20	84 (32)	16 (26)	13 (27)	14.5	13	11	12
Anular	30	28	28	78 (31)	16 (24)	13 (25)	14.5	12	10	11
Meñique	25	20	17	62 (30)	14 (22)	11 (23)	12.5	11	9	10

Fuente: (Loaiza, 2012)

Entre paréntesis en la Tabla 2 se indica la referencia de cada medición en la Figura 4.

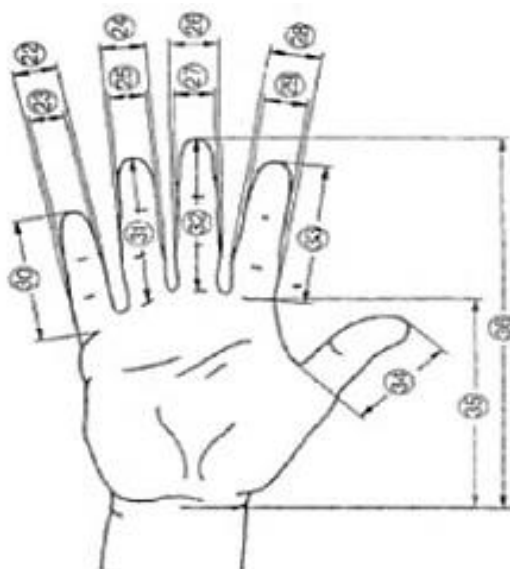


Figura 4 Dimensiones lineales de la mano

Fuente: (Loaiza, 2012)

Las dimensiones de la palma, y ángulos de flexión de los dedos se pueden visualizar en la siguiente Tabla:

Tabla 3

Dimensiones de la palma de la mano.

Largo	110 (35) mm
Ancho con pulgar	90 mm
Ancho sin pulgar	75 mm
Espesor lado pulgar	25 mm
Espesor lado opuesto al pulgar	16 mm

Fuente: (Loaiza, 2012)

1.6 Manos robóticas

La arquitectura de la mayoría de los robots se basa en seis o siete ejes, pues la configuración es muy flexible lo que permite realizar una infinidad de tareas, que van desde colocar piezas, hasta ensamblar componentes; lo que impulsa a la investigación con el afán de mejorar progresivamente y a pasos agigantados las características de los efectores finales, como se muestran a continuación.

1.6.1 Mano robótica UTAH-MIT

En 1984 se desarrolló una mano robótica “UTAH-MIT”, por el grupo de investigación en agarre y manipulación de dedos, la cual tiene características antropomórficas cercanas a las de la mano. UTAH-MIT está formada por cuatro y dispone de 4 grados de libertad por cada uno de los dedos, es decir 16 grados de libertad en total. Estos permiten accionar cada dedo mediante un sistema de 32 tendones independientes y actuadores neumáticos (Quinayás, 2010).

Esta mano fue diseñada para manipular objetos a distancia como se muestra en la Figura 5.



Figura 5 Mano UTAH/MIT Dextrous
Fuente: (Laval University, 2013)

1.6.2 Mano Stanford-JPL

Gongliang et al. (1991) crearon la primera mano robótica antropomórfica de tres dedos cada uno con 3 grados de libertad, actuada a través de un sistema de tendones impulsados por servomotores para dar movimiento a cada dedo. Capaz de adherir configuraciones de $N+1$ tendones, en los cuales, $N+1$ cables y motores son requeridos para N grados de libertad (López, 2013).



Figura 6 Mano Stanford-JPL
Fuente: (Quinayás, 2010)

1.6.3 Mano robótica DLR-HAND

La mano DLR es la primera mano mecatrónica diseñada para mejorar el rendimiento de aplicaciones de agarre y manipulación, controlada por un guante de datos. Está conformada por cuatro dedos con un total de 14 grados de libertad y accionada por motores DC. Los dedos disponen de sensores de posición, fuerza y temperatura. En la Figura 7, se presenta la mano DLR, que está diseñada con actuadores lineales integrados en la palma y en la falange proximal que permite a las articulaciones manipular a través de los dedos (López, 2013).



Figura 7 Mano robótica DLR-HAND II
Fuente: (López, 2013)

1.6.4 Mano robótica DIST-HAND

El departamento de informática, sistemas y telemática de la Universidad de Génova en Italia propuso el diseño de la mano robótica denominada DIST mostrada en la Figura 8, la mano posee una palma, cuatro dedos de 4 grados de libertad cada uno, los cuales están actuados por medio de 6 tendones de poliéster y 5 motores de CC en cada dedo (Cabás, 2011).



Figura 8 Mano DIST
Fuente: (Cabás, 2011)

1.6.5 Mano Robonaut

En el laboratorio de la NASA de Estados Unidos se construyó una mano robótica formada por cinco dedos, 12 grados de libertad en la mano y 2 grados de libertad en la muñeca, catorce motores de CC sin escobillas que mueven las articulaciones y está equipada con 43 sensores. Fue diseñada para combinar tamaño, cinemática y fuerza de la mano de un astronauta e implementada en el robot antropomórfico Robonaut. En la Figura 9 se puede observar la mano Robonaut (Quinayás, 2010).

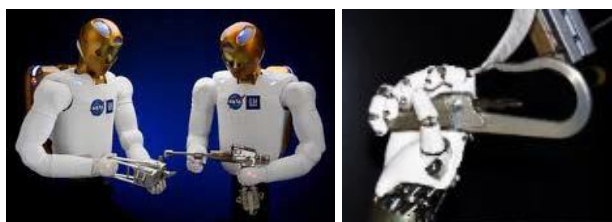


Figura 9 Robot antropomórfico Robonaut
Fuente: (Pérez, 2011)

1.6.6 Mano robótica TUAT/Karlsruhe

La Universidad de Tokio junto con la Universidad de Karlsruhe en Alemania, Fukaya et al. (2000) desarrollaron una mano robótica formada por 5 dedos antropomórficos de los cuales cuatro dedos tienen 3 grados de libertad y el pulgar 2 grados de libertad, es accionada por motores esféricos a ultrasonidos y fue diseñada para servir de mano al robot humanoide ARMAR (Andrade & Zúñiga, 2011). Capaz de manipular y sujetar objetos como se muestra en la Figura 10.

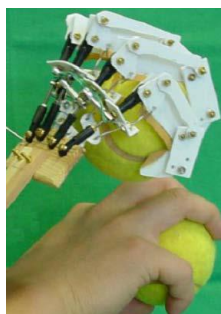


Figura 10 Mano robótica TUAT/Karlsruhe
Fuente: (Rüdiger, 2014)

1.6.7 Mano robótica antropomórfica Gifu-Hand

En el año 1999 fue desarrollada la mano Gifu Hand II, la misma que tiene cinco dedos multiarticulados actuados por medio de servomotores instalados en las 20 articulaciones distribuidas en cada uno de los dedos, posee 16 grados de libertad, y sensores de fuerza, torque y un encoder magnético en cada dedo. En el 2004, Kawasaki; Komatsu & Uchiyama presentaron una versión actualizada denominada KH Hand Type S con sensores táctiles ubicados en la superficie de la palma (López, 2013).



Figura 11 Mano Robótica: a) GIFU HAND II, b) KH Hand Type S
Fuente: (Cabás, 2011)

1.6.8 Mano robótica NAIST

Ueda et al. (2005), desarrollaron la mano NAIST que incluía sensores táctiles en la yema de los dedos (ver Figura 12). Además de un control de fuerza para limitar el agarre a través de 3 motores (Pérez, 2011).



Figura 12 Mano robótica NAIST
Fuente: (Pérez, 2011)

1.6.9 Mano antropomorfa

Wang et al. (2010), presentaron un prototipo con palma convexa, diseño encaminado a mejorar la estabilidad al sujetar un objeto y cuenta con sensores de posición en cada dedo. A continuación Sonoda y Godler desarrollaron una mano

robótica ligera, de bajo costo, con cinco dedos y un alto nivel de realismo, el mecanismo de transmisión de movimiento de los dedos era por cadenas (Pérez, 2011).

El tamaño del prototipo es similar al tamaño de una mano promedio de un adulto como se muestra en la siguiente Figura.



Figura 13 Evolución de la mano antropomorfa
Fuente: (Pérez, 2011)

1.6.10 Mano robótica multiarticulada

En Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), desarrollaron una prótesis inteligente de miembro superior, manipulada por medio de señales mioeléctricas y auditivas, siendo capaz de reprogramarse para realizar actividades con el control de presión y fuerza. Y en 2010, Velázquez Sánchez y colaboradores presentaron una optimización del diseño de una mano robótica multiarticulada mediante el análisis estructural de los movimientos (Pérez, 2011).

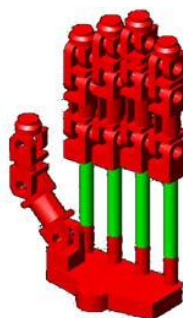


Figura 14 Mano robótica multiarticulada
Fuente: (Pérez, 2011)

1.6.11 Mano robótica InMoov

En principio nació como una mano robótica, luego el proyecto se ha expandido alrededor del mundo, y ahora es un robot humanoide completo de tamaño real. El cerebro de InMoov es operado por un microcontrolador basado en Arduino, que controla el número de actuadores. Lo más importante del proyecto es que es

completamente de código abierto creado por Gael Langevin, un modelista y escultor francés: simplemente debe conectarse a la web Thingiverse, buscar archivos y descargar las piezas con la extensión adecuada para la impresora. Compuesta por 5 grados de libertad activos y 12 vagamente acoplados.

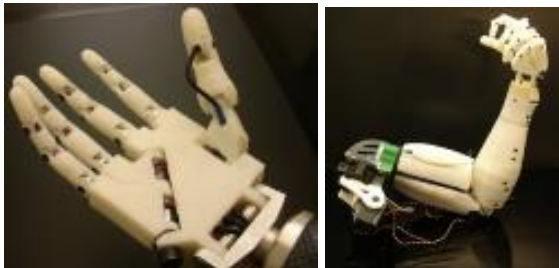


Figura 15 Mano robótica InMoov.

Fuente: (Langevin, 2012)

InMoov es su proyecto personal, que se inició en enero de 2012 y es replicable en cualquier impresora 3D en casa con una superficie de impresión de 12x12x12cm, es concebido como una plataforma de desarrollo para las universidades, laboratorios, aficionado, pero en primer lugar para responsables. Tiene como objetivo principal el intercambio y vinculación con la comunidad, puesto que esto ha permitido ser reproducido por un sinnúmero de proyectos en todo el mundo. Está construido con ABS lo que lo hace innovador, económico y muy fácil de construirlo.

1.7 Proyectos relacionados

Las manos robóticas simulan los movimientos reales de las del ser humano, a través de diferentes mecanismos que reemplazan cada una de las partes de la estructura, ósea de las manos. Esta estructura morfológica tiene diferentes configuraciones para realizar movimientos con el fin de cumplir diferentes funciones.

El desarrollo de manos robóticas en las áreas donde se requiere reemplazo de una extremidad o ha sufrido amputación de la misma, ha dado lugar a que de la mano de la biomédica se investiguen una infinidad de mecanismos funcionales que mejoren la calidad de vida de estas personas. A continuación se menciona algunos de los proyectos de robótica educativa realizadas por diversas universidades.

En el año 2012 alumnos de Vanderbilt University diseñaron una aplicación para Android que permite que estudiantes con discapacidad visual aprendan matemáticas. Valiéndose de la tecnología háptica integrada en los nuevos dispositivos de pantalla

táctil, las vibraciones y los mensajes de audio ayudan a los alumnos a sentir y escuchar formas y diagramas (Gorlewicz, 2012).



Figura 16 Pruebas de la aplicación de Gorlewicz

Fuente: (Salisbury, 2012)

El proyecto **InMoov** de Gael Langevin es un robot completo y todo el mundo puede participar en el proyecto, modificar y mejorar algo. Muchos son los campos de aplicación, un ejemplo puede ser la reproducción de prótesis de última generación para ayudar a aquellos que han sufrido una amputación: el brazo se puede reemplazar con la ayuda de sensores conectados a los músculos, y puede ser programado para responder a estímulos nerviosos.



Figura 17 Mano robótica InMoov

Fuente: (Zampini, s. f.)

Actualmente el siguiente paso es equipar InMoov de una red neuronal para ser entrenada. Los investigadores creen que los robots de apariencia humana podrían servir como compañeros para los ancianos o para los niños con autismo, síndrome de Asperger o trastorno de apego.

Fritz es una cabeza robótica capaz de imitar emociones y hablar. Es muy expresivo y como usa Arduino, una plataforma de hardware libre, se puede ir añadiendo funcionalidades poco a poco (Hayes, 2013).

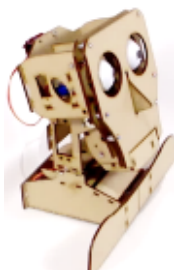


Figura 18 Fritz: una marioneta robótica

Fuente: (Hayes, 2013)

En Ecuador la Universidad Politécnica Salesiana ha realizado proyectos de investigación de nuevas tecnologías para la integración de las personas con discapacidad en la sociedad. La construcción del prototipo de mano robótica permite realizar el lenguaje de señas a través del reconocimiento de posiciones de la mano capturados por una cámara web que facilita el aprendizaje de dicho alfabeto sin la necesidad de una persona que realice la enseñanza.

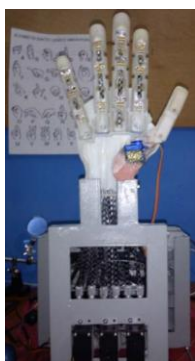


Figura 19 Mano robótica

Fuente: (Andrade & Zúñiga, 2011)

Todos estos proyectos tienen la particularidad que están relacionadas con el campo social y educativo por lo que constituye un referente de los sistemas educativos que así lo requieran.

i-LIMB es el nombre de la primera mano biónica en el mercado inventado por David Gow y colaboradores, fabricada por Touch Bionics. La aplicación de control móvil proporciona acceso instantáneo a 36 patrones de agarre programables, permitiendo flexibilidad y capacidad de respuesta, en situaciones cotidianas los usuarios pueden configurar y asignar diferentes agarres para diferentes objetos a través de aplicaciones de Android e iOS (Robarts, 2014).



Figura 20 Mano biónica i-LIMB ultra revolution

Fuente: (Touch Bionics, 2014)

1.8 Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica como su propio nombre lo indica es la conexión sin cables entre distintos dispositivos. Es aquella en la que sus extremos, el emisor y

el receptor no están unidos físicamente, si no que se comunican por medio de ondas electromagnéticas a través del espacio. Hablando de los móviles específicamente, no podemos pensar otra forma de comunicación o transmisión de datos que la de manera inalámbrica. Por lo tanto esta sería la única forma de comunicación para los dispositivos móviles (Lopez, 2012).

Estos son los diferentes tipos de comunicación inalámbrica:

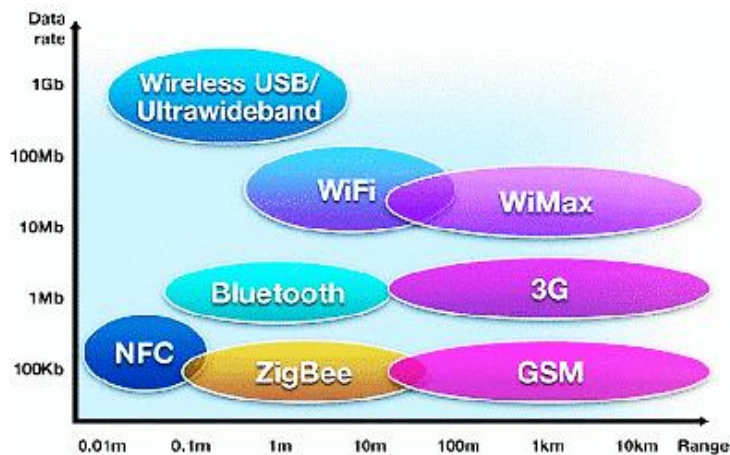


Figura 21 Tipos de comunicaciones inalámbricas

Fuente: (Lopez, 2012)

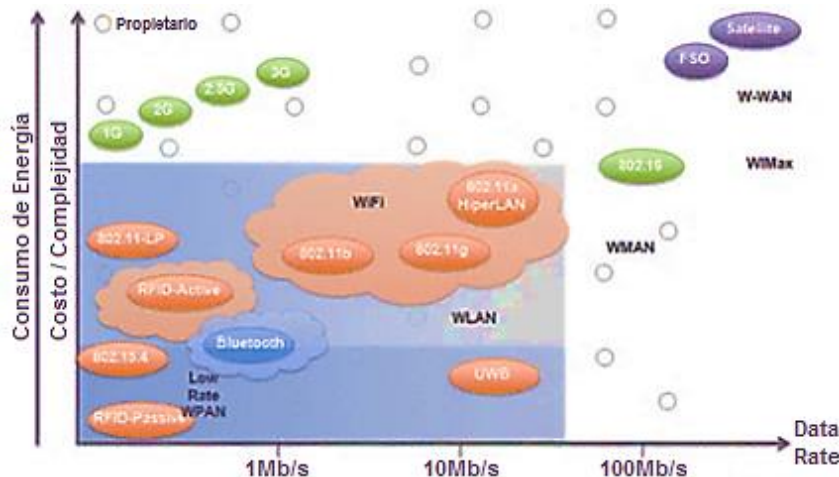


Figura 22 Rangos de comunicación

Fuente: (Lopez, 2012)

Algunas de las ventajas que presentan las conexiones inalámbricas son:

Tabla 4

Ventajas y desventajas de las conexiones inalámbricas

Ventajas	Desventajas
Ausencia de cables en la instalación y movilidad para los dispositivos.	La movilidad se limita por el alcance de la señal

Continua →

Son instalaciones limpias y sencillas de hacer.	Existen riesgos de desconexión.
Útiles en dispositivos de acceso problemático, como por ejemplo una impresora para portátiles.	Están expuestas a interferencias.

Fuente: (Xente, s. f.)

1.9 Sistema Operativo Android



Figura 23 Logo de Android
Fuente: (iPhoneandoRD, 2013)

Es una plataforma libre con licencia GPL (General Public License), creada inicialmente para teléfonos inteligentes para luego ser usado en tablets. Android fue desarrollado por Google, actualmente es usado netbooks y PCs, fue anunciado en el 2007 y liberado en el 2008 según (Reyes, 2013). Un dispositivo Android cuenta con la siguiente arquitectura (ver Figura 24), la cual detalla los componentes más importantes.

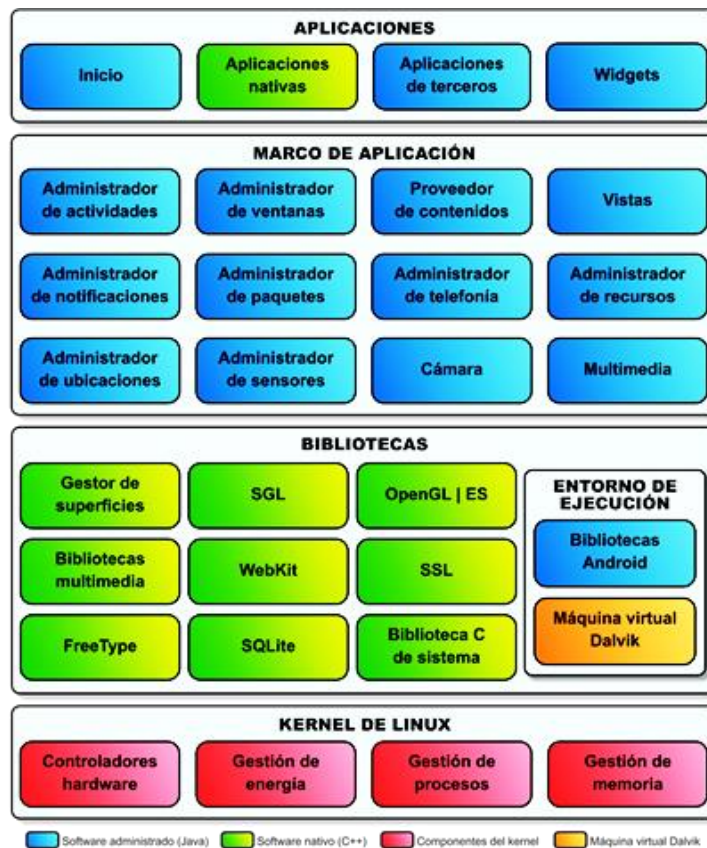


Figura 24 Arquitectura del sistema Android
Fuente: (Vico, 2011)

1.9.1 Características de Android

Las principales características de este sistema operativo son:

- Es de código abierto.
- Núcleo basado en el Kernel de Linux.
- Adaptable a pantallas de mayor resolución.
- Utiliza SQLite para el almacenamiento de datos.
- Navegador web basado en WebKit, emparejado con el motor JavaScript V8 de Google Chrome.
- Soporte de Java y muchos formatos multimedia.
- Incluye un emulador de dispositivos.
- Las aplicaciones pueden ser gratuitas o pagas y descargadas e instaladas desde Google Play.
- Bluetooth.
- Entrada de búsqueda por voz utilizando el reconocimiento de Google.
- Multitarea real de aplicaciones.

1.10 Dispositivos móviles

Consideradas pequeñas máquinas electrónicas que procesan datos, algunas pueden conectarse a internet y tienen memoria limitada. Además que permiten realizar tareas como: ver películas, hablar con amigos, manejar tú agenda, jugar y mucho más (GCFAprendeLibre, 2015).



Figura 25 Dispositivos móviles
Fuente: (TICbeat, 2013)

Los dispositivos móviles se han convertido en una de las principales vías de interacción entre jóvenes, que cada vez a una edad más temprana disponen de un Smartphone. Este tipo de dispositivos, como el iPhone y terminales Android, han

cambiado tanto nuestra manera de entender la informática móvil como la concepción que tenemos en cuanto a hardware y software se refiere, debido al espectacular desarrollo de aplicaciones que pueden ser integradas en ellos.

1.11 Aplicaciones móviles

Tanto los dispositivos móviles como sus aplicaciones están comenzando a ser introducidos como herramientas de aprendizaje en los currículos y en los programas educativos de la enseñanza primaria y secundaria, pues permiten la convergencia de tecnologías tales como la posibilidad de anotación, aplicaciones para la creación y la composición, GPS, herramientas para la captura y edición digital de imágenes, vídeo y audio, etc. Algunas aplicaciones pueden complementar los contenidos curriculares y por tanto ayudar a los estudiantes a entender mejor las diferentes materias.

Android se basa en Linux, un software libre que dispone de un Kernel en este sistema y utiliza una máquina virtual, la misma que es la responsable de convertir el código escrito en Java de las aplicaciones a código capaz de comprender el Kernel. Además que permite contar con una gran cantidad de desarrolladores de nuevas aplicaciones alrededor del mundo para los dispositivos móviles.

Las aplicaciones para Android se escriben y desarrollan en lenguaje de programación Java con Android Software Development Kit (Android SDK), o con herramientas de desarrollo como Google App Inventor (Android Developers, 2015).



Figura 26 Entorno de programación de Android Studio

Fuente: (Sánchez, 2013)

Por otro lado, Android Studio es un programa liberado por Google que permite realizar aplicaciones móviles de una forma más compleja ya que se necesita tener un buen nivel de programación en Java sin embargo es un programa robusto.

1.11.1 App Inventor

App Inventor es al mismo tiempo un lenguaje de programación, una herramienta de diseño y un entorno de desarrollo de aplicaciones para móviles y tablets, que funcionen con el Sistema Operativo Android, diseñado para programadores novatos pues no requiere experiencia (Arenas, 2013).



Figura 27 Diagrama de funcionamiento de App Inventor

Fuente: (DIYMakers, 2014)

App Inventor fue originalmente planteado por Google y finalmente implementado por el MIT (Massachusetts Institute of Technology). Como se muestra en la Figura 27, cuenta con un conjunto de herramientas que abarcan las diferentes tareas para la construcción de una aplicación planteada por etapas de: diseño, editor de bloques, definición del comportamiento y simulación.

El primer paso para poder acceder al entorno de programación de App inventor, es tener una cuenta en Gmail porque es un requisito de Google, a continuación solo basta con descargar los manejadores de la aplicación, la última versión de Java SE runtime, que pueden ser descargados de forma gratuita y por último poner en un navegador de internet la dirección <http://appinventor.mit.edu>, en donde se despliega una interfaz gráfica, que permite a los usuarios arrastrar y soltar objetos virtuales para crear una aplicación.

Para el desarrollo de una aplicación en este software es necesario tener simplemente nociones generales de programación, pues solo es necesario determinada habilidad en algún lenguaje de programación moderno orientado a objetos, sin embargo existen lenguajes más limpios como Java o Python, que

requiere invertir mucha práctica y tiempo en aprender los comandos, las reglas de escritura, signos de puntuación, etc.

En App Inventor se programa usando bloques de programación, los mismos que están hechos con elementos comunes a la mayoría de los lenguajes de programación existentes, pues se colocan bloques para construir bucles, condiciones, variables, etc.

Las principales características del software son:

- Es software libre, no es necesario la adquisición de licencias.
- Es multiplataforma: requiere sólo de un navegador y la máquina virtual de Java instalada, con “java web start”.
- Es programación para dispositivos móviles.
- Soporta Mac OS X 10.5/10.6, Windows XP/Vista/7, Ubuntu 8+ y Debian 5+.
- Permite probar las aplicaciones en un emulador y no necesariamente en un teléfono.

La ventaja de App Inventor frente a otras plataformas de desarrollo de aplicaciones Android es la versatilidad y flexibilidad a la hora de combinar las funciones para potenciar al máximo la creatividad a personas.

1.11.2 Ejemplos de aplicaciones móviles.

A continuación se menciona algunas aplicaciones desarrolladas para dispositivos móviles con Arduino y Bluetooth:

a. Arduino Bluetooth control



Es una aplicación de dispositivo de control de Arduino Bluetooth que permite controlar varios dispositivos eléctricos (hasta ocho dispositivos) de forma independiente. A través de un dispositivo móvil Bluetooth de Android para el control remoto de su dispositivo con módulo Bluetooth TTL de serie y placa Arduino (Amphan, 2014).

Se puede programar el temporizador de encendido / apagado del dispositivo y mostrará la cuenta atrás.

b. Arduino Bluetooth servo motor



Esta aplicación de Control de Motores Bluetooth permite al usuario controlar la posición del servo motor (0-180 grados) la misma que debe conectarse a Arduino y el módulo Bluetooth para el control del servo motor.

c. My i-LIMB y BioSim

Touch Bionics ha desarrollado una aplicación de control móvil para los usuarios tanto i-LIMB y clínicos. Esta aplicación para el paciente se llama mi i-LIMBtm y BioSimtm es nuestra aplicación clínica. Estas aplicaciones móviles convenientes permiten a los usuarios cambiar rápida y fácilmente la configuración de su prótesis de Touch Bionics, sin necesidad de conectarse a un PC o Mac.



Figura 28 Aplicación clínica
Fuente: (Touch Bionics, s. f.)

Por la versatilidad de comunicación entre Arduino y Android vía Bluetooth este método es el más apropiado para el control de las manos robóticas. Puesto que ya existen aplicaciones similares disponibles en la tienda virtual de Google Play como se demuestra en esta sección.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1 Metodología de diseño

El diseño concurrente es una metodología actual del diseño mecatrónico fundamentado en la idea de convergencia, simultaneidad o concurrencia de información a través de la ingeniería concurrente. Es decir, consiste en trabajar en forma sistemática y robusta.

2.1.1 Definición requisitos y especificaciones

Para la definición de un producto se utiliza el QFD (Quality Function Deployment), considerando las necesidades y requerimientos del usuario en la fase de diseño y fabricación. Para ello se desarrolla una serie de matrices, cada matriz está constituida por características de diseño que aportan con las especificaciones de entrada a la siguiente matriz:

2.1.1.1 Casa de la calidad

Según Charles Riba (2012), la casa de la calidad traduce las demandas de los usuarios (voz del cliente) en requerimientos técnicos (voz del ingeniero) del prototipo final, empleando los siguientes pasos:

Voz del usuario

Después de analizar los requerimientos y deseos de los docentes y niños de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, se concluye que las especificaciones del kit robótico son las siguientes:

- Innovador.
- Forma similar a la mano humana por razones pedagógica.
- Visualmente atractivo.
- Seguro al manipular.
- La visualización de los números debe ser del dedo menique al pulgar y de la mano derecha hacia la izquierda por la capacidad cognitiva de los niños.

- De fácil operación.
- Portable, para el traslado entre aulas.

Voz del Ingeniero

Al conocer las necesidades planteadas por el usuario se interpretan y se traduce en especificaciones técnicas detalladas a continuación.

- Morfología semejante a la mano humana.
- Dimensiones promedio de la mano humana.
- Ergonomía visual.
- Forma curvas.
- Sistema motriz.
- Aplicación móvil.
- Peso.

Matriz

La Figura 29, muestra los requerimientos del usuario versus las características técnicas, que satisfacen las necesidades de la institución. Estableciendo así las correlaciones entre la voz del usuario y la voz del ingeniero, permitiendo obtener la mejor alternativa de diseño.

Conclusiones de la casa de la calidad

Una vez desarrollada la casa de la calidad se obtiene las siguientes conclusiones:

- La activación de las manos robóticas será a través de servomotores, los cuales serán controlados inalámbricamente desde de una tarjeta de control y mediante una aplicación Android.
- De acuerdo a las características estéticas y mecánicas, el PLA permitirá a las manos robóticas ser atractivas y resistentes al realizar los movimientos de extensión y flexión.
- La estructura del kit debe ser lo más ligera y segura posible, facilitando su movilización y transporte, es decir menor a 2,5 Kg.
- Las dimensiones del kit no deben exceder al tamaño promedio de la mano humana, aproximadamente de 35x20x40 cm.

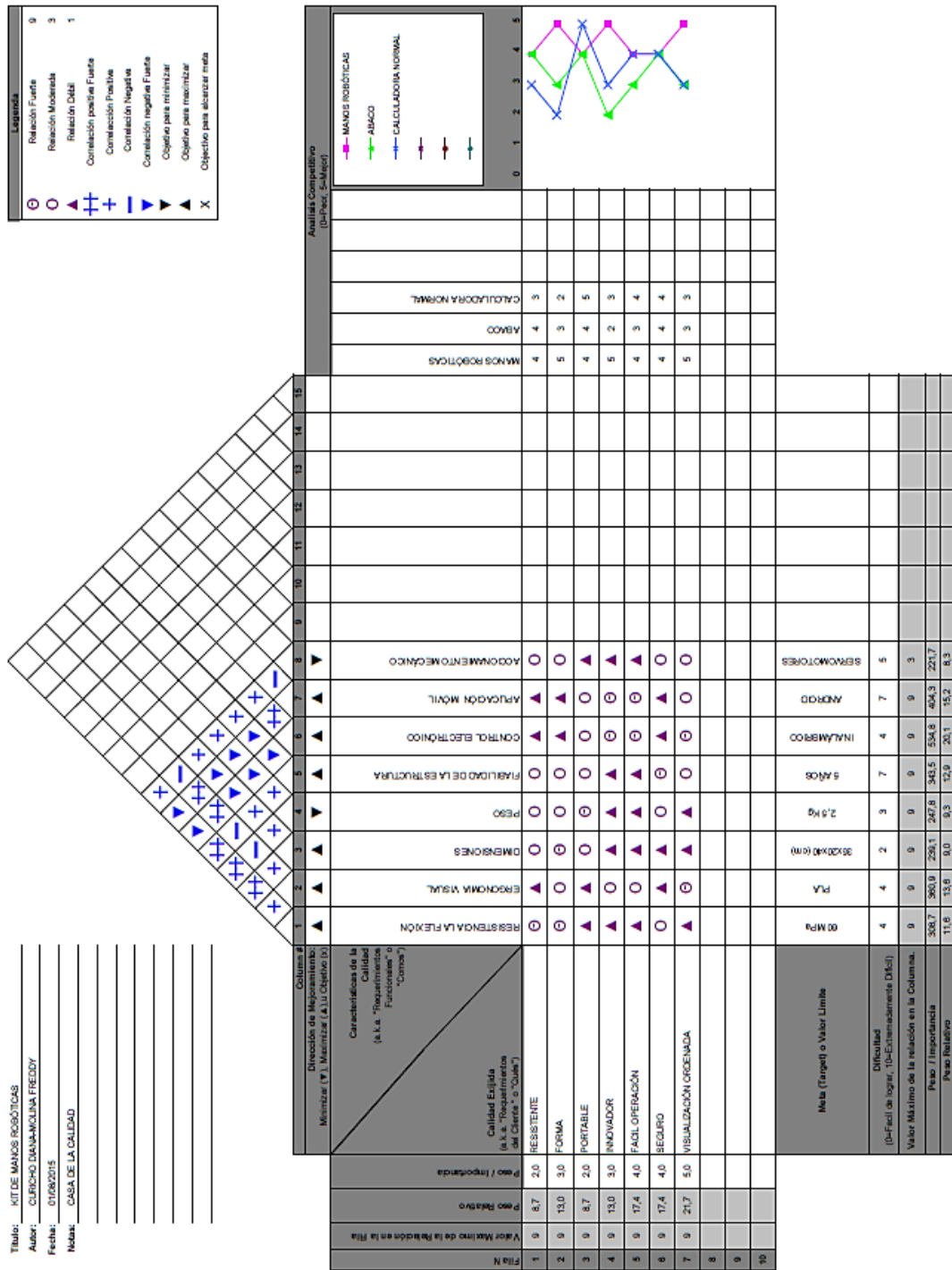


Figura 29 Casa de la calidad para las manos robóticas

2.1.2 Diseño conceptual

El objetivo del sistema es visualizar la respuesta de las operaciones ingresadas mediante un dispositivo móvil, por los niños con hiperactividad o discapacidad intelectual leve. Para ello se establece las especificaciones técnicas requeridas para cubrir las necesidades del usuario, detalladas en la Tabla 5.

Tabla 5**Especificaciones técnicas**

Empresa: UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA COTOPAXI		Producto: Kit conformado por dos manos robóticas para realizar operaciones matemáticas básicas.		Fecha Inicial: 06/05/2015 Última revisión: 08/06/2015 Página 1/1
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	06/05/2015	D	R	Visualización de la respuesta a las operaciones matemáticas básicas.
Peso del kit	06/05/2015	D	D	2.5 Kg.
Dimensiones	06/05/2015	D+C	R	35cm x 20cm x 40cm.
Operación	06/05/2015	M+I	R	Control de las manos robóticas ingresando operaciones matemáticas mediante un dispositivo móvil.
Comunicación	06/05/2015	I	R	Inalámbrica Bluetooth.
Servomotores	06/05/2015	I	D	1.5 Kg/cm.
Alimentación	06/05/2015	C+I	R	110 V AC.
Portable	06/05/2015	C	D	Fácil traslado entre aulas
Ergonomía Visual	06/05/2015	C+I	R	Colores llamativos y forma semejante a la mano humana.

Propone: C = Cliente; M = Marketing; D = Diseño; I = Ingeniería.

R/D: R = Requerimiento; MR = Modificación de requerimiento; NR = Nuevo Requerimiento; D = Deseo.

Una vez pre-establecidos los requisitos, se generan alternativas de diseño para después de evaluarlas, elegir la mejor opción a partir de una estructura funcional que determina el diseño de acuerdo al flujo de entradas y salidas, sin embargo la función global puede dividirse en subfunciones de ser necesario, denominadas módulos funcionales.

2.1.2.1 Análisis de los diagramas funcionales

Para evitar la aparición de nuevas soluciones se establece únicamente dos niveles:

- En el nivel 0, se detallan las entradas y salidas necesarias para dar pasó a la función global del sistema como se observa en la Figura 30.
- En el nivel 1, se define las funciones necesarias para poner en marcha las manos robóticas y cumplir con la función principal establecida en el nivel 0. Especificando el tipo y dirección de flujo dependiendo de la función.

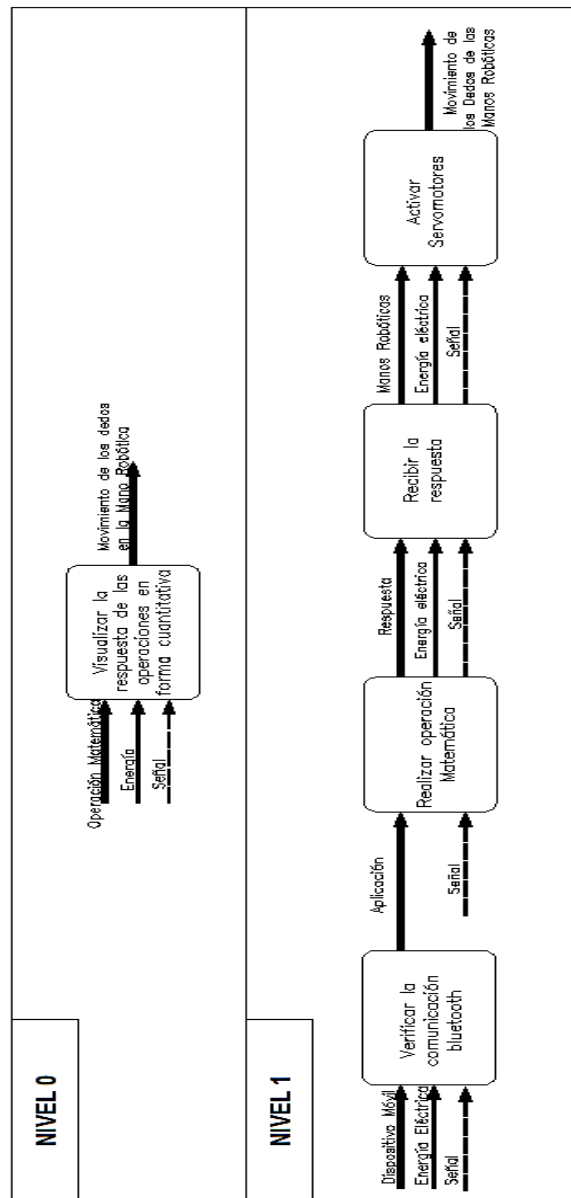


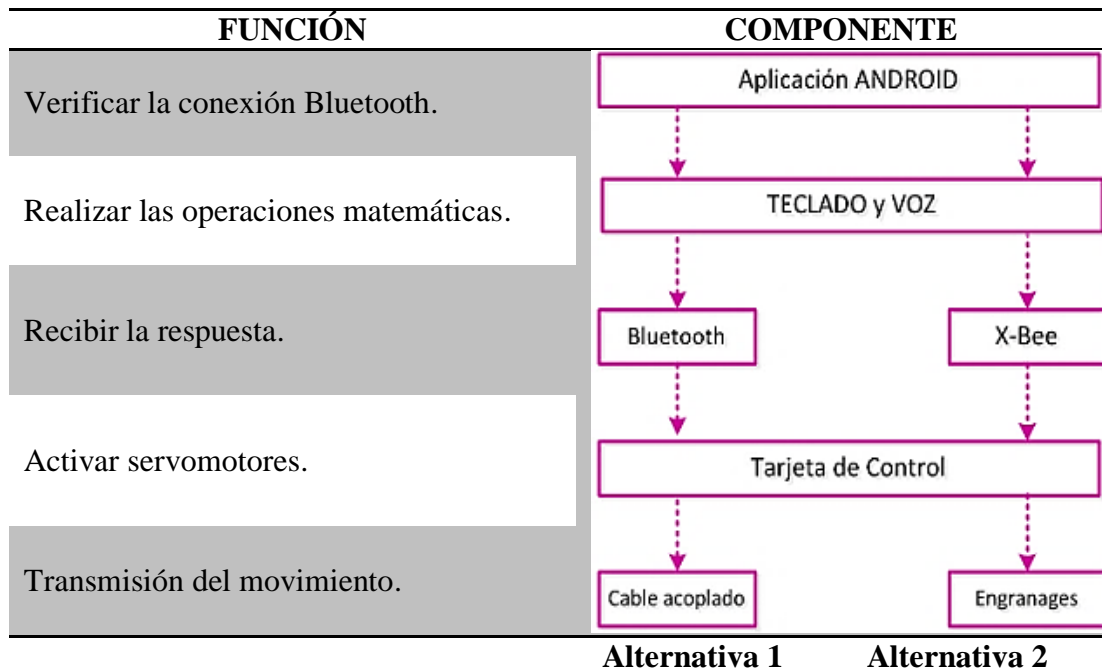
Figura 30 Diagramas funcionales

2.1.2.2 Solución del nivel 1

Este nivel está formado por las siguientes funciones:

- Verificar la conexión Bluetooth.
- Realizar la operación matemática.
- Recibir la respuesta.
- Activar servomotores.

Para cada una de las funciones existen algunas soluciones que se detallan a continuación:

Tabla 6**Posibles soluciones del nivel 1****2.1.2.3 Selección de la mejor alternativa****a. Evaluación del peso específico de cada solución**

Al obtener dos alternativas de diseño en el nivel 1, tomando en cuenta la facilidad de implementar, el comportamiento óptimo, el bajo costo, la calidad y seguro; se genera la necesidad de crear una matriz morfológica que ayude a determinar la mejor alternativa que cumpla con los requerimientos del usuario.

Tabla 7**Importancia de cada criterio**

Control inalámbrico > Aplicación Móvil > Estético > Seguro > Resistente							
Criterio	C.Inala.	App Móvil	Estético	Seguro	Resistente	$\sum+1$	Pondera.
C. inalámbrico		1	1	1	1	5	0,333
App Móvil	0		1	1	1	4	0,267
Estético	0	0		1	1	3	0,200
Seguro	0	0	0		1	2	0,133
Resistente	0	0	0	0		1	0,067
					Suma	15	1

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

b. Evaluación del peso específico del criterio control inalámbrico.

Solución A > Solución B

Portable	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Pondera.
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

c. Evaluación del peso específico del criterio App Móvil.

Solución A = Solución B

Seguro	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Pondera.
Solución A		0,5	1,5	0,5
Solución B	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1

d. Evaluación del peso específico del criterio estético.

Solución A = Solución B

Fácil operación	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Pondera.
Solución A		0,5	1,5	0,5
Solución B	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1

e. Evaluación del peso específico del criterio seguro.

Solución A > Solución B

Innovador	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Pondera.
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

f. Evaluación del peso específico del criterio resistente.

Solución A > Solución B

Innovador	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Pondera.
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

Y el cálculo de la tabla de conclusiones:

g. Tabla de conclusiones

Conclusión	C.Inalámbrico	App. Móvil	Estético	Seguro	Resistente	Σ	Prioridad
Solución A	0,667.0,40	0,5.0,30	0,5.0,20	0,667.0,05	0,667.0,05	0,5835	1
Solución B	0,333.0,40	0,5.0,30	0,5.0,20	0,333.0,05	0,333.0,05	0,4165	2

La solución A es la mejor situada, mientras que a poca distancia se encuentra la solución B.

2.2 Subsistemas

La solución A permitirá a través de un único tendón accionar todas las articulaciones del dedo, para realizar movimientos de flexión y extensión por lo que el sistema de transmisión de fuerza empleado es el de tendón polea. La estructura está compuesta por cinco cuerdas acopladas en cada uno de los dedos que actúan como tendones en cada mano, lo que quiere decir que el motor actuará sobre una articulación por medio de este mecanismo.

2.2.1 Diseño del sistema mecánico

2.2.1.1 Análisis y modelación geométrica de un dedo

Cada dedo de la mano robótica cuenta con 3 grados de libertad, para el diseño se decidió subactuar el último grado de libertad entre la falange medio y la falange distal de los dedos, excepto el dedo pulgar. La Figura 31, muestra una comparación entre la estructura del dedo mecánico y las falanges que constituyen un dedo humano.



Figura 31 Diseño de un dedo de la mano robótica

a. Análisis de la falange distal

La falange distal está diseñada en 2 partes, una permite el direccionamiento del cable o tendón, y la otra simplemente cubre la parte visible del mismo, como se puede observar en la Figura 32.



Figura 32 Falange distal

Indicadas las dos partes que constituyen la falange distal, se analiza la base de la falange (ver Figura 33), pues es la que va a soportar las fuerzas ejercidas por efecto del peso. Las dimensiones de la falange distal se detallan en el ANEXO A5: Cubierta y ANEXO A6: Base de la falange distal.

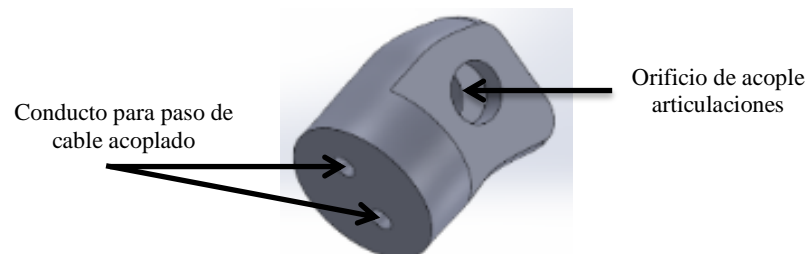


Figura 33 Base de la falange distal

Para determinar la fuerza que debe soportar (es decir el peso W), se toma en cuenta el valor del peso específico del PLA que es 1240 kg/m^3 .

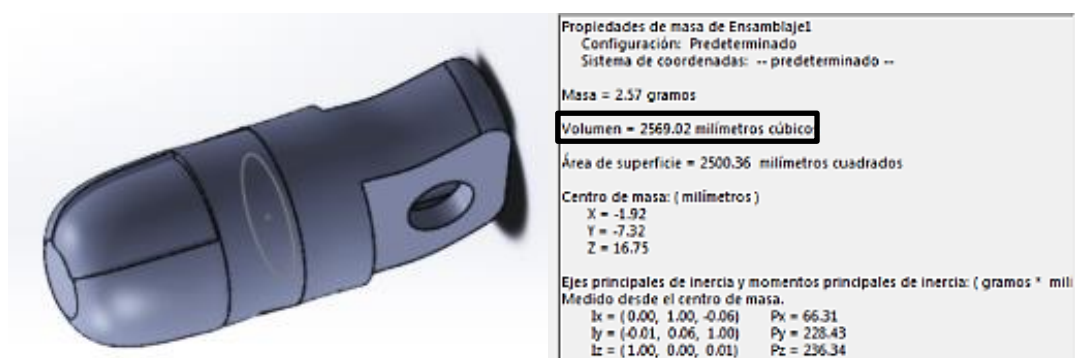


Figura 34 Propiedades físicas de la falange distal

Para la obtención del peso máximo, es necesario el volumen que se muestra en la Figura 34, y es:

$$W = \gamma * V \quad (1)$$

Donde:

W: Peso [N].

γ : Peso específico de la sustancia $\left[\frac{N}{m^3} \right]$

V: Volumen de la sustancia $[m^3]$

$$W = 1240 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 2.569 * 10^{-6} m^3$$

$$W = 0.03 N$$

En base al peso calculado se verifica el espesor adecuado para la falange distal, considerándolo como una viga en voladizo, puesto que para el análisis se toma en cuenta la sección más débil de la pieza. En la Figura 36 y Figura 37 se muestran las fuerzas cortantes y momentos flectores respectivamente, resultados de la fuerza aplicada que se observa en la Figura 35.

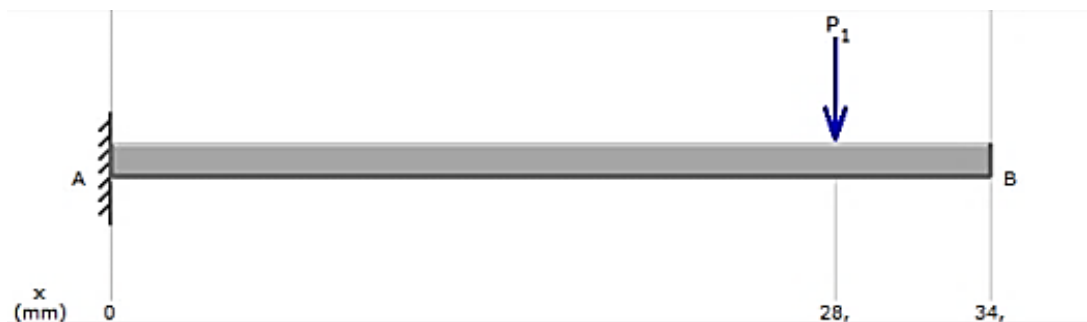


Figura 35 Diagrama de cuerpo libre de la falange distal

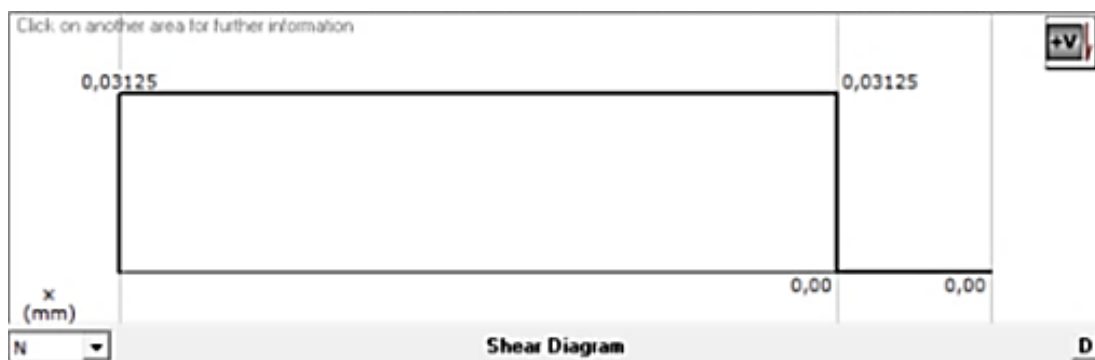


Figura 36 Diagrama de fuerzas cortantes de la falange distal

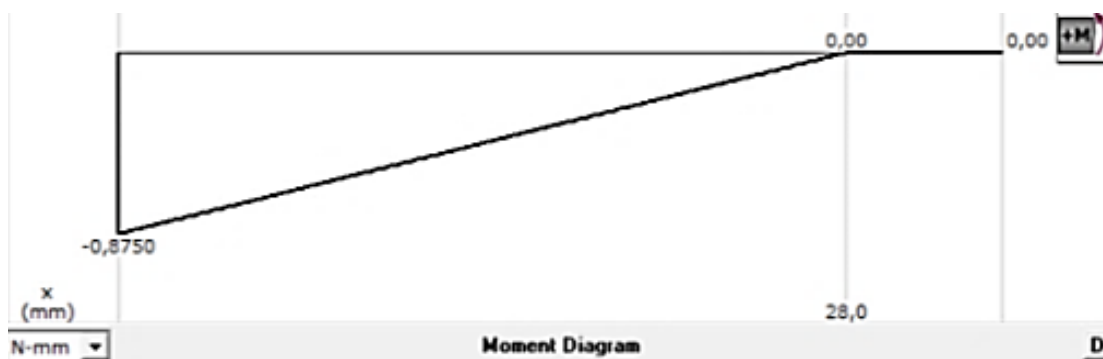


Figura 37 Diagrama de momentos flectores de la falange distal

Como se puede observar en la Figura 37, el momento crítico es 0,8750 N-mm, y de acuerdo a las características del material el $S_{y(PLA)} = 60\text{MPa}$ y se establece un factor de seguridad de 2. El esfuerzo de diseño se obtiene mediante la Ecuación 2:

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} \quad (2)$$

Donde:

σ_D : Esfuerzo de Diseño [MPa].

S_y : Limite de Fluencia [MPa].

N: Factor de seguridad.

El esfuerzo de diseño resultante es:

$$\sigma_D = \frac{60 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_D = 30 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por flexión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} \quad (3)$$

Donde:

M_{max} : Momento Flector máximo [N-mm]

S_x : Modulo de sección

Para calcular el módulo de sección se considera una forma rectangular por facilidad en los cálculos y se la obtiene mediante.

$$S_x = \frac{bh^2}{6} \quad (4)$$

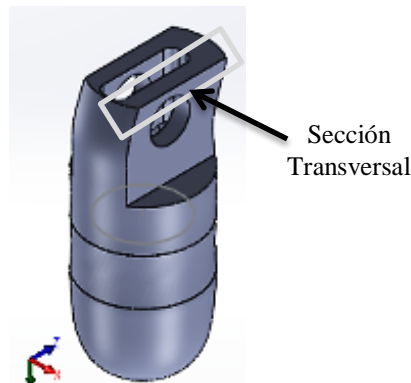


Figura 38 Vista de sección de la falange distal

Con el esfuerzo de diseño se procede al cálculo del espesor de la falange distal, correspondiente a la altura de la sección rectangular (ver Figura 38), mediante la Ecuación 5 la cual se obtuvo del despeje de las ecuaciones de módulo de sección (Ver Ecuación 4) y de esfuerzo por flexión (Ver Ecuación 3)

$$h = \sqrt{\frac{6 * M_{max}}{b * \sigma_D}} \quad (5)$$

Donde:

h: Altura de la sección transversal [mm].

M_{max} : Momento flector máximo [N-mm].

b: Base de la sección [mm].

El resultado del cálculo de la altura es:

$$h = \sqrt{\frac{6 * 0,8650 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \text{mm}^2}{34 \text{ mm} * 30 \text{ N}}}$$

$$h = 0,07 \text{ mm}$$

Considerando el resultado anterior se seleccionó un espesor de 1mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al espesor seleccionado, el módulo de sección resultante de la Ecuación 4, es:

$$S_x = \frac{35 \text{ mm} * 1 \text{ mm}^2}{6}$$

$$S_x = 5.83 \text{ mm}^3$$

El esfuerzo al que estará sometida la falange distal, basado en la Ecuación 3, será:

$$\sigma = \frac{0.8650N \cdot mm}{5.83mm^3}$$

$$\sigma = 0,148 \text{ MPa}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ecuación 2, se obtiene:

$$N = \frac{60 \text{ MPa}}{0,148 \text{ MPa}}$$

$$N = 405$$

Lo que permite establecer que la pieza que comprenderá la falange distal, será una estructura sumamente confiable, y debido al proceso de fabricación a utilizarse (Prototipado rápido 3D), es necesario conservar el espesor de 1 mm como mínimo.

Mediante SolidWorks 2015 versión estudiantil, se puede observar en una escala de colores que el factor de seguridad del análisis realizado supera las expectativas.

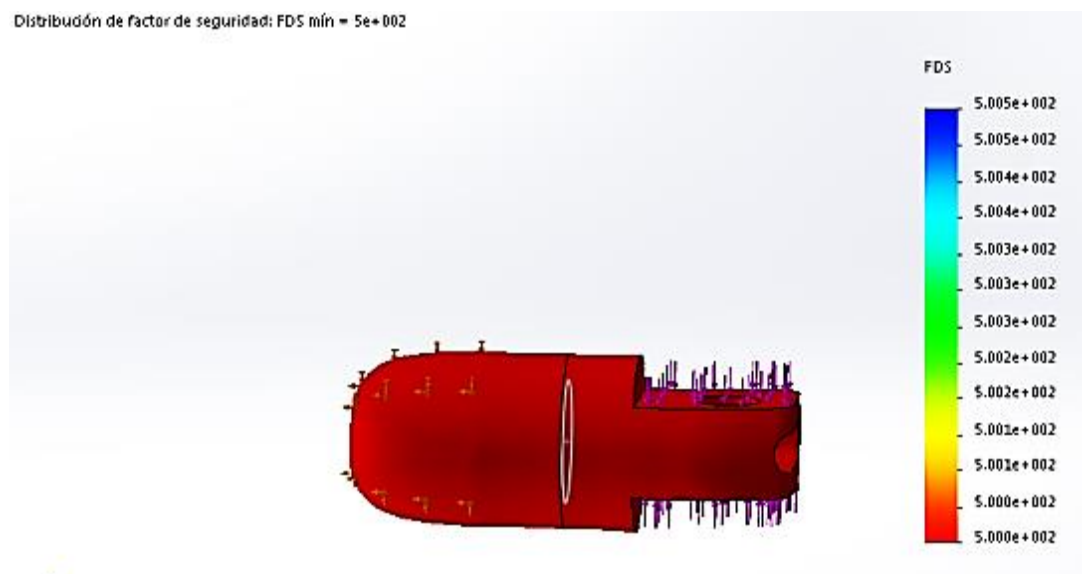


Figura 39 Factor de seguridad en falange distal

Y de acuerdo a los resultados de la Figura 39, el factor de seguridad mínimo es de 500 lo que confirma que el diseño está sobredimensionado debido a las propiedades mecánicas altas del PLA.

b. Análisis de la falange media

Esta falange (ver Figura 40) permite el acople de la falange distal y falange proximal, siendo una pieza hueca para que pase el cable de accionamiento.

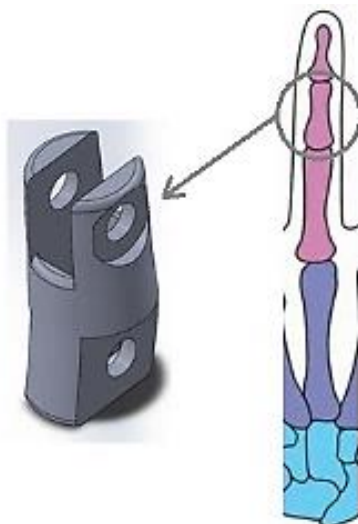


Figura 40 Falange media

En la falange media la sección a analizar es la que permite la unión entre la falange proximal y la falange media, considerando que es la sección que más fuerza va a soportar (peso de la falange distal y media) ver Figura 41.

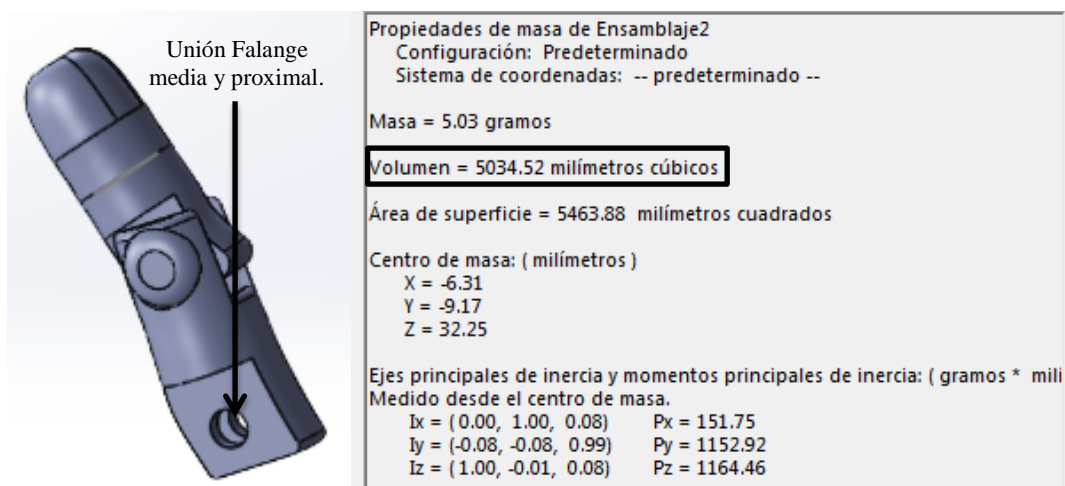


Figura 41 Propiedades físicas de la falange media y distal

Para determinar la fuerza que debe soportar (Peso W), se utiliza la Ecuación 1. Obteniendo el peso máximo en [N].

$$W = 1240 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 5.0345 * 10^{-6} m^3$$

$$W = 0.06124N$$

En base al peso calculado se verifica el espesor adecuado para la falange distal considerándolo como una viga en voladizo en el sector más débil para el análisis. En la Figura 43 y Figura 44 se muestran las fuerzas cortantes y momentos flectores respectivamente, resultados de la fuerza aplicada que se observa en la Figura 42.



Figura 42 Diagrama de cuerpo libre de la falange media

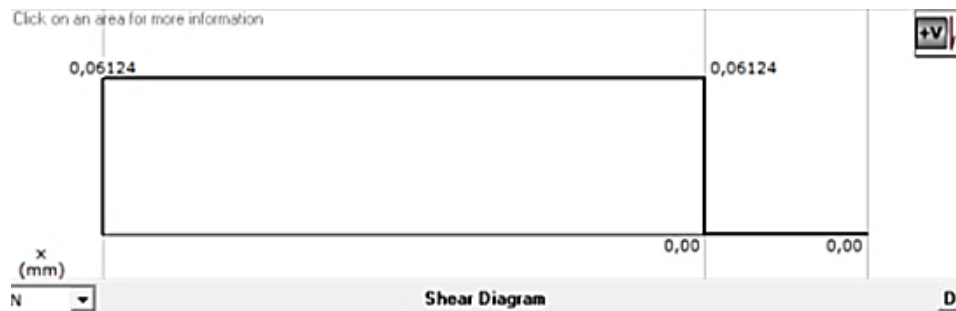


Figura 43 Diagrama de fuerzas cortantes de la falange media

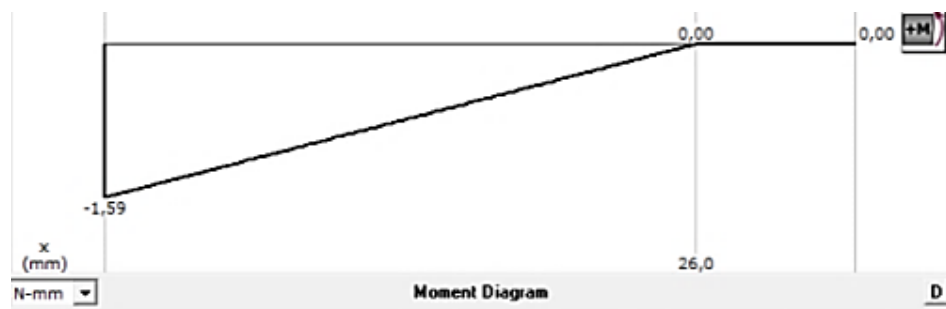


Figura 44 Diagrama de momentos flectores de la falange media

Como se puede observar en la Figura 44 el momento crítico es 1,59 N-mm, para el diseño se utiliza $S_{y(PLA)} = 60\text{MPa}$ y se establece el factor de seguridad de 2. El esfuerzo de diseño se obtiene mediante la Ecuación 2.

El esfuerzo de diseño resultante es:

$$\sigma_D = \frac{60 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_D = 30 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por flexión se calcula mediante la Ecuación 3.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{S_x}$$

Para calcular el módulo de sección se considera una forma rectangular por facilidad en los cálculos y se la obtiene mediante la Ecuación 4.

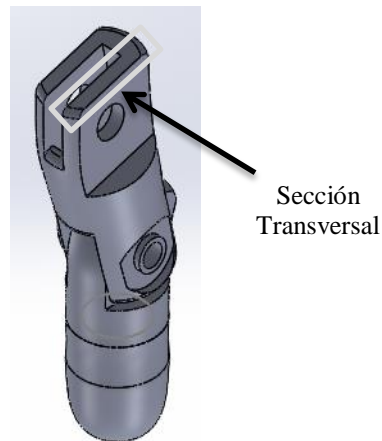


Figura 45 Vista de sección de la falange media

Mediante el esfuerzo de diseño se procede al cálculo del espesor de la falange Media, correspondiente a la altura de la sección rectangular (ver Figura 45). Con la Ecuación 5 se calcula el espesor y el resultado es:

$$h = \sqrt{\frac{6 * 1,59 \text{ N. mm. mm}^2}{33 \text{ mm} * 30 \text{ N}}}$$

$$h = 0,098 \text{ mm}$$

Considerando el resultado anterior se seleccionó un espesor de 1mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al espesor seleccionado, el módulo de sección resultante de la Ecuación 4, es:

$$S_x = \frac{33\text{mm} * 1\text{mm}^2}{6}$$

$$S_x = 5.5\text{mm}^3$$

El esfuerzo al que estará sometida la falange media, basado en la Ecuación 3, es:

$$\sigma = \frac{1,59\text{N. mm}}{5.5\text{mm}^3}$$

$$\sigma = 0,289 \text{ MPa}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ecuación 2, se obtiene:

$$N = \frac{60 \text{ MPa}}{0,289 \text{ MPa}}$$

$$N = 207$$

Este factor de seguridad indica que la falange distal está sobredimensionada, no obstante esta pieza sigue siendo segura, ya que el factor de seguridad apropiado debe ser mayor o igual a 2.

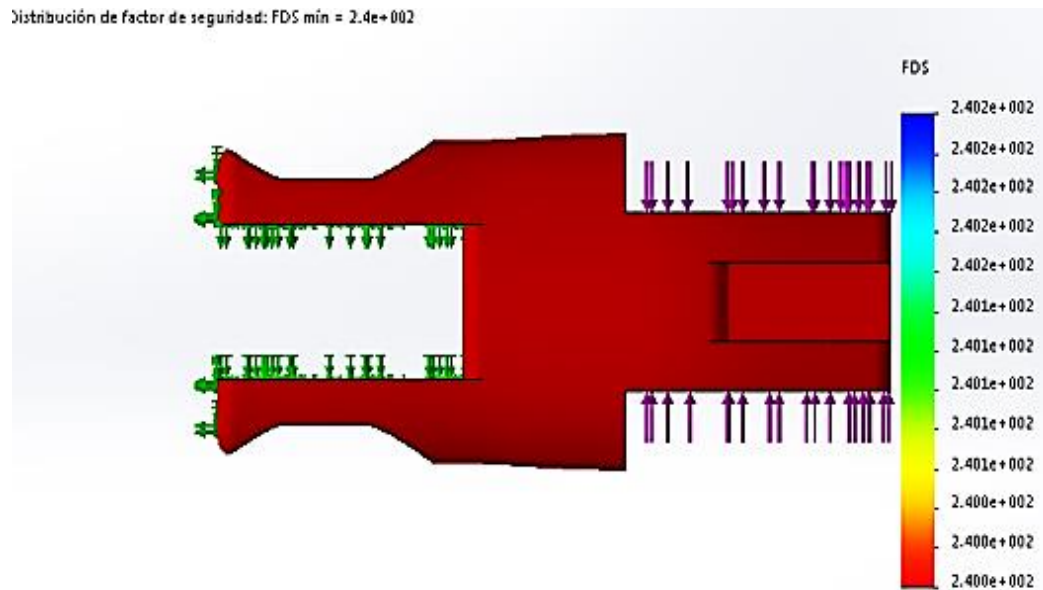


Figura 46 Factor de seguridad en falange Media

Empleando SolidWorks 2015 versión estudiantil, nuevamente se puede observar en la escala de colores que el factor de seguridad del análisis realizado supera las expectativas. Y de acuerdo a los resultados de la Figura 46, el factor de seguridad mínimo es 240, lo que ratifica que el diseño está sobredimensionado debido a las propiedades mecánicas altas del PLA.

c. Análisis de la falange proximal

Permite la unión de la falange media y la palma como se muestra en la Figura 47.

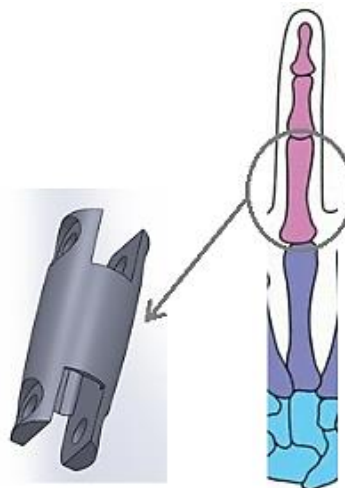


Figura 47 Falange proximal

En la falange proximal, la sección a analizar es la que permite la unión entre la falange proximal y la palma, es la sección que más fuerza va a soportar (Peso de la falange distal, media y proximal) ver Figura 48.

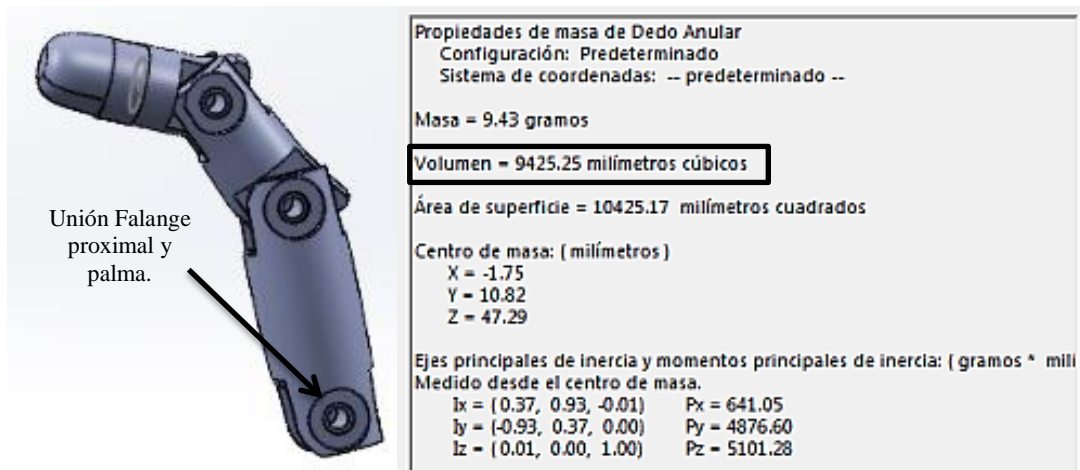


Figura 48 Propiedades físicas de la falange proximal, media y distal

Para determinar la fuerza que debe soportar (Peso W), se utiliza la Ecuación 1. Obteniendo el peso máximo en [N]

$$W = 1240 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 9.4253 * 10^{-6} m^3$$

$$W = 0.11465 N$$

En base al peso calculado se verifica el espesor adecuado para la falange proximal, considerándolo como una viga en voladizo en el sector más débil para el análisis, en la Figura 50 y Figura 51, se muestran las fuerzas cortantes y momentos flectores respectivamente, resultados de la fuerza aplicada que se observa en la Figura 49.



Figura 49 Diagrama de cuerpo libre falange proximal



Figura 50 Diagrama de fuerzas cortantes de la falange proximal

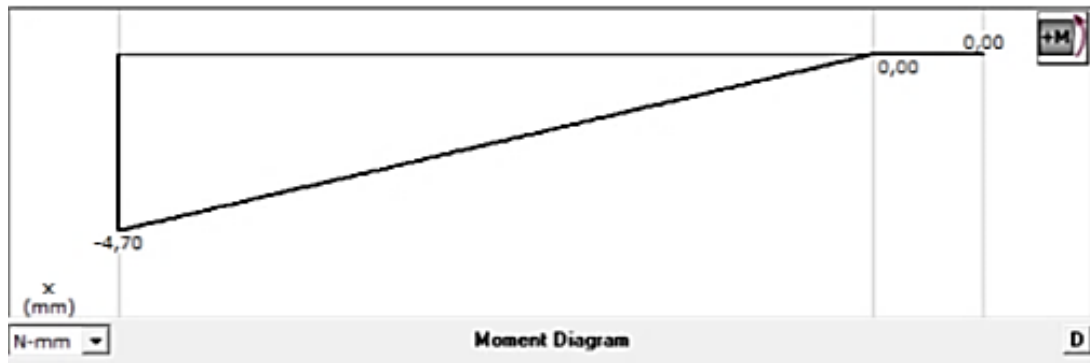


Figura 51 Diagrama de momentos flectores de la falange proximal

Como se puede observar en la Figura 51, el momento crítico es 4,70 N-mm, y para el diseño se utiliza $S_{y(PLA)} = 60\text{MPa}$ y se establece el factor de seguridad de 2. El esfuerzo de diseño se obtiene mediante la Ecuación 2.

$$\sigma_D = \frac{60 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_D = 30 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por flexión se calcula mediante la Ecuación 3.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{S_x}$$

Para calcular el módulo de sección se considera una forma rectangular por facilidad en los cálculos y se la obtiene mediante la Ecuación 4:

$$S_x = \frac{bh^2}{6}$$



Figura 52 Vista de sección de la falange proximal

Mediante el esfuerzo de diseño se procede al cálculo del espesor de la falange proximal, correspondiente a la altura de la sección rectangular (ver Figura 52).

Con la Ecuación 5, se calcula el espesor y el resultado es:

$$h = \sqrt{\frac{6 * 4,70 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \text{mm}^2}{41 \text{ mm} * 30 \text{ N}}}$$

$$h = 0,151 \text{ mm}$$

Considerando el resultado anterior se selecciona un espesor de 1mm y para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al espesor seleccionado, el módulo de sección resultante de la Ecuación 4, es:

$$S_x = \frac{41 \text{ mm} * 1 \text{ mm}^2}{6}$$

$$S_x = 6.83 \text{ mm}^3$$

El esfuerzo al que estará sometida la falange proximal, basado en la Ecuación 3, es:

$$\sigma = \frac{4.70 \text{ N} \cdot \text{mm}}{6.83 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = 0,68 \text{ MPa}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ecuación 2, se obtiene:

$$N = \frac{60 \text{ MPa}}{0,68 \text{ MPa}}$$

$$N = 87$$

El factor de seguridad de 87, indica que el espesor de la falange distal está sobredimensionado, más sin embargo continúa siendo una estructura segura.

Y una vez más para comprobar el diseño, se emplea SolidWorks 2015 versión estudiantil, donde se puede observar en una escala de colores que el factor de seguridad del análisis realizado supera las expectativas.

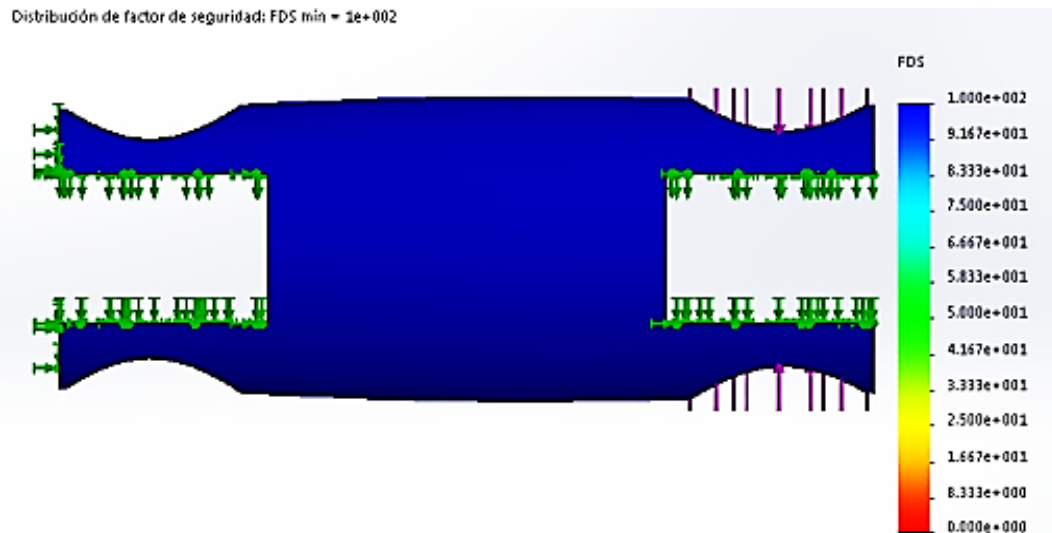


Figura 53 Factor de seguridad en falange proximal

Según los resultados de la Figura 53, el factor de seguridad mínimo es de 100, lo que confirma que el diseño está sobredimensionado debido a las propiedades mecánicas altas del PLA, pero a pesar de aquello esto también favorece a la fabricación mediante Prototipado rápido 3D.

2.2.1.2 Modelado de la palma

La palma (ver Figura 54), permite el acople de los dedos y la muñeca, aparte de conducir internamente cada cable de accionamiento de los dedos.

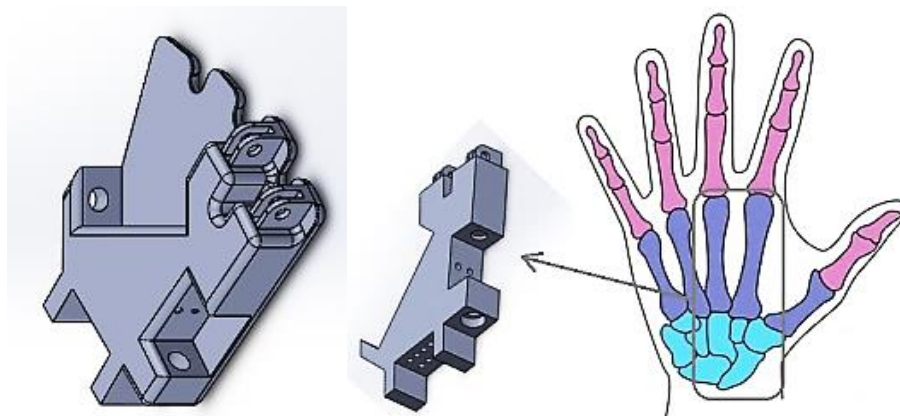


Figura 54 Palma

2.2.1.3 Modelado de la muñeca o antebrazo

La muñeca es la unión entre la mano y el antebrazo, en este caso esta no necesita tener movimiento, por lo que se diseña el antebrazo (ver Figura 55), que es el encargado de soportar los elementos de accionamiento de los dedos, es decir los servomotores.

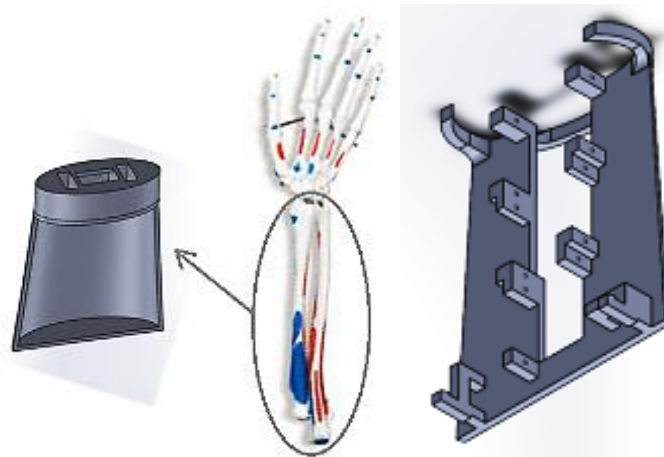


Figura 55 Antebrazo y base de los servomotores

2.2.1.4 Análisis estático y modelado de la base

El diseño de la base para el soporte de ambas manos se observa en la Figura 56.



Figura 56 Base para las manos robóticas

Y para el análisis del espesor de la base donde se va a ubicar las manos, se la considera como una viga curva con 2 apoyos, uno en cada costado y la fuerza a soportar, es el peso de toda la mano más los componentes de accionamiento (servomotores). La Figura 57, muestra el diseño total de una mano robótica.

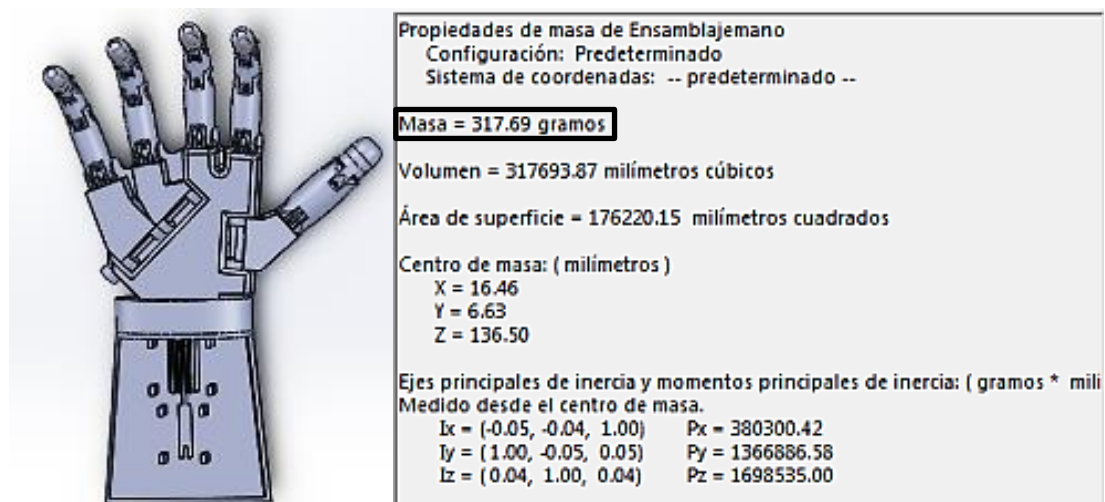


Figura 57 Propiedades físicas de la mano robótica obtenidas de SolidWorks

El peso que soporta la base se calcula mediante la Ecuación 6.

$$W_t = W_m + W_s \quad (6)$$

Dónde:

W_t : Peso total [N]

W_m : Peso de la mano Robótica [N]

W_s : Peso de Servomotores [N]

El peso de la mano robótica se determina mediante:

$$W = m * g \quad (7)$$

El peso de los servomotores se obtiene de las características técnicas mostradas en el ANEXO C3: Especificaciones técnicas de los servomotores y la Ecuación 8.

$$W_s = 5(m * g) \quad (8)$$

Entonces el peso total de una mano, se calcula de la siguiente manera:

$$W_t = 0,31769Kg * 9,81 m/s + 5(0,025Kg * 9,81 m/s)$$

$$W_t = 4,3427 N$$

En la Figura 59 y Figura 60 se puede observar las fuerzas cortantes y momentos flectores a las que está sometida cada base de la mano robótica, respectivamente. La Figura 58 presenta la fuerza aplicada a la base de las manos.

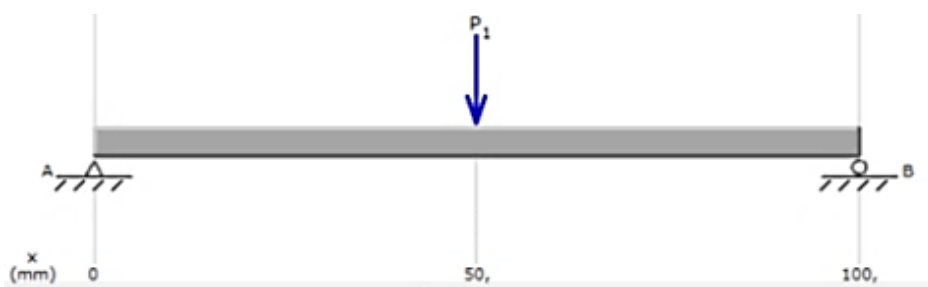


Figura 58 Diagrama de cuerpo libre de la base

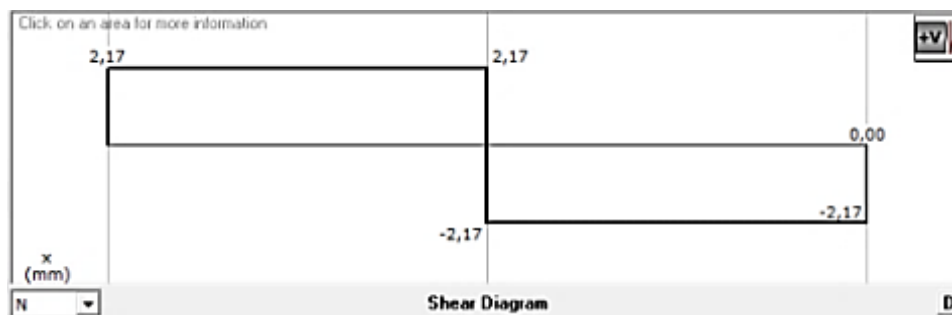


Figura 59 Diagrama de fuerzas cortantes de la base



Figura 60 Diagrama de momentos flectores de la base

Como se puede observar en la Figura 60, el momento crítico es 108,50 N-mm, y para el diseño se utiliza $S_{y(PLA)} = 60\text{MPa}$ y se establece el factor de seguridad de 2. El esfuerzo de diseño resultante se obtiene mediante la Ecuación 2.

$$\sigma_D = \frac{60 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_D = 30 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por flexión se calcula mediante la Ecuación 3.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{S_x}$$

Para calcular el módulo de sección se considera una forma rectangular por facilidad en los cálculos y se la obtiene mediante la Ecuación 4:

$$S_x = \frac{bh^2}{6}$$

Mediante el esfuerzo de diseño se procede al cálculo del espesor de la base, correspondiente a la altura de la sección rectangular, puesto que con la Ecuación 5 se calcula el espesor y el resultado es:

$$h = \sqrt{\frac{6 * 108,50 \text{ N. mm. mm}^2}{100 \text{ mm} * 30 \text{ N}}}$$

$$h = 0,46 \text{ m}$$

Considerando el resultado anterior se seleccionó un espesor de 1mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al espesor seleccionado, el módulo de sección resultante de la Ecuación 4 es:

$$S_x = \frac{100\text{mm} * 1\text{mm}^2}{6}$$

$$S_x = 16.66mm^3$$

El esfuerzo al que estará sometida la base de la mano robótica basado en la Ecuación 3, es:

$$\sigma = \frac{108.50N \cdot mm}{16.66mm^3}$$

$$\sigma = 6,48 \text{ MPa}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ecuación 2, se obtiene:

$$N = \frac{60 \text{ MPa}}{6,48 \text{ MPa}}$$

$$N = 9$$

Con un factor de seguridad 9 se establece un espesor de la base de la mano robótica sobredimensionado, no obstante nuevamente por la facilidad de fabricación (Prototipado rápido 3D) se conserva el espesor 1mm.

Para comprobar el diseño se emplea el software SolidWorks 2015 versión estudiantil, mediante el cual se puede observar en una escala de colores que el factor de seguridad del análisis realizado supera las expectativas.

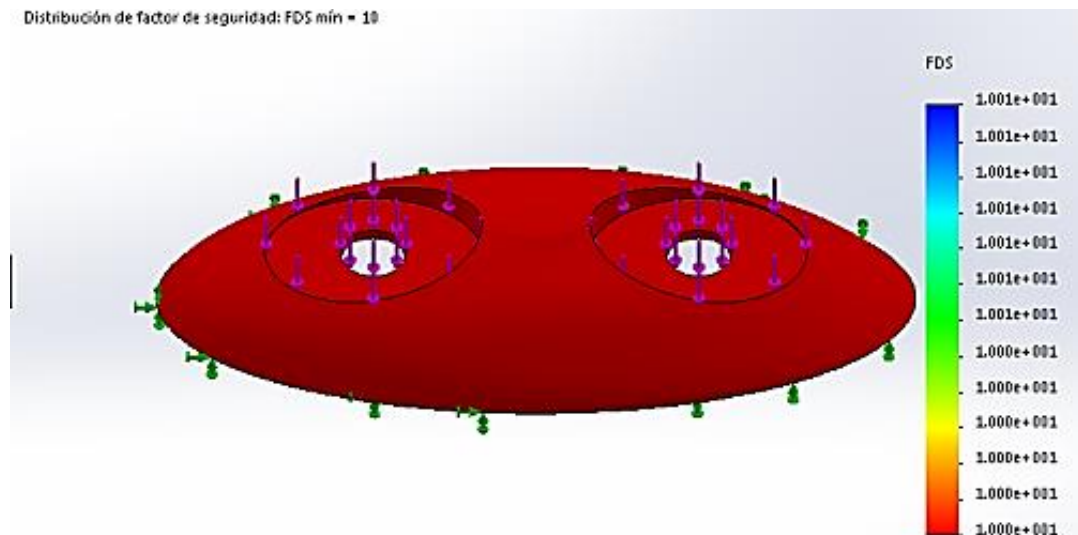


Figura 61 Factor de seguridad en base de mano robótica

De acuerdo a los resultados de la Figura 61, el factor de seguridad mínimo es de 10, lo que confirma que el diseño está sobredimensionado debido a las propiedades mecánicas altas del material.

2.2.1.5 Torque máximo del motor

Para calcular el torque máximo del motor se toma el peso total ($W_t = 0,1146 N$) de un dedo en condiciones máximas como única fuerza a mover, y se le considera como un solo eslabón a través de la Ecuación 9.

$$T = F * d \quad (9)$$

En la Figura 62, se muestra la distancia considerada para el cálculo del torque, este se realiza del dedo considerado como el más crítico y de mayor tamaño, puesto que los otros dedos son similares en cuanto a su forma pero de menor tamaño.

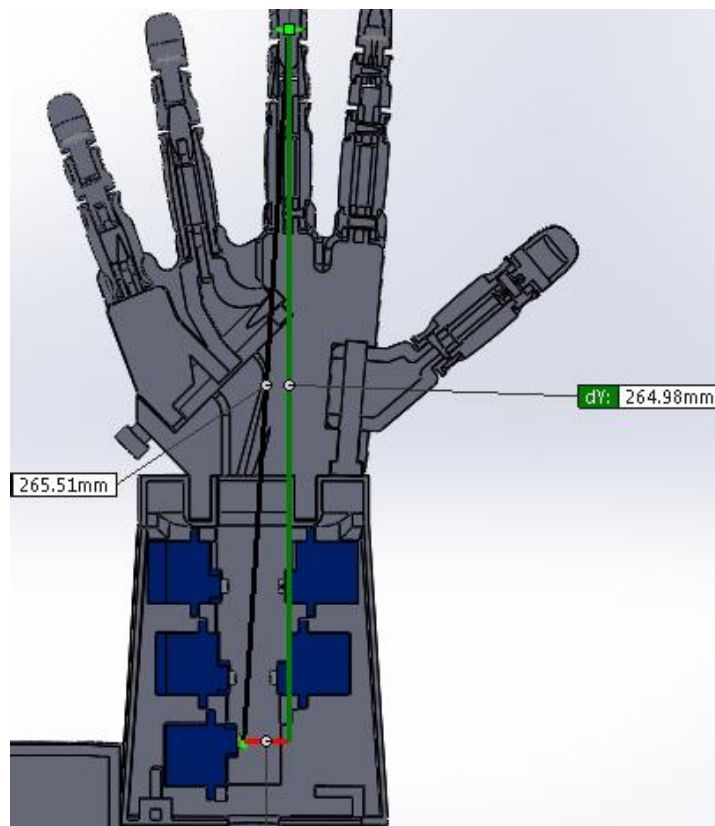


Figura 62 Distancia máxima

Dónde:

F = Fuerza total

1 Kg.cm = 0.0981 N.m

$$T = 0,1146 N * 0,27 m$$

$$T = 0,031 N.m$$

$$T = 0,32 Kg.cm$$

El torque necesario para mover el dedo de la mano es de 0,32 Kg*cm. Y debido a la similitud de los demás dedos este torque se aplica en todos los dedos de la mano.

2.2.1.6 Modelado total de las manos robóticas

Realizando el ensamble mediante software, las manos robóticas montadas sobre la base se muestran en la Figura 63.

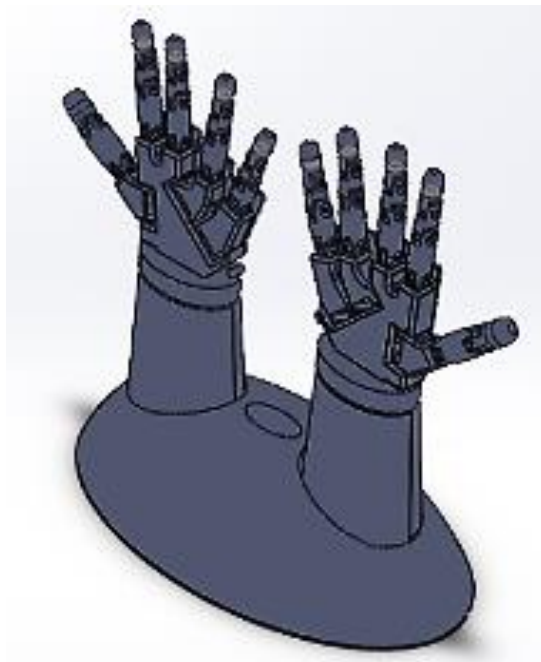


Figura 63 Modelado final de las manos robóticas

2.2.2 Selección de componentes mecánicos

Debido a que las manos robóticas son similares al tamaño promedio de una mano humana, el tamaño es reducido y se necesita una alta precisión, se propone la implementación con materiales plásticos a través de su fabricación en una impresora 3D.

2.2.2.1 Selección del material de fabricación

Se realiza una comparación de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados por impresoras 3D existentes en el mercado.

Tabla 8



Materiales para impresión 3D

Material	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la tracción	Resistencia a la Flexión	Densidad g/cm^3	Temperatura de fusión
ABS	70 MPa	45 MPa	75 MPa	1,05	240 °C
PLA	60 MPa	53 MPa	60 MPa	1,2-1,4	210 °C

Después de analizar la Tabla 8, para el prototipado de las manos robóticas se selecciona el PLA como material para impresión 3D de acuerdo a los requerimientos técnicos especificados en la Matriz de la Figura 29.

2.2.2.2 Selección del servomotor

Se realiza la comparación de dos tipos de servomotores existentes en el mercado ecuatoriano, los cuales poseen características similares, especialmente el tamaño para el kit robótico, torque, y la velocidad de giro.

FABRICANTE	HiTec	TowerPro
		
Interfaz	Protocolo HMI (Hitec Multi Protocol Interface Cable)	Análogo
Modelo	Hs 55	Sg90
Velocidad	0,17s/60°	0,10s/60°
Torque (kg cm)	1.08-1.30 kg.cm	1-1.5 Kg.m
Voltaje	4.8V – 6V	4.8V – 6V
Dimensiones (mm)	22.61x11.43x23.88	23x12x28.5

Una vez analizadas las características de los servomotores, se elige el servomotor TowerPro existente en el mercado local para realizar el movimiento de flexión y extensión de cada dedo, el torque calculado es de 0.32 kg.cm.

El servomotor seleccionado presenta un torque máximo de 1.5 kg.cm a un voltaje de 4.8 - 6V lo cual significa que es apropiado para soportar las cargas especificada, el tamaño reducido es el adecuado para la ubicación dentro del espacio disponible en el diseño y la alta velocidad de giro lo hacen adecuado al momento de realizar el movimientos de extensión de los dedos para la presentación rápida de las respuesta a las operaciones matemáticas básicas.

2.2.3 Diseño de la aplicación móvil

La aplicación móvil deberá ser amigable, divertida, intuitiva y de fácil navegación para el niño y el educador, además tendrá dos opciones de operación:

Por Teclado: En este modo, el niño podrá digitar las operaciones matemáticas básicas, mediante un teclado y el sistema se encargara de enviar la respuesta vía Bluetooth hacia las manos robóticas para la visualización de las respuestas.

Por Voz: Este modo responderá a comandos de voz, mediante el motor de reconocimiento de Google para realizar la operación y finalmente la respuesta se visualizará en las manos robóticas.

La aplicación contará también con una opción para conectar/enlazar entre el dispositivo móvil y el módulo Bluetooth del kit. A continuación se detalla en el algoritmo de la aplicación Android el diagrama de la Figura 64.

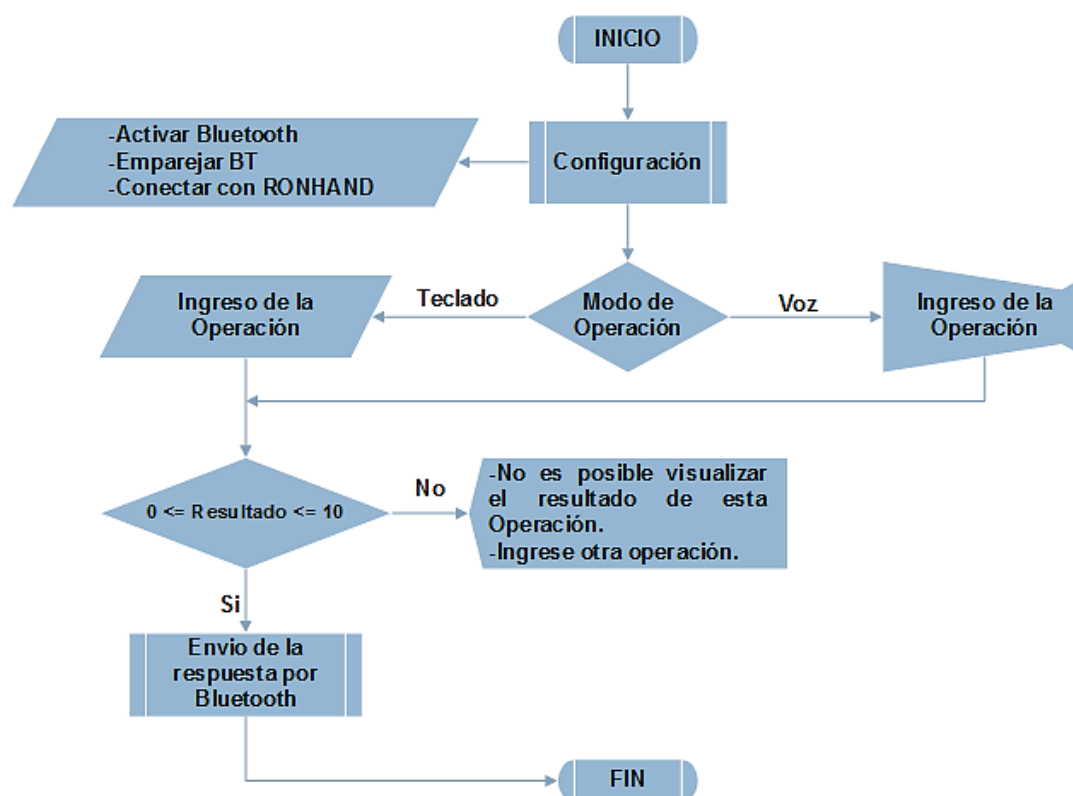


Figura 64 Diagrama de flujo de la aplicación Android

2.2.3.1 Selección del software para la aplicación en Android

Para la selección del software se toma en cuenta la compatibilidad de un sistema operativo con el hardware que posee el dispositivo, para que la aplicación sea funcional. De acuerdo con las características mencionadas en la Sección 1.11.1, finalmente se selecciona MIT App Inventor 2 como software de diseño para la aplicación Android. Además que los dispositivos Android usan Google Now,

aplicación que permite hacer búsquedas de información y lleva integrado el reconocimiento de voz.

2.2.4 Diseño del sistema de control

El sistema de control es el conjunto de elementos o dispositivos que permite controlar las acciones de las manos robóticas a partir de la entrada de datos inalámbricos a una tarjeta de control para el posterior funcionamiento de los motores y visualización de las respuestas en las manos robóticas.

2.2.4.1 Parámetros de diseño del sistema de control

Una vez establecido el diseño mecánico de las manos robóticas, se diseña el sistema de control, el mismo que debe ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Comunicación inalámbrica.
- Procesamiento de las respuestas de las operaciones matemáticas.
- Control de posición de los movimientos de cada dedo de las manos robóticas según los datos recibidos para lo cual será necesario 10 pines digitales.
- El orden de visualización de los dedos deberá iniciar por pedagogía por la mano derecha y seguidamente continuar con la izquierda.
- Interpretación los datos enviados por el puerto serial.
- Visualización de las operaciones matemáticas realizadas mediante teclado y comandos de voz.
- Limitación de las operaciones matemáticas a números de entre 0 y 10.
- Señal visual para indicar el ingreso de una nueva operación matemática y la recepción del dato.
- Switch de encendido y apagado del Kit Robótico.

2.2.4.2 Sistema de control de las manos robóticas

Conforme a la Sección 2.2.4.1, el sistema de control se realizará en base a un dispositivo móvil, lo cual permitirá al usuario a través de una aplicación en Android:

- Establecer una conexión inalámbrica entre el dispositivo y el kit robótico, para lo cual la tarjeta debe tener pines de Tx y Rx.
- Seleccionar el modo de operación de las manos robóticas.
- Utilizar un teclado táctil o comandos de voz para el procesamiento de la operación matemática.
- Realizar operaciones matemáticas cuyas respuestas sean menores a 10 y de acuerdo al conocimiento de los niños(as).
- Navegar entre las diferentes pantallas de la aplicación.

La aplicación Android se comunicará mediante protocolo UART RS 232 serial, la cual estará encargada de controlar las señales de entradas/salidas digitales para realizar el cambio de posición de los servomotores.

2.2.4.3 Selección de las tarjetas de control

a. Arduino UNO R3

Luego de analizar los requerimientos indicados en la Sección 2.1.1 del usuario e ingeniería, y las diferentes características de algunas tarjetas de control existentes en el mercado que se muestra en la Tabla 9, se elige la tarjeta Arduino UNO la cual se observa en la Figura 65, que cuenta con un bus I2C para comunicarse con diferentes dispositivos en serie y utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y por otra la señal de reloj.

En la placa Arduino UNO, la línea de datos SDA está en el pin analógico 4, y la línea de reloj SCL está en el pin analógico 5, además que es compatible con módulos Bluetooth para comunicarse fácilmente con un dispositivo móvil a través de pines usados para recibir (RX) y transmitir (TX) datos TTL en serie.

Tabla 9

Características básicas de las tarjetas de control ARDUINO

Tarjetas Arduino	Voltaje de Operación/Voltaje de Alimentación	E/S Digitales/PWM	SRAM (KB)	Flash (KB)	UART	Notas
Uno	5V/7-12V	14/6	2	32	1	Comunicación I2C
Leonardo	5V/7-12V	20/7	2.5	32	1	
Mega ADK	5V/7-12V	54/15	8	256	4	Funciona con ADK

Continua →

						(Android)
Micro	5V/7-12V	20/7	2.5	32	1	Compatible con protoboards
Mini	5V/7-9V	14/6	2	32	-	
Nano	5V/7-9V	14/6	½	16	1	
ArduinoBT	5V/2.5-12V	14/6	2	32	1	
Pro Mini	5V/5-12V	14/6	1	16	1	-

La tarjeta de control es la encargada controlar la posición de los servomotores y la comunicación con el dispositivo móvil, para ejecutar instrucciones que se envíe el usuario desde la aplicación Android.



Figura 65 Arduino UNO R3
Fuente: (Arduino, 2015)

b. Servo Driver PCA9685

El Servo Driver (ver Figura 66), controlado por el protocolo I2C con tan solo dos pines (SDA y SCL) conectados a la tarjeta principal Arduino UNO, permite controlar hasta 16 servos mediante hardware, e incluye reloj interno como generador de onda, mucho más preciso que el generado por software y una entrada de 5V (chip alimentado por 3V).

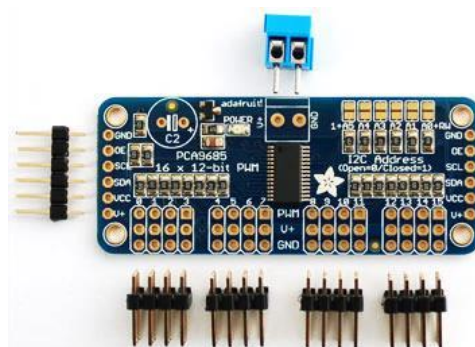


Figura 66 Servo driver Adafruit PCA9685
Fuente: (Garvia, 2013)

Para seleccionar la fuente externa que alimentará los diez motores es necesario conocer el consumo de corriente. Un motor eléctrico tiene una potencia y velocidad

de operación. Estas dos características establecen cierto “torque” o “par” que puede liberar el motor para que gire o no determinada carga.

$$T = \frac{P}{W} \quad (10)$$

Donde:

T: Torque o par

P: Potencia del motor

W: Velocidad de giro

$$T = 1.5 \text{ kg.cm} = 0.147 \text{ J}$$

$$W = \frac{60^\circ}{0.12\text{s}} = 8.72 \text{ rad/s}$$

$$P = T * W$$

$$P = 0.147 \text{ J} * 8.72 \text{ rad/s}$$

$$P = 1.28 \text{ [W]}$$

$$P = V * I \quad (11)$$

Donde:

V: Voltaje del motor

I: Corriente

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1.28 \text{ W}}{5 \text{ V}} = 0.25 \text{ A}$$

2.2.4.4 Selección del módulo de comunicación inalámbrica

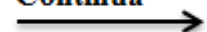
Para la selección del módulo es importante primero tener en cuenta los parámetros como: costos, alcance de comunicación inalámbrica y conexión sencilla.

Tabla 10

Comparación de las tecnologías de comunicación inalámbrica

Características	Bluetooth 802.15.1	ZigBee 802.15.4
Consumo de Corriente	40mA	35mA
Consumo en reposo	200uA	3uA
Velocidad de transmisión	1 Mbps	250Kbps(2,4GHz) 40Kbps(915MHz)

Continúa



Topología	Estrella	20Kbps(868MHz) Estrella, Árbol, Punto a Punto y Malla
Frecuencia de operación	2.4GHz	2.4GHz, 868/915MHz
Tipos de datos	Digital/Audio	Digital (Texto)
Cobertura	10m-100m	10m-20m
Aplicaciones	Computadoras/Dispositivos Móviles/Wireless	Control de bajo costo y monitoreo
Precio	Accesible	Bajo

De acuerdo a las características de las tecnologías inalámbricas que muestra la Tabla 10, la tecnología Bluetooth se destaca por su robustez, bajo consumo y bajo costo, por lo que se seleccionó el módulo Bluetooth JY-MCU (ver Figura 67) pues es ideal para aplicaciones Android, compatible con cualquier dispositivo Bluetooth y de fácil implementación con módulos Arduino, lo que facilita también su configuración a través del ANEXO B: Código de programación en Arduino. Además, posee un regulador interno que permite su alimentación de 3.6 a 6V.



Figura 67 Módulo Bluetooth JY-MCU (HC-06)
Fuente: (DX, s. f.)

Después de seleccionar los dispositivos para el control de las manos robóticas se establece el sistema de control final, que muestra la Figura 68 a continuación:

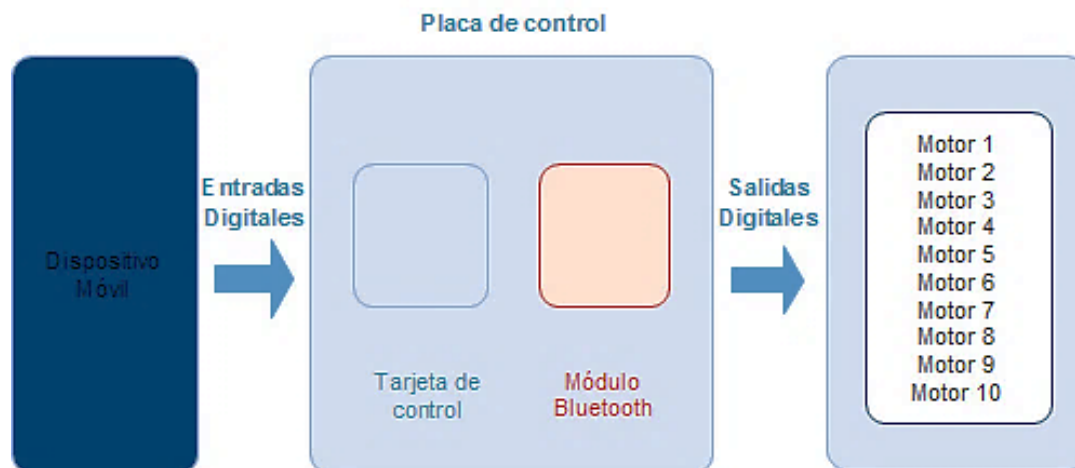


Figura 68 Diagrama de bloques del sistema de control

2.2.5 Diseño del algoritmo de la tarjeta de control

Como se muestra en el diagrama de la Figura 69, la tarjeta Arduino UNO debe recibir los datos enviados vía Bluetooth desde el dispositivo móvil a través de una aplicación Android y verificar el estado de las E/S digitales para controlar la posición de los servomotores de acuerdo a la respuesta de la operación enviada.

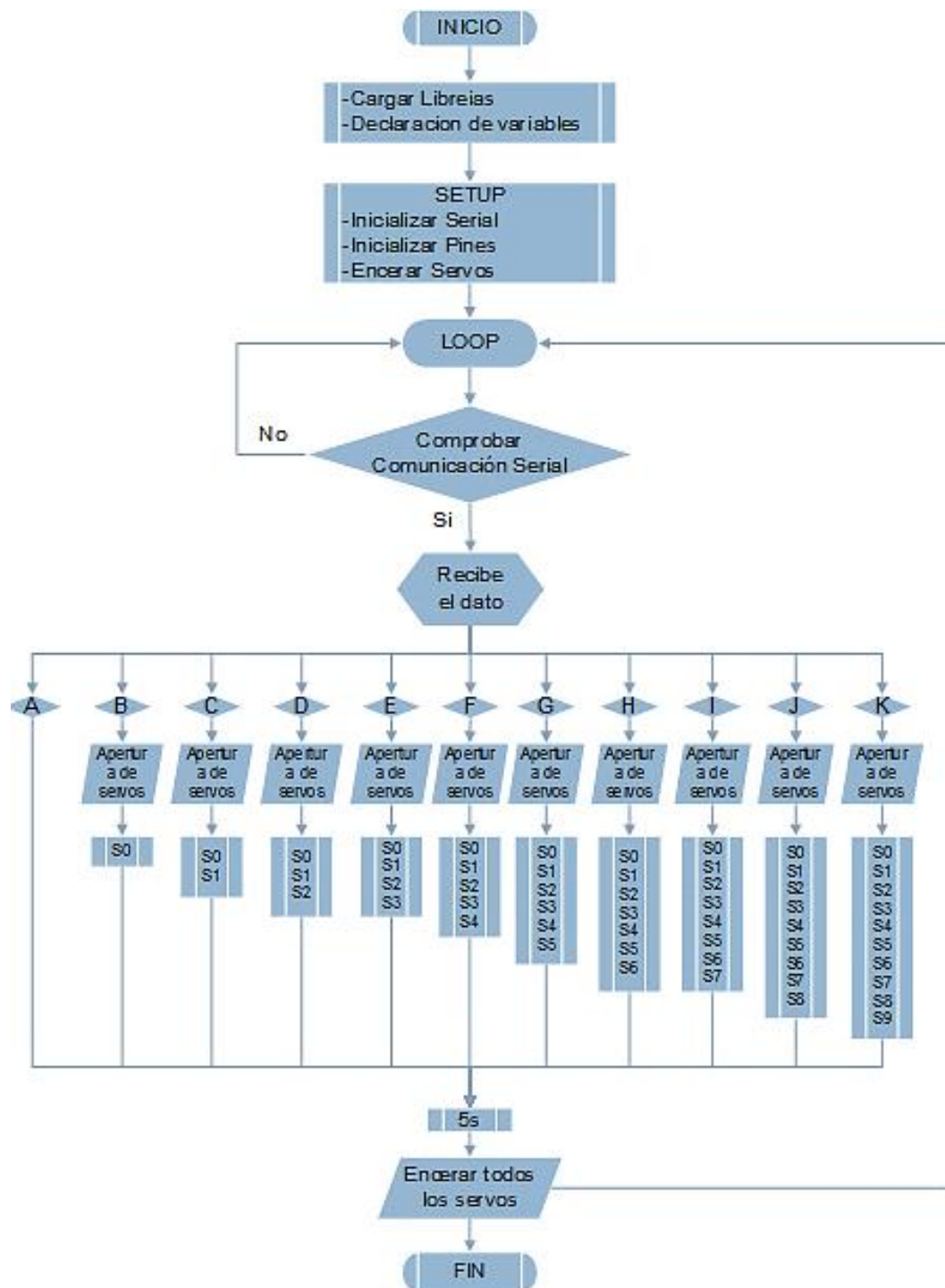


Figura 69 Diagrama de flujo del algoritmo en Arduino UNO

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

2.3 Tecnología de construcción

La construcción de las partes mecánicas constituyentes de las manos robóticas se llevó a cabo en su totalidad, en la Tabla 11 se detallan las máquinas y equipos que se utilizaron para la construcción de las manos.

Tabla 11

Máquinas y equipos

Designación	Máquina y/o equipo	Características
M1	Impresora 3D	Tensión:100-240 VAC, 50-60Hz Voltaje de ingreso: 19 VDC Amperaje: 9.4 A. Área de Impresión: 140x140x135mm. Material de impresión: ABS, PLA. Formato de Ingreso: STL
M2	Herramienta Rotatoria: Black & Decker RTX	Tensión: 120 VAC Amperaje: 2 A Frecuencia: 60 Hz Velocidad: 12000/24000/30000 RPM

Como herramientas y accesorios auxiliares se emplearon los indicados en la Tabla 12.

Tabla 12

Herramienta Y/O Accesorios

Designación	Herramienta y/o accesorio
H1	Espátula
H2	Pinza de corte
H3	Brocas
H4	Piedras de limado
H5	Cuchilla
H6	Pinza Plana
H7	Alicate
H8	Destornilladores
H9	Calibrador
H10	Guantes de Protección
H11	Plataforma de impresión

2.3.1 Operaciones tecnológicas

Comprenden las diferentes actividades encaminadas a la obtención de un elemento específico que posteriormente en el montaje, darán origen a las manos robóticas. En la Tabla 13 se resumen las operaciones tecnológicas realizadas para la implementación del proyecto.






Tabla 13
Operaciones tecnológicas.

N.- de Operación	Operaciones
1	Recepción e inspección de materia prima.
2	Preparación de la Impresora: Colocación de material y base de impresión.
3	Impresión 3D: Impresora UP 2
4	Limpieza Material de soporte: Pinza Plana, Alicates, Pinza de Corte, Espátula, Brocas, Piedras de limado, Cuchilla, Guantes de Protección
5	Montaje: Destornilladores, Calibrador

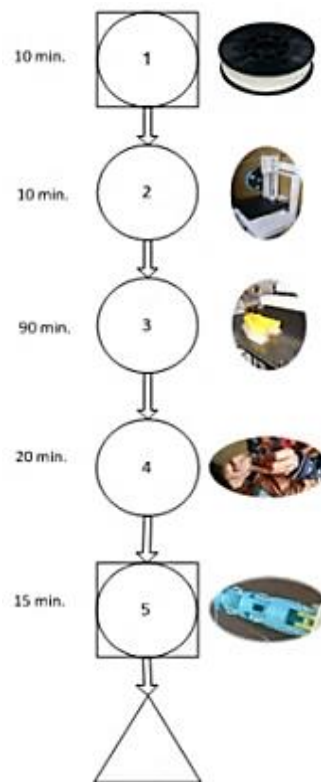
2.3.2 Diagrama de procesos del sistema

Se presentan las operaciones tecnológicas que se siguen en las diferentes etapas de la construcción de las manos robóticas, las operaciones se realizan conforme al avance y según los planos de las manos robóticas. El tiempo empleado para cada operación se identifica al lado izquierdo de la operación en minutos y la nomenclatura para el diagrama se observa en la Tabla 14.

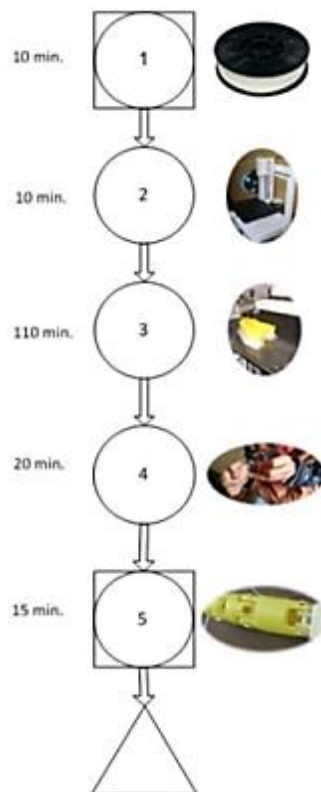
Tabla 14
Simbología del diagrama de procesos

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Operación Tecnológica
	Inspección
	Traslado o Transporte
	Almacenamiento
	Espera

2.3.2.1 Diagrama del proceso de fabricación del dedo menique

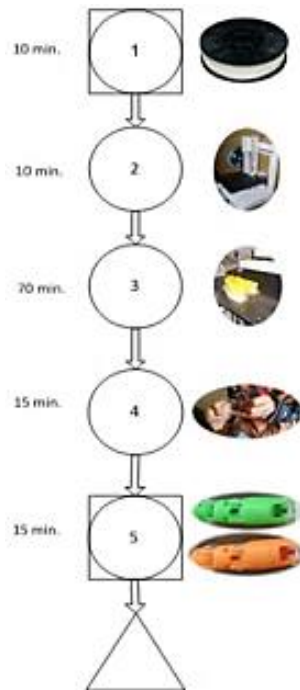


2.3.2.2 Diagrama del proceso de fabricación del dedo anular

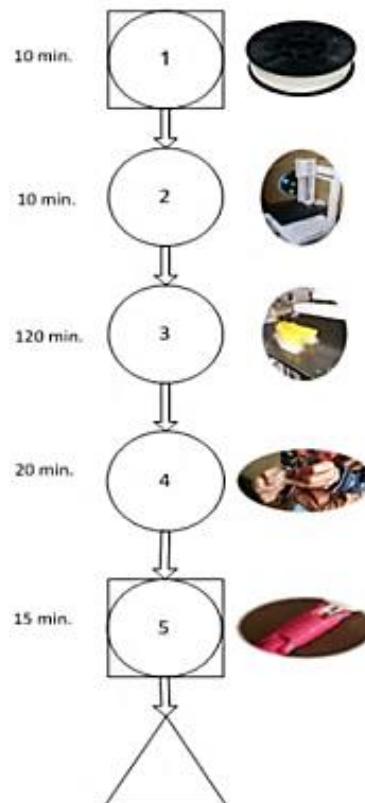


2.3.2.3 Diagrama del proceso de fabricación del dedo medio e índice

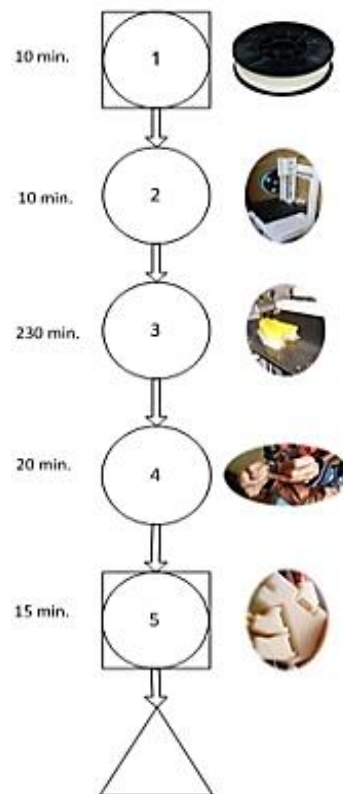
Para el desarrollo del dedo medio e índice se realiza el mismo procedimiento, como se detalla en el siguiente diagrama:



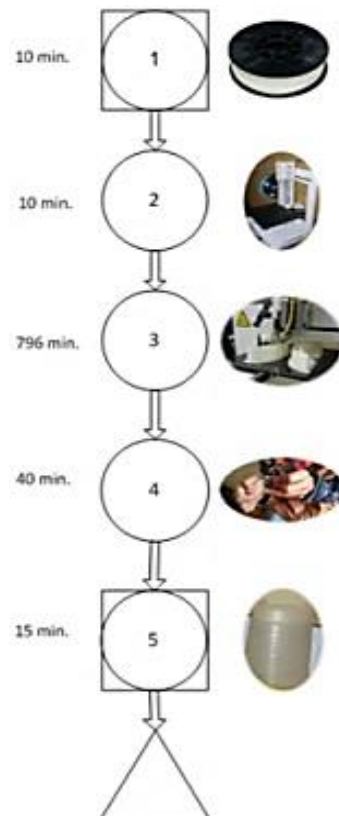
2.3.2.4 Diagrama del proceso de fabricación del dedo pulgar



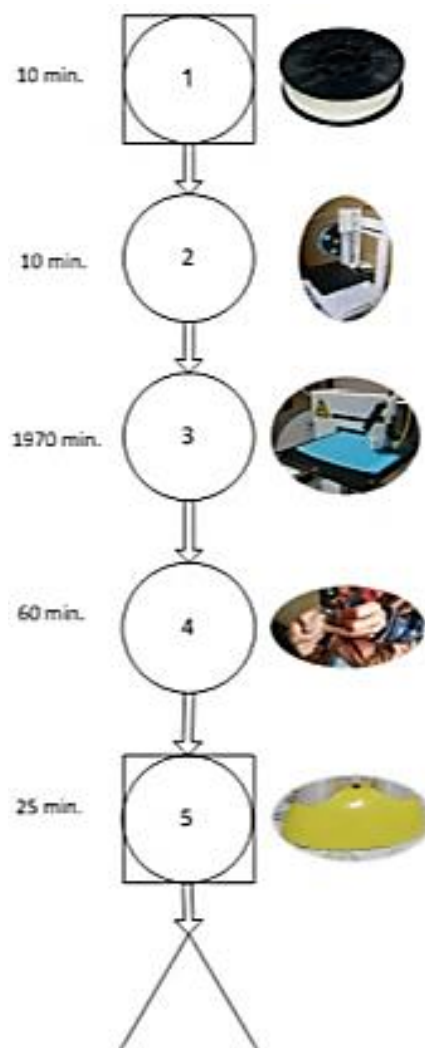
2.3.2.5 Diagrama del proceso de fabricación de la palma



2.3.2.6 Diagrama del proceso de fabricación de la muñeca



2.3.2.7 Diagrama del proceso de fabricación de la base



2.3.3 Proceso de montaje

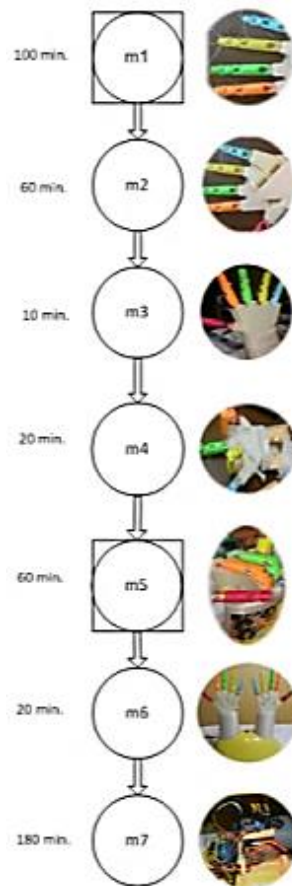
Las operaciones de montaje de los diferentes componentes de las manos robóticas se describen en la Tabla 15.

Tabla 15

Operaciones de montaje

Operaciones de montaje	Código
Montaje de falange Distal, Media y Proximal de cada dedo	m1
Montaje de dedos sobre la Palma	m2
Montaje de la palma sobre la muñeca	m3
Montaje de base para servomotores sobre la muñeca	m4
Montaje de servomotores	m5
Montaje de la muñeca sobre base	m6
Montaje de sistema de control en la base	m7

2.3.3.1 Diagrama de montaje



2.4 Implementación del sistema de control

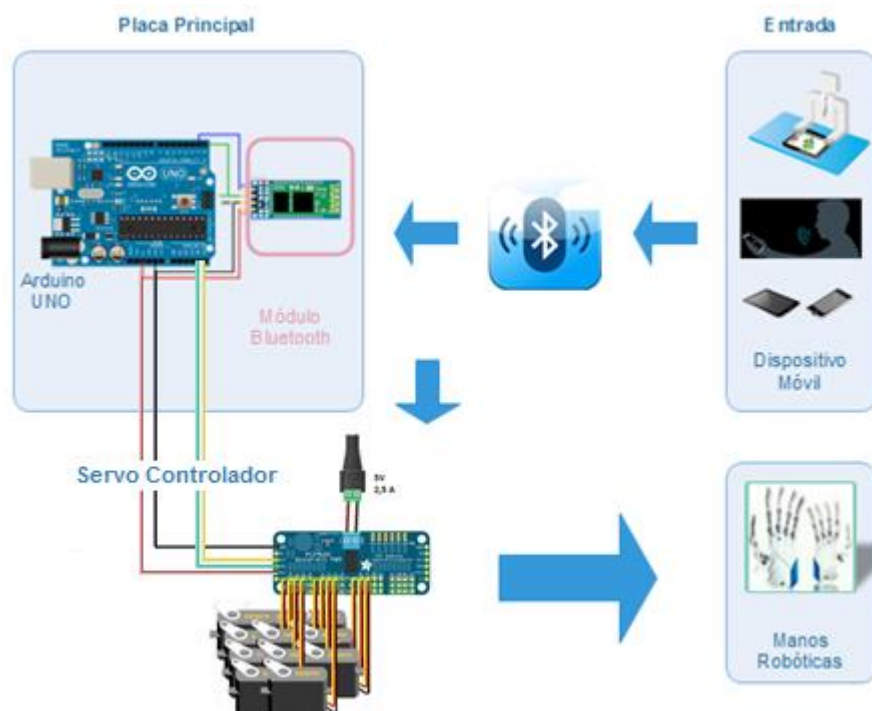


Figura 70 Esquema electrónico de las manos robóticas

El sistema eléctrico es el encargado de alimentar los componentes electrónicos presentes en el kit robótico, para su correcto funcionamiento. Por ello se implementó en la base del kit (ver Figura 70) los siguientes elementos:



Figura 71 Luz piloto

En el exterior, como se observa en la Figura 71, consta de:

1. **Switch ON/OFF:** Encendido y apagado del Kit.
2. **Luz piloto encendida:** Indica que el usuario puede ingresar una nueva operación matemática.
3. **Luz piloto apagada:** Indica que la respuesta ha sido receptada e inicia la visualización.

Y en interior de la base (ver Figura 72), se tiene:

1. **Módulo Bluetooth:** Comunicación inalámbrica entre el dispositivo móvil y la tarjeta de control instalada en las manos robóticas.
2. **Tarjetas de control:** Controlan los movimientos de contraer y extender los dedos.
3. **Fuente energía eléctrica:** Alimentación para los motores 5Vcc y tarjeta de control 12Vcc.

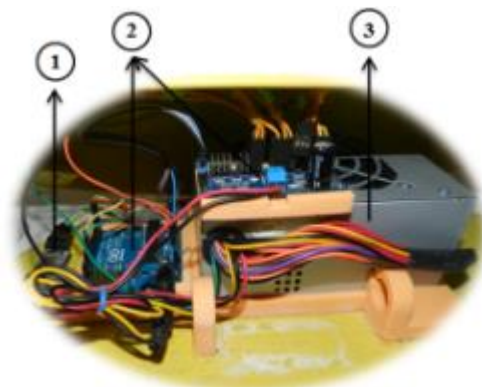


Figura 72 Componentes en el interior de la base

2.4.1 Implementación de la aplicación Android

La aplicación Android se diseñó en MIT App Inventor 2 de la siguiente manera:

Primero se realiza el diseño “estético” de la aplicación, como muestra la Figura 73 en la que se seleccionan los componentes para su aplicación (botones, cajas de texto, imágenes, etc.).

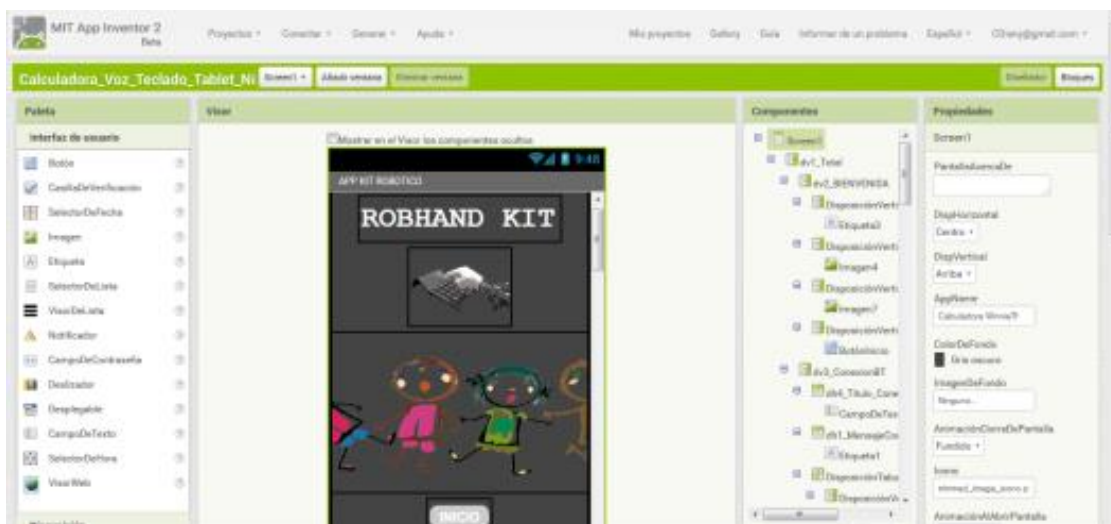


Figura 73 Interfaz gráfica de App Inventor 2

Luego en la Figura 74 se observa la programación a través del editor de bloques, donde se escogen y conectan los bloques lógicos necesarios de acuerdo a los eventos de la aplicación.



Figura 74 Editor de bloques

Y finalmente se prueba de la aplicación en el terminal o en el emulador generando el archivo apk para instalar en el dispositivo móvil.



Figura 75 Icono de la aplicación Android

La aplicación Android, se identifica por el icono de la Figura 75, la cual permite al usuario realizar operaciones matemáticas básicas desde cualquier dispositivo móvil a través de comandos de voz y teclado.

La Figura 76 muestra las dos primeras pantallas que comprenden la aplicación:

1. **Botón de inicio:** Permite navegar en la aplicación.
2. **Botones de estado de conexión:** Permiten emparejar o conectar el dispositivo móvil con las manos robóticas.



Figura 76 Pantallas de inicio y conexión

Esta aplicación contiene dos modos para realizar las operaciones matemáticas, a través de teclado o voz por lo que las pantallas de la Figura 77 y cuenta con los siguientes elementos:

1. **Botón de teclado:** Muestra una calculadora para la realización de operaciones matemáticas.
2. **Botón de voz:** Inicia con el reconocimiento de voz a través del motor de Google.
3. **Botón Atrás:** Accede regresar a la pantalla de conexión.
4. **Botón de Menú:** Retorna a la pantalla de selección.
5. **Botón Salir:** Cierra la aplicación.

6. Botón de reconocimiento: Permite iniciar el reconocimiento de voz.

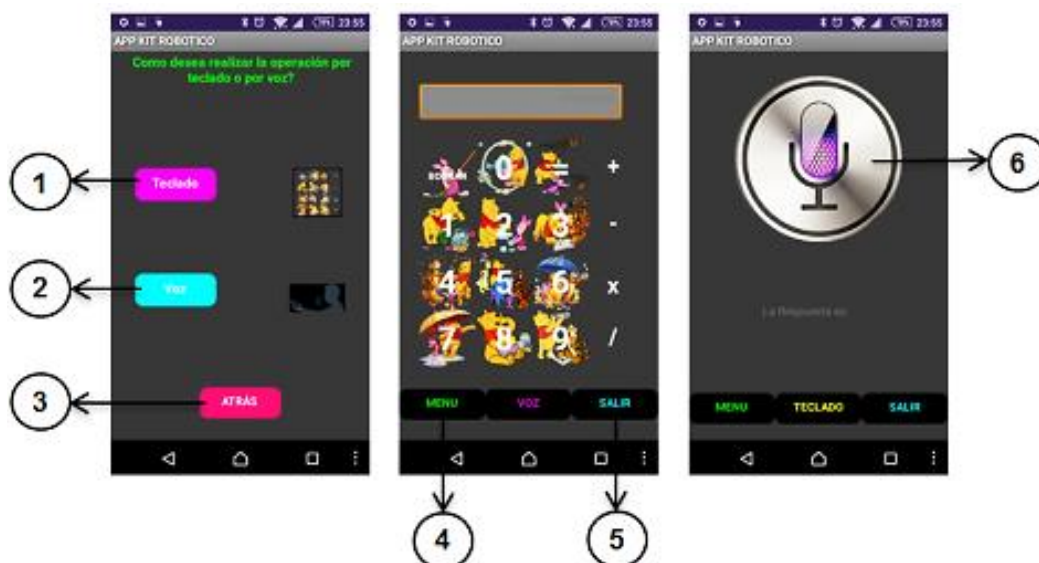


Figura 77 Pantalla de menú, teclado y voz

2.4.2 Implementación del algoritmo de control para reconocimiento de voz

El reconocimiento de los comandos de voz realizados por el usuario, se realizan mediante el motor de Google, el mismo que permite reconocer los números y los operadores matemáticos básicos.

La primera etapa de reconocimiento consiste en identificar las posibilidades de reconocimiento que existe de acuerdo a la frecuencia de voz de los niños, puesto que para un resultado satisfactorio se requiere que el niño vocalice bien los números o las palabras. En la siguiente etapa de reconocimiento consiste en incluir la mayoría de posibilidades de reconocimiento de voz en la programación de la aplicación, a través de las herramientas de MIT App Inventor.

En la Figura 78 se observa los bloques de programación de acuerdo a las funciones requeridas en la aplicación.

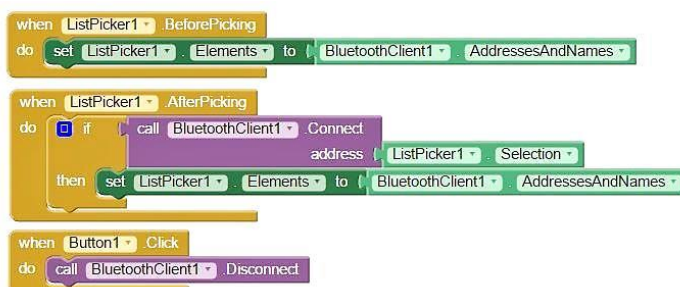


Figura 78 Programación para la conexión Bluetooth

Las herramientas que facilitan el desarrollo de la aplicación por voz son:

SpeechRecognizer, se encarga de escuchar la voz del usuario y convertir en texto usando la función de Android de reconocimiento de voz. En la Figura 79 se presenta la programación para el reconocimiento de voz en MIT App Inventor 2.

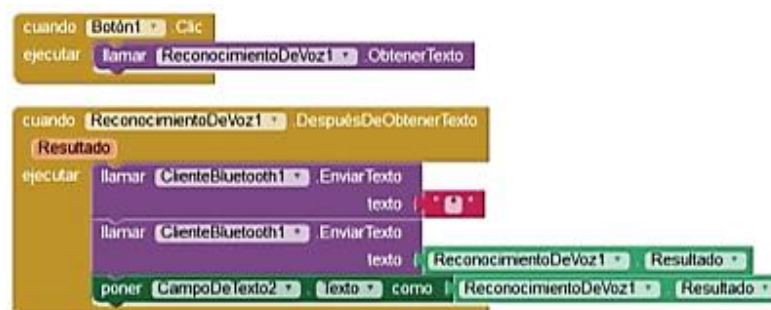


Figura 79 Programación para el reconocimiento de voz

Una vez abierta la aplicación, encontrará un icono de micrófono para iniciar con el reconocimiento de los patrones registrados a través de la aplicación que permitirán determinar la operación matemática realizada y la respuesta, la misma que será enviada vía Bluetooth hacia el kit, para ser visualizada en las manos robóticas.

2.5 Análisis económico

Se consideran los costos directos, materiales, mano de obra, alquiler de máquinas o equipos.

Tabla 16

Costos de materiales (CM)

CANTIDAD	MATERIAL	P. UNIT. \$	P. TOTAL \$
4	Rollos de PLA	60,00	240,00
8	Bases para impresión 3D	10,00	80,00
1	Paquete de Aluminum Post Screw	17,00	17,00
2	Tubo termo compresible	5,00	10,00
1	Paquete de tornillos	2,00	2,00
1	Interruptor	0,50	0,50
1	Placa electrónica Arduino Uno R3control	40,00	40,00
1	PWM Driver PCA9685-16 Channel	20,00	20,00
1	Modulo Bluetooth H5 JY-MCU	25,00	25,00
10	Servomotores de 1.5 kg.cm	14,00	140,00
1	Fuente de 12 & 5 V DC	21,00	21,00
1	Tablet de niños	200,00	200,00
1	Capacitor electrolítico 1000 uF a 25 V	0,50	0,50
1	Led Indicador	0,50	0,50
1	Rollo de filamento de Poliamida (nylon)	2,50	2,50
1	Fibra de vidrio	3,50	3,50
1	Estireno	3,37	3,37

Continua



1	Cobalto	2,00	2,00
TOTAL			807,87

2.5.1 Costos por utilización de máquinas (CUM)

Los costos por utilización de máquinas se especifican en la Tabla 17 de acuerdo a las horas de uso.

Tabla 17

Costo de alquiler de equipo

Descripción de la máquina	Tiempo (horas)	Alquiler (s/hora)	Costo total
M1	82H24	5,00	411,12
M2	48H00	3,00	144,00
TOTAL			555,12

2.5.2 Costo de mano de obra (CMO)

Se establece la relación al tiempo empleado en la construcción de la máquina, valor en horas se multiplica por la tarifa promedio que cada operario gana en una hora, Tabla 18.

Tabla 18

Costo de mano de obra

Operario	N°.- Horas	Costo/Hora	Costo Total
Técnico CNC	130H00	2,40	312,00
Ayudante	130H00	2,30	299,00
TOTAL			611,00

2.5.3 Costo de diseño (CD)

En la Tabla 19 se establece el costo y materiales empleados por el ingeniero para la realización de las manos robóticas.

Tabla 19

Costo de diseño

Material	Costo USD
Implementos de Oficina	20,00
Impresiones	50,00
Diseñador	800,00
TOTAL	870,00

2.5.4 Costo total

La sumatoria de los costos anteriormente descritos, dan el coto total de la máquina Tabla 20.

Tabla 20

Costo total

Rubros	Costo
Costo de material CM	807,87
Costo de Utilización de la Maquinas CUM	555,12
Costo de Mano de Obra CMO	611,00
Costo de Diseño	870,00
TOTAL	2843,99

La inversión total de proyecto es de 2843,99 USD. Las características innovadoras de este proyecto, permitirá complementar el aprendizaje de los alumnos de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi.

2.6 Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas es importante para la materialización del diseño de un sistema, en este caso el objetivo es plantear un ensayo que ayude a determinar que el sistema robótico compuesto por dos manos y permita visualizar los resultados de operaciones matemáticas básicas, ingresadas a través de un dispositivo móvil. Para la realización del ensayo se considera 2 módulos, los cuales deben responder de una manera adecuada para cumplir con a la función proyectada.

2.6.1 Pruebas de las manos robóticas

2.6.1.1 Condiciones del ensayo

Se realiza el ingreso de la operación matemática básica, mediante comandos de teclado o voz desde un dispositivo móvil, vía Bluetooth.

Este ensayo permite obtener datos, de tal manera que la visualización de las respuestas en las manos robóticas, sean empleando todos los dedos en diversas combinaciones.

2.6.1.2 Posiciones a comprobar

Conforme a las condiciones del ensayo las posiciones a comprobar se especifican en la Tabla 21.

Tabla 21

Extensión de los dedos

Números a Visualizar	Mano Derecha					Mano Izquierda				
	Menique	Anular	Medio	Índice	Pulgar	Menique	Anular	Medio	Índice	Pulgar
1	√									
2	√	√								
3	√	√	√							
4	√	√	√	√						
5	√	√	√	√	√					
6	√	√	√	√	√	√				
7	√	√	√	√	√	√	√			
8	√	√	√	√	√	√	√	√		
9	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
10	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

2.6.1.3 Ciclos del ensayo

Para la obtención resultados del ensayo, 12 niños que conforman el séptimo y octavo año, realizaron 132 sumas, 108 restas, 132 multiplicaciones y 132 divisiones (504 operaciones en total) a través del teclado o voz, para ser visualizadas las respuestas en las manos robóticas, de esta manera se verificaría su funcionalidad y la posición deseada.

2.6.1.4 Análisis de resultados

Una vez realizado las pruebas de visualización de cada respuesta posible consecutivamente, se obtienen los datos mostrados en la siguiente Tabla.

Tabla 22

Datos obtenidos durante el ensayo

Respuesta	Repetición de cada operación	Si se visualizó	No se visualizó	No lo realizo
0	48	48	0	0

Continúa →

Mano Derecha	1	84	82	0	2
	2	60	54	4	2
	3	48	41	2	5
	4	36	36	0	0
	5	0	-	-	-
Mano Izquierda	6	36	33	3	0
	7	24	24	0	0
	8	36	35	1	0
	9	12	12	0	0
	10	24	22	2	0
	>10	96	-	-	-
TOTAL		504	387	12	9

En la Tabla 22, se indican las pruebas realizadas y los resultados obtenidos de cada respuesta en los dedos de las manos robóticas, de los cuales se obtuvo un porcentaje de confiabilidad basado en aciertos y fracasos del kit en los usuarios. Y en la Figura 80 se observa los resultados en porcentaje de eficiencia.



Figura 80 Eficiencia de visualización del Kit

Como se observa en la Figura 80, la eficiencia de las manos robóticas es de un 95% en cuanto a la visualización correcta de los resultados, el 3% indica que las manos robóticas no respondieron a las operaciones matemáticas, puesto que aquellas fueron ingresadas por comandos de voz, y el 2% muestra las operaciones que no fueron ingresadas por el usuario, a través del dispositivo móvil.

2.6.2 Pruebas del reconocimiento de voz

El objetivo de esta prueba, es comprobar la eficiencia del motor de reconocimiento de voz seleccionado para el desempeño eficiente de la aplicación Android. De los 12 niños que cursan el séptimo y octavo año de educación básica, solo seis se comunican claramente, los niños restantes tiene trastornos del habla

ocasionados por su condición misma; por ello las pruebas de reconocimiento de voz se efectuaron a seis niños, de los cuales 3 tienen discapacidad intelectual leve a moderada y 3 tienen TDAH.

Las pruebas se las realiza con un dispositivo móvil a través de una aplicación, pronunciando cada una de las operaciones por comandos de voz, con cada uno de los niños. La aplicación móvil ofrece al Kit, la capacidad de realizar 132 operaciones matemáticas básicas entre sumas, restas, multiplicaciones y divisiones; cuyas respuestas sean números enteros entre 0 y 10. Y a continuación se detallan los resultados obtenidos al realizar las pruebas de reconocimiento voz:

Los resultados de las operaciones matemáticas realizadas a los niños con discapacidad intelectual leve a moderada, se puede observar en la Figura 81.

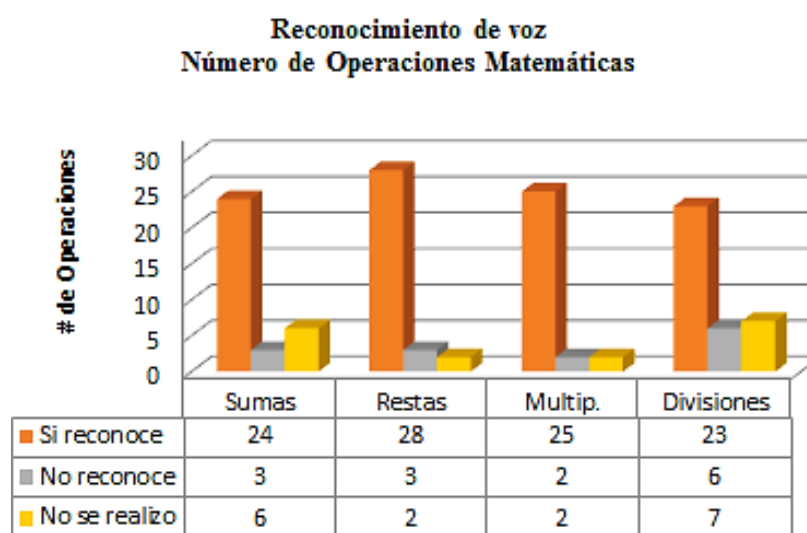


Figura 81 Pruebas a niños con discapacidad intelectual

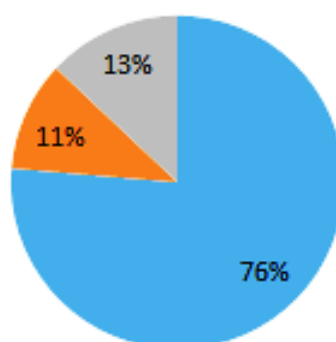
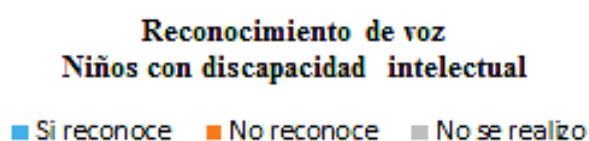


Figura 82 Eficiencia en el reconocimiento de voz

La Figura 82, muestra que existe una eficiencia del 76% en el reconocimiento de voz de los niños con discapacidad intelectual leve a moderada, sin embargo uno de los factores que influye directamente en el resultado son la frecuencia de voz de los niños y la vocalización de palabras de acuerdo al nivel de discapacidad lo que genera que el 11% de voces no sean reconocidas. El 13% representa el porcentaje de operaciones que no realizaron por cansancio o distracción de los niños.

Los resultados de las pruebas realizadas a los 3 niños con TDAH, es decir con hiperactividad son los obtenidos en la Figura 83.

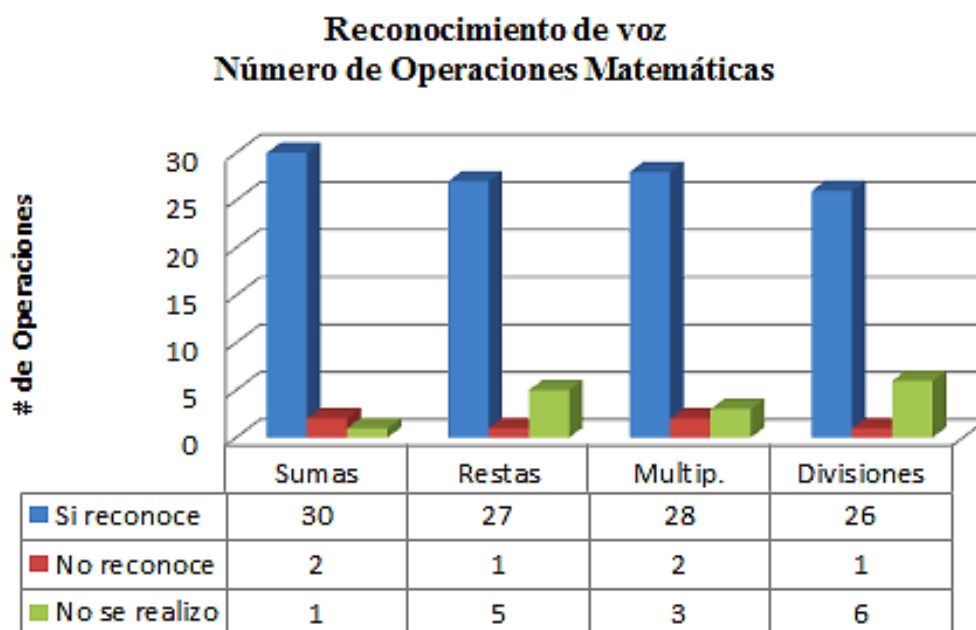


Figura 83 Pruebas a niños con Hiperactividad



Figura 84 Eficiencia en el reconocimiento de voz

La Figura 84, muestra que existe un 84% de eficiencia en el reconocimiento de voz de los niños con hiperactividad, sin embargo como ya se mencionó en la prueba

anterior, uno de los factores que influye directamente en este caso particular es la frecuencia de voz, lo que genera que el 5% de voces no sean reconocidas y 11% de operaciones no realizadas por cansancio o distracción.

2.6.3 Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada en el proyecto es:

¿El diseño y la implementación de dos manos robóticas controladas por teclado y voz a través de un dispositivo con plataforma Android, permitirá visualizar los resultados de operaciones matemáticas básicas realizadas por los niños de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi?

En base a los resultados de la Sección 2.6.1.4, el 95% de la eficiencia comprueba que las manos robóticas funcionan correctamente y permiten la visualización de las respuestas de operaciones matemáticas básicas beneficiando a los niños(as) con hiperactividad y discapacidad intelectual leve de la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi, además que ayuda a la terapia de lenguaje lo que crea una gran aceptación en la institución educativa.

2.7 Manual de usuario

El manual de usuario está disponible en el ANEXO E.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.8 Conclusiones

Para el presente proyecto se diseñó e implemento dos manos robóticas, controladas por teclado y voz mediante Android, para realizar operaciones matemáticas básicas en la Unidad Educativa Especializada Cotopaxi.

El desarrollo de las manos robóticas demandó una investigación profunda de la morfología de la mano humana, con la finalidad de conocer el tamaño promedio y los respectivos grados de libertad de las partes que conforman la mano humana.

Se seleccionó PLA como material de fabricación de las manos robóticas ya que se considera un material resistente, liviano y amigable con el medio ambiente concluida la vida útil del mismo.

Mediante el análisis estático de un dedo se obtuvo un factor de seguridad es de 87, debido a que el PLA tiene una resistencia a la fluencia alta y se considera como única fuerza el peso total del dedo.

La fabricación de las partes que constituyen las manos robóticas, tienen un espesor de mínimo de 2mm y fue realizada en una impresora 3D, por lo que el diseño fue sobredimensionado de acuerdo a la capacidad de impresión.

La realización de las operaciones matemáticas que se pueden realizar, está limitada por el número de dedos que tienen en conjunto las dos manos robóticas.

El consumo de corriente de los diez servomotores es de 2.5 A, por lo que fue necesario una fuente externa que proporcione esa corriente para su correcto desempeño.

Se comprobó que la tarjeta Arduino controla nueve servos máximo, debido a las limitaciones de corriente por pin, por lo que fue necesario utilizar un servo driver para conectar los diez servos.

La tarjeta Arduino conjuntamente con la tarjeta controladora de servos de marca Adafruit facilitó el control los dedos, la calibración de movimientos y comunicación

entre el dispositivo móvil y las manos robóticas para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Se realizó una aplicación Android, con el fin de contribuir a un ambiente amigable de aprendizaje en el área de matemáticas básicas, para niños y niñas con discapacidad leve e hiperactividad.

Se utilizó Google Now como herramienta de reconocimiento de voz debido a que cuenta con mayor inteligencia a la hora de comprender y procesar los comandos de voz del usuario, consiguiendo unos resultados de respuesta mucho más rápidos y correctos.

El ingreso de las operaciones matemáticas básicas a través de la voz, ayudan no solo a despertar el interés por aprender las matemáticas, sino también a la terapia del lenguaje en algunos niños y niñas.

La integración de un sistema robótico en el aula, se considera una herramienta innovadora para el desarrollo cognitivo de los niños y niñas en la educación especial.

Al realizar las pruebas extras a personas con discapacidad auditiva y visual se observó que el kit no solo está diseñado para un determinado grupo de discapacidades, debido a que la aplicación cuenta con funciones como teclado y altavoz lo que lo hace más útil.

2.9 Recomendaciones

Como mejora del proyecto desarrollado se plantea la implementación de un sistema que permita a las manos robóticas interactuar a través del lenguaje de señas, con esto se ampliarían los métodos de aprendizaje para las personas con discapacidad auditiva.

Al término de finalización del proyecto se observa que el dedo menique de mano derecha presenta un retardo en la respuesta del servomotor, por lo que se recomienda utilizar una sola marca de servomotores para los diez dedos.

Se recomienda utilizar materiales reciclables o biodegradables q cumplan con las características técnicas de acuerdo con las dimensiones y funcionamiento de la estructura.

Realizar el prototipado de ser posible, en una impresora 3D con una precisión menor a 0,15 mm puesto que ello permitirá reducir el sobredimensionamiento de las piezas.

Para la realización de operaciones cuyas respuestas sean mayores a diez, se deberá crear señales abreviadas que permitan la comprensión correcta de los resultados.

Utilizar fuentes diferentes para alimentar la tarjeta de control y los servomotores de acuerdo con el consumo de corriente de los dispositivos.

Para el control de servomotores se recomienda utilizar módulos fabricados para controlar hasta 16 salidas PWM dependiendo el Servo Driver seleccionado.

Es recomendable que el docente reciba capacitación para el uso del kit, antes de poner en funcionamiento las manos robóticas, ya que el dispositivo móvil requiere configuraciones previas de idioma y conexión Bluetooth.

En la realización de herramientas pedagógicas es muy importante tomar en cuenta la capacidad cognitiva de los niños en el aprendizaje para el desarrollo eficiente de estas herramientas.

Se recomienda evitar forzar el movimiento de los dedos mientras se encuentra encendido el kit, pues esto puede trabar o averiar los componentes internos.

Para transportar el kit robótico de un lugar a otro se deberá llevar en forma vertical, sujetándolo de la base, y evitar golpes o movimientos bruscos.

Se recomienda seguir desarrollando aplicaciones Android, para mejorar el desempeño y capacidad del kit.

BIBLIOGRAFÍA

Kosow, I. L. (1993). *Máquinas eléctricas y transformadores*. Mexico: Prentice-Hall.

Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta ed.). Prentice Hall.

Norton, R. (2013). *Diseño de maquinaria* (Quinta ed.). McGraw-Hill.

Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona, España: UPC.

LINKOGRAFÍA

- Amphan, C. M. (2014). *Blogspot*. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de Android control_Arduino USB control Smart Home: <http://androidcontrol.blogspot.com/>
- Andrade, D. M., & Zúñiga, D. A. (2011). "Diseño y construcción de una mano robótica para la enseñanza del alfabeto dactilológico universal para personas sordomudas". *Tesis de Pregrado*. Cuenca, Ecuador. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1068>
- Android Developers. (2015). *Fundamentos de App*. Recuperado el 16 de Febrero de 2015, de Creative Commons Attribution 2.5: <http://developer.android.com/intl/es/guide/components/fundamentals.html>
- Arduino. (2015). *Overview of Arduino UNO & Genuino UNO*. Recuperado el 4 de Mayo de 2015, de Arduino: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- Arenas, M. (2013). *Atrévete a crear tus propias aplicaciones para Android*. Recuperado el 18 de Febrero de 2015, de RBA Revistas: http://www.pactual.com/articulo/zona_practica/paso_a_paso/paso_a_paso_software/12544/crea_una_aplicacion_para_los_dispositivos_android.html
- Cabás, R. (2011). "Metodología de diseño de manos robóticas basada en los estados de su sistema accionador". *Tesis Doctoral*. Leganés, España. Recuperado el 11 de Diciembre de 2014, de <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11608>
- DIYMakers. (2014). *CREAR APP PARA ARDUINO CON APP INVENTOR*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de DIYMakers: <http://diymakers.es/crear-app-para-arduino-con-app-inventor/>
- DX. (s. f.). *JY-MCU Arduino Bluetooth Wireless Módulo de puerto serie*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de DX.com: <http://www.dx.com/es/p/jy-mcu-arduino-bluetooth-wireless-serial-port-module-104299#.Vjqk4rcvFIU>

- FEAPS. (2014). *Confederación Española de Organizaciones en favor de las Personas con Discapacidad Intelectual o del Desarrollo*. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de FEAPS.org: <http://www.feaps.org/conocenos/sobre-discapacidad-intelectual-o-del-desarrollo.html>
- Garvia, M. (2013). *Control de Servos con Java y Raspberry PI mediante I2C*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de <https://unpocodejava.wordpress.com/2013/08/19/control-de-servos-con-java-y-raspberry-pi-mediante-i2c/>
- GCF Aprende Libre. (2015). *Sistemas operativos para dispositivos móviles*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de GCF Community Foundation International: http://www.gcfaprendelibre.org/tecnologia/curso/informatica_basica/sistemas_operativos/5.do
- Gorlewicz, J. (2012). *App turns tablet into math aid for visually impaired students*. Recuperado el 1 de Enero de 2015, de Vanderbilt News: <http://news.vanderbilt.edu/2012/03/haptic-tablet/>
- Guevara, M. E., & Galarza, C. R. (2015). Respuesta motora en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Revista Tecnológica de la ESPOL (RTE)*, 28(2), 134-151. Recuperado el 8 de Julio de 2015
- GuiaInfantil. (2009). *Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH)*. Recuperado el 11 de Abril de 2015, de <http://www.guiainfantil.com/1157/trastorno-por-deficit-de-atencion-e-hiperactividad-tdah.html>
- Hayes, J. (2013). *Fritz - the Robot Puppet on Kickstarter*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de ENGINEERING: <http://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/5533/Fritz--the-Robot-Puppet-on-Kickstarter.aspx>
- INALCOA. (2015). *Propiedades de los Plásticos Poliamida PLA*. Recuperado el 6 de Abril de 2015, de INALCOA: <http://www.inalcoa.net/catalogo/plasticos-2/plasticos-poliamida-6-2/>
- Langevin, G. (2012). *Hand robot InMoov*. Recuperado el 8 de Febrero de 2015, de Thingiverse: <http://www.thingiverse.com/thing:17773>

- Laval University. (2013). *Utah/MIT Hand*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2014, de The Laval University Robotics Laboratory: <http://robot.gmc.ulaval.ca/en/research/theme301.html>
- Loaiza, J. (2012). Diseño y simulación de un prototipo de prótesis de mano bioinspirada con cinco grados de libertad. *Tesis de Pregrado*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 20 de Diciembre de 2014, de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/42964/1/80492327.2013.pdf>
- López, D. (2013). Prototipo de mano mecatrónica para aplicaciones en la robótica industrial. *Tesis de Pregrado*. Antioquia. Recuperado el 13 de Enero de 2014, de la Escuela de Ingeniería de Antioquia: <http://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/328/1/MECA0110.pdf>
- Lopez, R. (2012). *Comunicacion Inalambrica*. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de Ing. Disp. Móviles: <http://ingenieria-dispositivos-moviles.blogspot.com/2012/02/tecnologias-inalambricas.html>
- Mena Pujol, B., Nicolau Paluo, R., Salat Foix, L., Tort Almeida, P., & Romero Roca, B. (2006). *El alumno con TDAH*. Recuperado el 5 de Enero de 2015, de Guía Práctica para educadores: <http://www.postadopcion.org/pdfs/GUIA practica TDAH.pdf>
- Mora Robles, L. N. (2011). *Prevalencia de hiperactividad y factores asociados en escolares Cuenca*. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de Repositorio Digital de la Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3980/1/MEDP07.pdf>
- Pérez, M. (2011). Análisis Cinemático e Implementación de una Mano Robótica Servo-Articulada aplicable como Prótesis. *Tesis de Maestría*. D. F, Mexico. Recuperado el 8 de Enero de 2015, de Instituto Politécnico Nacional: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8137/TESIS%20PRMA.pdf?sequence=1>
- Quinayás, C. (2010). Diseño y construcción de una prótesis robótica de mano funcional adaptada a varios agarres. *Tesis de Maestría*, 29-32. Popayán,

- Colombia: Universidad del Cauca. Recuperado el 6 de Noviembre de 2014, de <http://www.unicauca.edu.co/deic/Documentos/Tesis%20Quinay%E1s.pdf>
- Ramos Galarza, C. (2011). Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad. Recuperado el 11 de Abril de 2015, de http://www.neuropsicologocarlosramos.com/TDAH_Documental
- Reyes, M. (2013). Los 5 mejores Sistemas operativos para celulares. Recuperado el 13 de Marzo de 2015, de iPhoneandoRD: <http://iphoneandord.com/los-5-mejores-sistemas-operativos-para-celulares/>
- Robarts, S. (2014). Touch Bionics updates i-limb Ultra Revolution prosthetic hand. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de Gizmag: <http://www.gizmag.com/i-limb-ultra-revolution-grip-enhancements/32100/>
- Rodriguez, E. (2013). *Weebly*. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://ingerick.weebly.com/arduino/bluetooth-hc-06-configuracin-con-arduino>
- Rüdiger, D. (2014). *Design of the TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand*. Recuperado el 8 de Enero de 2015, de ResearchGate: http://www.researchgate.net/publication/2894087_Design_of_the_TUATKarlsruhe_Humanoid_Hand
- SaberEsPráctico. (2014). *¿Cuántos huesos hay en la mano y cuáles son?* Recuperado el 5 de Junio de 2015, de <http://www.saberespractico.com/curiosidades/cuantos-huesos-hay-en-la-mano-y-cuales-son-con-imagen/>
- Salisbury, D. (2012). *App turns tablet into math aid for visually impaired students*. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de Vanderbilt University: <http://news.vanderbilt.edu/2012/03/haptic-tablet/>
- Sánchez, D. (2013). *Así funciona el nuevo Android Studio, Comenzando a usar la aplicación*. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de El Androide Libre: <http://www.elandroidelibre.com/2013/05/asi-funciona-el-nuevo-android-studio-comenzando-a-usar-la-aplicacion.html>

- TICbeat. (2013). *España lidera la utilización de Internet móvil en Europa en 2013*. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de <http://www.ticbeat.com/sim/espana-lidera-la-utilizacion-de-internet-movil-en-europa-en-2013/>
- Touch Bionics. (s. f.). *i-limb mobile apps*. Recuperado el 24 de Febrero de 2015, de Touch Bionics: <http://www.touchbionics.com/products/i-limb-mobile-apps>
- Vico, Á. J. (2011). *Arquitectura de Android*. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de Blog de WordPress: <https://columna80.wordpress.com/2011/02/17/arquitectura-de-android/>
- Xente. (s. f.). *CONEXIONES INALÁMBRICAS Y DISPOSITIVOS MÓVILES*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de Xente: http://www.xente.mundo-r.com/lucerna/material_informatica/tema3_conexiones_inalambricas_dispositivos_moviles.pdf
- Zampini, M. (s. f.). *InMoov, il primo robot interamente opensource - Stampiamoin3d.com*. Obtenido de Stampiamo in 3d: <http://stampiamoin3d.com/inmoov-robot-interamente-opensource/>

GLOSARIO

Kit: Conjunto de piezas de un aparato que se venden con un folleto de instrucciones para montarlo con facilidad.

Interdisciplinario: Que se compone de varias disciplinas científicas o culturales o está relacionado con ellas.

Merma: Disminución o reducción del volumen o la cantidad de una cosa.

TDAH: Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad.

Trastorno: Cambio o alteración que se produce en la esencia o las características permanentes que conforman una cosa o en el desarrollo normal de un proceso.

Congénito: Que nace con la persona, es natural y no aprendido.

Patología: Enfermedad física o mental que padece una persona.

Epidemiología: Parte de la medicina que estudia el desarrollo epidémico y la incidencia de las enfermedades infecciosas en la población.

Aducción: Movimiento por el cual un miembro o un órgano se acercan al plano medio que divide imaginariamente el cuerpo en dos partes simétricas.

Abducción: Movimiento por el cual un miembro o un órgano se alejan del plano medio que divide imaginariamente el cuerpo en dos partes simétricas.

Autismo: Trastorno psicológico que se caracteriza por la intensa concentración de una persona en su propio mundo interior y la progresiva pérdida de contacto con la realidad exterior.

Tecnología háptica: tecnología que aprovecha la sensación de un usuario del tacto aplicando fuerzas, vibraciones o movimientos para mejorar el control remoto de las máquinas, dispositivos u objetos virtuales.

Multiplataforma: Que puede utilizarse en diversos entornos o sistemas operativos.

QFD: Despliegue de la función calidad.

ANEXOS

Este trabajo fue elaborado y revisada con fecha 18 de Agosto del 2015.

Elaborado por:

DIANA MARICELA CURICHO R.

FREDDY BAYARDO MOLINA B.

Revisado por:

Aprobado por:

Ing. Ernesto Santillán
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Vicente Hallo
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

Ing. Marco Singaña
CODIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADÉMICO