



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

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

**TEMA: ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA
MECATRÓNICO QUE EMPLEA VISIÓN ARTIFICIAL
PARA EL DESARROLLO DE UN EQUIPO DE
NEUROREHABILITACIÓN ENFOCADO A PACIENTES
CON DEFICIENCIA MOTRIZ EN LAS MANOS**

AUTORES:

JONATHAN PAUL AIMACAÑA MOLINA

DENNIS PAUL MONTERO JIMENEZ

DIRECTOR: ING. ANDRÉS GORDÓN GARCÉS

LATACUNGA

2016



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO QUE EMPLEA VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL DESARROLLO DE UN EQUIPO DE NEUROREHABILITACIÓN ENFOCADO A PACIENTES CON DEFICIENCIA MOTRIZ EN LAS MANOS**” realizado por los señores **Jonathan Paúl Aimacaña Molina** y **Dennis Paúl Montero Jiménez**, 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 **Jonathan Paúl Aimacaña Molina** y **Dennis Paúl Montero Jiménez** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, agosto del 2016

Atentamente,



Ing. Andrés Gordón
DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Jonathan Paúl Aimacaña Molina**, con cédula de identidad N° **1721550349** y **Dennis Paúl Montero Jiménez**, con cédula de identidad N° **0201937414**, declaramos que este trabajo de titulación **“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO QUE EMPLEA VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL DESARROLLO DE UN EQUIPO DE NEUROREHABILITACIÓN ENFOCADO A PACIENTES CON DEFICIENCIA MOTRIZ EN LAS MANOS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Latacunga, agosto del 2016

Jonathan Paúl Aimacaña Molina
C.C.: 1721550349

Dennis Paúl Montero Jiménez
C.C.: 0201937414



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Jonathan Paúl Aimacaña Molina** y **Dennis Paúl Montero Jiménez**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO QUE EMPLEA VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL DESARROLLO DE UN EQUIPO DE NEUROREHABILITACIÓN ENFOCADO A PACIENTES CON DEFICIENCIA MOTRIZ EN LAS MANOS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2016

Jonathan Paúl Aimacaña Molina
C.C.: 1721550349

Dennis Paúl Montero Jiménez
C.C.: 0201937414

DEDICATORIA

A Dios

Por darme salud, haberme permitido llegar hasta este lugar y poner en mí camino a las personas adecuadas para hacer de mi vida universitaria la mejor experiencia.

A mis padres Marcelo y Cecilia y hermana Marcela

Por brindarme su apoyo y su comprensión desde el primer día en que tomé la decisión de alejarme del hogar para y poder alcanzar mis metas , por siempre darme aliento para no decaer a pesar de la distancia que nos separaba y ser mi motor para dar lo mejor de mi cada día.

Sé que fue muy duro para ustedes no vernos a diario pero siempre estuvieron en mi mente y corazón y al final este logro que conseguí es por ustedes y para ustedes, los amo.

A mi familia

Por siempre preocuparse por mi bienestar y brindarme consejos y apoyo cuando lo necesitaba.

A mis profesores

Por ser pacientes e impartirme sus conocimientos, por mostrarme que es duro el camino pero muy satisfactoria la recompensa final.

Al Grupo Folclórico Likanantay-ESPE

Por acogerme en estos años de vida estudiantil, darme una salida a todo el estrés que genera ser estudiante, por permitirme mejorar mi faceta artística y brindarme la oportunidad de vivir nuevas experiencias a nivel musical.

A mis amigos

Por ser la familia que necesitaba en todo momento, por comprender que estaba siguiendo mi meta e incentivar me a alcanzarla, porque a pesar de

empezar siendo desconocidos llegamos a ser hermanos, apoyándonos y haciendo de las horas de clase momentos de diversión y aprendizaje.

Jonathan Paúl Aimacaña Molina

A mis padres Marcial y Mariela, a mi hermana Vivi, quienes han estado siempre pendiente de mi bienestar, por su cariño, apoyo incondicional en todo momento y sobre todo por ser el mejor ejemplo en mi vida.

A mis abuelos Raúl y Yolanda por ser un pilar fundamental aconsejándome para ser mejor cada día.

A mis tíos Darwin y Danilo quienes han estado presentes cuando más los he necesitado, gracias a todos.

Dennis Paúl Montero Jiménez

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios por brindarnos la capacidad para lograr alcanzar esta meta en nuestras vidas.

Agradecemos también a nuestro tutor de tesis el Ingeniero Andrés Gordón por toda la ayuda prestada, el tiempo y comprensión dedicado a nuestro proyecto, por la importancia y el entusiasmo mostrado hacia el desarrollo del mismo y el apoyo moral para culminar este arduo camino de la manera más rápida posible.

Nuestro Agradecimiento también va dirigido para el Doctor Oscar Chang por inculcarnos el uso del Programa Visual C++ OpenCV y ayudarnos con las pautas base para la elaboración del proyecto, así como estar pendiente del desarrollo del mismo.

Agradecemos a nuestros padres por siempre comprendernos y apoyarnos en este tiempo, tanto para ellos como para nosotros no fue fácil, pero siempre estuvieron dispuestos a hacer lo posible con tal de que culminemos la carrera.

Finalmente Agradecemos a nuestros amigos Guido y Alba por brindarnos su amistad sincera y apoyo incondicional en cada momento de alegría y tristeza vividos como estudiantes formando una verdadera familia.

Paúl y Dennis

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPÍTULO I	
ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Trabajos Relacionados.....	2
1.5. Planteamiento del Problema.....	5
1.6. Fundamentos del Método Perfetti.....	6
1.6.1. Fisioterapia.....	6
1.6.2. Neurología.....	7
1.6.3. Neurorehabilitación.....	8
1.7. Método Perfetti.....	9
1.7.1. Historia.....	9
1.7.2. Generalidades del Método Perfetti.....	10
1.7.3. Tipos de patologías.....	12
1.7.4. Beneficios del Método Perfetti.....	13
1.7.5. Hipótesis Perceptiva.....	14
1.8. Ejercicios Terapéuticos Cognoscitivos.....	14
1.8.1. Clasificación de los ejercicios.....	15
1.8.2. Limitaciones con el Método Perfetti en la actualidad.....	19
1.8.3. Tecnologías aplicadas al Método Perfetti.....	19

1.9. Visión Artificial.....	22
1.9.1. Actividades de la Visión Artificial	22
1.9.2. Procesamiento Digital de Imágenes.....	23
1.9.3. Conceptos Básicos de Imagen Digital.....	24
1.9.4. Tipos de Imagen Digital	25
1.9.5. Modelo de Color	27
1.9.6. Tipos de Formatos de Imágenes	30
1.9.7. Aplicaciones.....	30
1.9.8. Métodos de captación de las imágenes.....	30
1.9.9. Dificultades de procesamiento de imágenes.....	31
1.10. Software libre de visión por computador: OpenCV	32
1.10.1. Funciones.....	34
1.10.2. Aplicaciones.....	34
1.10.3. Tipos de Datos	34
CAPÍTULO II	
DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	35
2.1. Características Preliminares.....	35
2.1.1. Requisitos funcionales	35
2.1.2. Requisitos de diseño.....	35
2.2. Diseño del Sistema Mecánico	36
2.3. Estructura o Base de Apoyo	37
2.3.1. Alternativas de selección de la Base de Apoyo	37
2.3.2. Criterios de selección de la Base de Apoyo	40
2.3.3. Selección de mejor alternativa para la Base de Apoyo	40
2.4. Selección del material de la cubierta del bastidor	41
2.5. Sistema de Transmisión de Movimiento	41
2.5.1. Alternativas de selección del mecanismo de transmisión de movimiento.....	42
2.5.2. Criterios de selección del mecanismo de transmisión de movimiento.....	46
2.5.3. Selección de la alternativa adecuada para el mecanismo de movimiento.....	46
2.6. Guiado de Soporte y Movimiento.....	47
2.6.1. Diseño del sistema de guiado	48
2.7. Rodamientos	57
2.8. Actuadores	58
2.8.1. Alternativas de selección de actuadores.....	58
2.8.2. Criterios de selección para los actuadores	60

2.8.4. Diseño para la selección de los actuadores.....	61
2.9. Selección de soportes del sistema de guiado y de transmisión de movimiento.....	66
2.10. Selección de actuadores para el Sistema de Refrigeración.....	67
2.11. Diseño del Sistema de Control.....	67
2.12. Tarjeta de control.....	69
2.12.1. Alternativas de selección para la tarjeta de control	69
2.12.2. Criterios de selección para la tarjeta de control.....	72
2.12.3. Selección de la alternativa adecuada para la tarjeta de control.....	72
2.13. Drivers de control de motores paso a paso	73
2.13.1. Alternativas de selección de Drivers de control de motores paso a paso.....	73
2.13.2. Criterios de selección para Drivers de control de motores paso a paso.....	74
2.13.3. Selección de la mejor alternativa para Drivers de control de motores paso a paso.....	75
2.14. Cámara del Sistema de Visión Artificial.....	75
2.14.1. Alternativas de Selección del Sistema de Visión Artificial.....	75
2.14.2. Criterios de Selección para el Sistema de Visión Artificial.....	77
2.14.3. Selección de la alternativa adecuada para la Cámara del Sistema de Visión Artificial.....	78
2.15.1. Alternativas de Selección para el Sistema de Iluminación.....	78
2.15.2. Criterios para la selección del Sistema de Iluminación	81
2.15.3. Selección de la alternativa para el Sistema de Iluminación.....	82
2.16. Diseño de los soportes para el Sistema de Iluminación y la cámara Sistema de Visión Artificial.	82
2.16.1. Soporte Horizontal.....	82
2.16.2. Soporte Vertical	85
2.16.3. Pieza de unión de soportes vertical y horizontal.....	86
2.16.4. Pieza de acople a la base de apoyo	87
2.16.5. Plástico ABS	87
2.17. Sistema de Recolección del Puck (Disco).....	88
2.17.1. Alternativas de Selección para el Sistema de Recolección del Puck ..	88
2.17.2. Criterios de Selección para el Sistema de Recolección del Puck.....	90
2.17.3. Selección de la alternativa para Sistema de Recolección del Puck..	90
2.17.4. Diseño del acople para el sistema de recolección del puck	91
2.18. Selección del dispositivo de proyección de trayectorias.....	91
2.19. Fuente de alimentación.....	92
2.20. Integración final de los sistemas que conforman el equipo.....	93

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	95
3.1. Construcción de la base de apoyo.....	95
3.2. Elaboración de la estructura de base metálica.....	100
3.3. Implementación de las piezas impresas	101
3.4. Reconocimiento de las bobinas de los motores	102
3.5. Implementación del eje Y.....	102
3.6. Implementación del eje X.....	104
3.7. Implementación del sistema de refrigeración	106
3.8. Implementación del Sistema de Visión e Iluminación	107
3.9. Calibración de los drivers A4988	110
3.10. Implementación del acople para el sistema recolección del puck.....	111
3.11. Elaboración de PCBs	112
3.11.1.PCB de los drivers A4988	112
3.11.2.PCB del Relé para el electroimán.....	113

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS	114
4.1. Pruebas De Movimiento Y Precisión De Motores	114
4.1.1. Movimiento del motor del eje X.....	115
4.1.2. Movimiento del motor del eje Y	121
4.2. Prueba de Reconocimiento De Color	126
4.2.1. Reconocimiento de color del puck y la mano	127
4.3. Prueba del funcionamiento total del equipo	136
4.3.1. Etapa de Bienvenida	136
4.3.2. Etapa de ejecución de los ejercicios.....	136
4.3.3. Etapa de Despedida.....	149
4.4. Cálculo de la muestra de pacientes.....	150
4.5. Validación de la Hipótesis.....	150
4.6. Análisis Financiero	154

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	156
5.1. Conclusiones.....	156
5.2. Recomendaciones.....	157

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS159**ANEXOS.....167**

Anexo A: Programa de Arduino que controla el robot recolector

Anexo B: Programa principal del equipo en C++ OpenCV

Anexo C: Nema 17 Datasheet

Anexo D: Resolución de micropaso de los drivers a4988

Anexo E: Propiedades del plástico ABS

Anexo F: Diseño de la placa de los drivers A4988

Anexo G: Coeficiente de fricción de distintos materiales

Anexo H: Programa en visual C++ OpenCV para reconocimiento de color

Anexo I: Programa de arduino para pruebas de funcionamiento de motores

Anexo J: Tabla de la Distribución Chi - Cuadrado

Anexo K: Explicación detallada de los programas de visual c++ y arduino

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Neurorehabilitación	8
Figura 2 Método Perfetti – Ejercicios de primer grado	16
Figura 3 Método Perfetti – Ejercicios de segundo grado	17
Figura 4 Método Perfetti – Ejercicios de tercer grado	18
Figura 5 Tomografía por emisión de positrones.....	20
Figura 6 Representación de una sesión de AVD, concretamente la de peinarse, en la que se aprecia el movimiento del paciente y su correspondencia con el movimiento por parte del avatar	20
Figura 7 Reconocimiento de objetos 3D mediante visión artificial	22
Figura 8 Etapas del procesamiento digital de imágenes.....	24
Figura 9 Imagen vectorial tamaño original – imagen vectorial ampliada en 200%.....	26
Figura 10 Imagen de mapa de bits	26
Figura 11 Sistema RGB	27
Figura 12 Imagen RGB y sus canales de color.....	28
Figura 13 Sistema HSV	28
Figura 14 Configuración de los parámetros HSV (HSB)	29
Figura 15 Cambios de iluminación.....	31
Figura 16 Deformación de cara.....	32
Figura 17 Movimiento	32
Figura 18 Logo de OpenCV	33
Figura 19 Mesa plegable de madera y metal.....	37
Figura 20 Mesa Fija de Metal.....	38
Figura 21 Mesa plegable de madera	39
Figura 22 Láminas de acrílico blanco y transparente.....	41
Figura 23 Mecanismo Tuerca – Tornillo.....	43
Figura 24 Sistema de poleas con correa	44
Figura 25 Mecanismo Piñón-Cremallera.....	46
Figura 26 Sistema de guiado por eje	48
Figura 27 Diagrama de cuerpo libre del eje X.....	49
Figura 28 Carga, fuerza cortante y momento flector en el eje X.....	50

Figura 29 Simulación deflexión en la viga eje X	53
Figura 30 Diagrama de cuerpo libre del eje Y.....	54
Figura 31 Diagrama de fuerzas y momento máximo eje Y	55
Figura 32 Simulación deflexión en la viga eje Y	57
Figura 33 Rodamientos lineales de bolas	58
Figura 34 Servomotor DC	59
Figura 35 Motor a pasos	60
Figura 36 Diagrama de cuerpo libre para el cálculo del actuador.....	61
Figura 37 Dimensiones motor NEMA 17.....	65
Figura 38 Motor NEMA 17	65
Figura 39 Soportes del sistema de guiado y transmisión de movimiento ..	66
Figura 40 Ventilador de fuente de poder de computador.....	67
Figura 41 Flujograma del funcionamiento de la máquina	68
Figura 42 Arduino Mega 2560.....	70
Figura 43 Raspberry Pi 2 Modelo B	71
Figura 44 Driver A4988.....	73
Figura 45 Driver DVR8825.....	74
Figura 46 FaceCam 320X.....	76
Figura 47 Cámara Eye PS3	77
Figura 48 Lámparas Fluorescentes	79
Figura 49 Lámpara Led.....	80
Figura 50 Diagrama de cuerpo libre del soporte horizontal del sistema de visión e iluminación	83
Figura 51 Diagrama de fuerzas cortante y momento flector del soporte horizontal del sistema de visión e iluminación	84
Figura 52 Deflexión máxima del soporte horizontal del sistema de visión e iluminación	85
Figura 53 Análisis estático del soporte vertical del sistema de visión e iluminación	86
Figura 54 Análisis estático de la pieza encargada de la unión de soportes vertical y horizontal	86
Figura 55 Análisis estático del acople a la base de apoyo.....	87
Figura 56 Electroimán 12V	89
Figura 57 Ventosas de copa	89

Figura 58 Análisis estático del acople del electroimán.....	91
Figura 59 Monitor LG 19" Wide Screen	92
Figura 60 Fuente de poder ANERA AE-PSUM2065	92
Figura 61 Vista 3D con los componentes implementados (superior)	93
Figura 62 Vista 3D con los componentes implementados (inferior)	94
Figura 63 Plancha de madera y acrílico a cortar.....	95
Figura 64 Corte mediante laser.....	95
Figura 65 Medidas del orificio para un monitor de 19 pulgadas.....	96
Figura 66 Separación entre orificios para la salida del aire	96
Figura 67 Agujeros para los ventiladores.....	97
Figura 68 Montaje del bastidor con las barrederas	97
Figura 69 Refuerzo central posterior mediante tornillos 3x30mm	98
Figura 70 Colocación de apoyos para el monitor.....	98
Figura 71 Colocación de apoyos inferiores para el monitor	99
Figura 72 Colación de fomix	99
Figura 73 Fijación de los límites del robot.....	100
Figura 74 Diseño de la estructura de soporte	100
Figura 75 Construcción de la estructura metálica	101
Figura 76 Colocación de acoples a los motores	101
Figura 77 Reconocimiento de las bobinas de los motores a pasos	102
Figura 78 Sujeción de rodamientos lineales en los soportes para el eje Y	102
Figura 79 Corte de los ejes Y.....	103
Figura 80 Fijación de los motores para el eje Y	103
Figura 81 Implementación de las piezas a moverse en el eje Y	104
Figura 82 Montaje de la base del robot con sus rodamientos.....	104
Figura 83 Implementación de las piezas a moverse en el eje Y	105
Figura 84 Implementación del eje X.....	105
Figura 85 Montaje de ventiladores.....	106
Figura 86 Montaje de ventiladores.....	106
Figura 87 Perforación para el montaje de la cámara ps3	107
Figura 88 Montaje de la cámara	107
Figura 89 Soporte para la lámpara	108
Figura 90 Implementación de la cámara e iluminación	108
Figura 91 Implementación de la cámara e iluminación	109

Figura 92 Montaje del soporte del sistema de visión e iluminación	109
Figura 93 Soporte vertical	110
Figura 94 Calibración de los drivers A4498	111
Figura 95 Implementación al robot del acople para el electroimán	111
Figura 96 PCB de los drivers A4988	112
Figura 97 PCB drivers A4988 con componentes implementados	112
Figura 98 PCB relé del electroimán	113
Figura 99 PCB electroimán con componentes implementados	113
Figura 100 Parámetros importantes en el programa de Arduino	114
Figura 101 Recorrido total del eje X para las pruebas de movimiento	115
Figura 102 Separación de 10 cm entre marcas	115
Figura 103 Ingreso de 100 mm en el monitor serial de Arduino	116
Figura 104 Robot alcanzando la distancia de 10 cm	116
Figura 105 Ingreso de 200 mm en el monitor serial de Arduino	117
Figura 106 Robot alcanzando la distancia de 20 cm	118
Figura 107 Ingreso de 300 mm en el monitor serial de Arduino	119
Figura 108 Robot alcanzando la distancia de 30 cm	119
Figura 109 Ingreso de 400 mm en el monitor serial de Arduino	120
Figura 110 Robot alcanzando la distancia de 40 cm	121
Figura 111 Recorrido total del eje Y para las pruebas de movimiento	122
Figura 112 Ingreso de 100 mm en el monitor serial de Arduino	122
Figura 113 Robot alcanzando la distancia de 10 cm	123
Figura 114 Ingreso de 200 mm en el monitor serial de Arduino	124
Figura 115 Robot alcanzando la distancia de 20 cm	124
Figura 116 Ingreso de 300 mm en el monitor serial de Arduino	125
Figura 117 Robot alcanzando la distancia de 30 cm	125
Figura 118 Ajuste de los parámetros HSV de la imagen	126
Figura 119 Ajuste de los parámetros HSV con reconocimiento del objeto	127
Figura 120 Puntos al azar dentro del área útil de la imagen	128
Figura 121 Parámetros HSV para el color azul	129
Figura 122 Objeto reconocido en el punto 1	129
Figura 123 Objeto reconocido en el punto 2	130
Figura 124 Objeto reconocido en el punto 3	130
Figura 125 Objeto reconocido en el punto 4	131

Figura 126 Objeto reconocido en el punto 5	131
Figura 127 Parámetros HSV para el color turquesa	132
Figura 128 Objeto reconocido (puck) en el punto 1	133
Figura 129 Objeto reconocido (puck) en el punto 2	133
Figura 130 Objeto reconocido (puck) en el punto 3	134
Figura 131 Objeto reconocido (puck) en el punto 4	134
Figura 132 Objeto reconocido (puck) en el punto 5	135
Figura 133 Mensaje de Bienvenida al equipo	136
Figura 134 Trayectoria 1, robot recolector en el inicio	137
Figura 135 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 1 al especialista y al paciente	138
Figura 136 Trayectoria 2, robot recolector en el inicio	138
Figura 137 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 2 al especialista y al paciente	139
Figura 138 Trayectoria 3, robot recolector en el inicio	139
Figura 139 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 3 al especialista y al paciente	140
Figura 140 Trayectoria 4, robot recolector en el inicio	140
Figura 141 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 4 al especialista y al paciente	141
Figura 142 Trayectoria 5, robot recolector en el inicio	141
Figura 143 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 5 al especialista y al paciente	142
Figura 144 Trayectoria 6, robot recolector en el inicio	143
Figura 145 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 6 al especialista y al paciente	144
Figura 146 Nuevamente Trayectoria 6, robot recolector en el inicio	144
Figura 147 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 6 al especialista y al paciente	145
Figura 148 Trayectoria 7, robot recolector en el inicio	145
Figura 149 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 7 al especialista y al paciente	146
Figura 150 Trayectoria 8, robot recolector en el inicio	146

Figura 151 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 8 al especialista y al paciente	147
Figura 152 Trayectoria 9, robot recolector en el inicio	147
Figura 153 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 9 al especialista y al paciente	148
Figura 154 Realización del último ejercicio	149
Figura 155 Mensaje de despedida y agradecimiento del equipo	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de los ejercicios de acuerdo al específico motor.....	15
Tabla 2	Colores según la profundidad	25
Tabla 3	Tipos de Formatos de Imágenes	30
Tabla 4	Parámetros para el diseño del equipo.....	36
Tabla 5	Escala de ponderación de alternativas	37
Tabla 6	Valoración de las alternativas de estructura	40
Tabla 7	Tipos de correas y características	45
Tabla 8	Valoración de las alternativas del sistema de transmisión	47
Tabla 9	Peso que soporta el eje X.....	48
Tabla 10	Peso que soporta el eje Y	53
Tabla 11	Valoración de las alternativas de los actuadores	60
Tabla 12	Especificaciones del arduino mega 2560.....	70
Tabla 13	Criterios de selección tarjeta de control	72
Tabla 14	Criterios de selección Drivers de motores paso a paso	75
Tabla 15	Características FaceCam 320.....	76
Tabla 16	Criterios para selección del sistema de visión artificial	78
Tabla 17	Criterios para selección del sistema de iluminación.....	82
Tabla 18	Criterios para selección del sistema de recolección del puck	90
Tabla 19	Resultados prueba de movimiento a 10 cm	117
Tabla 20	Resultados prueba de movimiento a 20 cm	118
Tabla 21	Resultados prueba de movimiento a 30 cm	120
Tabla 22	Resultados prueba de movimiento a 40 cm.....	121
Tabla 23	Resultados prueba de movimiento a 10 cm	123
Tabla 24	Resultados prueba de movimiento a 20 cm	124
Tabla 25	Resultados prueba de movimiento a 30 cm	126
Tabla 26	Coordenadas de los puntos de reconocimiento de color	127
Tabla 27	Resultados reconocimiento de la mano del paciente	132
Tabla 28	Resultados reconocimiento del puck.....	135
Tabla 29	Resultados de los ejercicios realizados correctamente.....	142
Tabla 30	Resultados de los ejercicios realizados incorrectamente.....	148
Tabla 31	Datos obtenidos de la frecuencia observada	151
Tabla 32	Resultados del cálculo de la frecuencia esperada	152

Tabla 33 Resultados del Chi - Cuadrado	153
Tabla 34 Costos del proyecto	154

RESUMEN

Este proyecto de investigación consiste en el análisis y diseño de un equipo de neurorehabilitación automático que incorpora ejercicios terapéuticos cognoscitivos enfocados en pacientes con deficiencia motriz en las manos, los mismos que serán proyectados en un monitor que se encuentra dentro del bastidor de la mesa en la cual el paciente asentará la mano y seguirá cada uno de los ejercicios propuestos, los cuales se pueden cambiar de acuerdo a la complejidad que busque el especialista, al final de cada ejercicio se encontrará un disco el cual tiene que ser impulsado por el paciente hacia adelante en cualquier dirección, un robot recolector que recogerá el disco desde cualquier lugar en el que este se detenga después de ser impulsado por el paciente y ubicará el disco en la posición pertinente para iniciar un nuevo ejercicio, de esta manera se agrega un plus de entretenimiento a cada ejercicio. El sistema de visión artificial será el que gobierne este recolector de discos y a la vez se encargará de verificar si el ejercicio realizado se cumplió de manera correcta, en cuyo caso enviará un mensaje de aprobación del ejercicio y procederá a proyectarse uno nuevo, caso contrario emitirá un mensaje con el porcentaje con el cual fue ejecutado el ejercicio y volverá a repetirlo hasta que este se haya cumplido correctamente.

PALABRAS CLAVE:

- ***NEUROREHABILITACIÓN***
- ***EJERCICIOS TERAPÉUTICOS COGNOSCITIVOS***
- ***DEFICIENCIA MOTRIZ***
- ***ROBOT RECOLECTOR***
- ***VISIÓN ARTIFICIAL***

ABSTRACT

This research project is the analysis and design of a computer automatic neurorehabilitation that incorporates cognitive therapeutic exercises focused on patients with motor impairment in their hands, the same that will be projected on a monitor that is within the frame of the table in the which the patient settle out and follow each of the exercises, which can be changed according to the complexity locate the specialist, at the end of each year a disc which has to be driven by the patient forward will be in any direction, a collector robot that collect the drive from anywhere where this stops after being driven by the patient and placed the disc in the relevant position to start a new exercise, so a plus entertainment is added each exercise. The artificial vision system is the one that governs this collector disc and also will verify if the exercise performed was fulfilled properly, in which case it will send a message of approval of the exercise and proceed to project a new one, otherwise issue a message with the percentage with which the exercise was executed and repeated again until this is accomplished correctly.

KEYWORDS:

- ***NEUROREHABILITATION***
- ***COGNITIVE THERAPEUTIC EXERCISES***
- ***PHYSICALLY DISABLED***
- ***COLLECTOR ROBOT***
- ***ARTIFICIAL VISION***

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

Todas la personas al ejecutar sus actividades cotidianas no están exentas de sufrir algún accidente en el cual las extremidades del cuerpo son las más afectadas, haciendo referencia en este caso a las extremidades superiores, las mismas que pueden verse afectadas con alguna fractura o en algunos casos distintas enfermedades, las cuales siempre necesitarán cuidados y en especial rehabilitación física para poco a poco ir recobrando la movilidad y la agilidad de la extremidad.

En la actualidad existe un tratamiento de rehabilitación especial el cual consiste en activar la parte cognoscitiva del cerebro consiguiendo con esto la recuperación de la movilidad de las extremidades, este método es llamado método Perfetti o Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo (ETC).

Tomando como referencia este método se plantea el diseño e implementación de un equipo de rehabilitación automático el cual brindará la facilidad de realizar ejercicios cognoscitivos con los cuales se recuperará la movilidad de la mano del paciente de una forma entretenida, autónoma y con una reducción notable en el dolor de los pacientes respecto a los ejercicios que practican.

1.2. Antecedentes

Hoy en día en el Ecuador este método de neurorehabilitación es poco conocido, por ende en el mercado ecuatoriano no se encuentra una máquina de rehabilitación de este tipo, la construcción e implementación de este sistema constituye una manera original e innovadora de rehabilitación que además servirá como pauta para futuras investigaciones dentro del campo de la neurorehabilitación automatizada. Cabe mencionar que la implementación de este sistema facilitará tanto la rehabilitación así como también constituye

una manera de aprendizaje mucho más fácil, puesto que va a involucrar una manera entretenida para la realización de los ejercicios.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Realizar el análisis pertinente para diseñar un sistema mecatrónico que emplea visión artificial para el desarrollo de un equipo de neurorehabilitación mediante ejercicios terapéuticos cognoscitivos, enfocado a pacientes con deficiencia motriz en las manos del Patronato Municipal de Amparo Social del cantón Latacunga.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información acerca de los ejercicios terapéuticos cognoscitivos y los resultados obtenidos al realizarlos.
- Diseñar el sistema de control y el sistema de visión artificial para que cumpla con los requerimientos y las garantías que necesita el equipo.
- Diseñar el sistema mecánico seleccionando dispositivos adecuados para la implementación a partir de sus características técnicas, aplicabilidad y disponibilidad en el mercado para su adquisición.
- Implementar el sistema mecánico y el sistema de control del equipo para que cumpla con las características adecuadas para su uso.
- Realizar pruebas, analizar resultados y retroalimentarlos para obtener un producto de calidad.
- Redactar conclusiones y recomendaciones finales.

1.4. Trabajos Relacionados

- **Alejos Jenny (2011), “Efecto rehabilitador del ejercicio terapéutico cognoscitivo en la mano hemipléjica del paciente adulto del Centro Médico Naval Santiago Távara”.**

El objetivo de este proyecto es Determinar el efecto rehabilitador del Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo en la recuperación de la funcionalidad de la mano hemipléjica del paciente adulto. Se evaluaron las funciones cognitivas con la prueba de LOTCA, la funcionalidad del miembro superior afectado con el DASHe y la función sensitiva de la mano afectada. Posteriormente se aplicó el tratamiento del Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo (ETC) en el Miembro Superior afectado a los 10 pacientes adultos y al finalizar el tratamiento se reevaluó las 3 funciones iniciales.

Se concluyó que el Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo es un método de tratamiento neurocognitivo, que se puede aplicar en la Terapia Ocupacional y en la Rehabilitación Integral.

- **Dennis Tello, Miguel Salcán (2009), “Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos de distinto color”**

El presente trabajo se enmarca en el campo de la visión artificial, haciendo uso de los conocimientos adquiridos durante el tópico “Plataforma para el Desarrollo de Proyectos con dsPICs y Visión Robótica con LabVIEW 8”, se ha desarrollado una “Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos de distinto color.

- **Juan Tamayo (2012), “Reconocimiento de Figuras geométricas a través de una webcam con OpenCV”.**

Se pretende crear un objeto de aprendizaje enfocado a estudiantes de primaria, aplicado a la geometría, con el fin de ayudarles a retener información de las figuras de una manera entretenida y altamente dinámica mediante la visión por computador.

La función de la visión por computador es el reconocimiento de objetos físicos a través de una imagen, interactuando comúnmente con cámaras web. A través de este método, se pretende hacer que el estudiante sitúe una figura geométrica simple hecha en madera frente a la cámara web. La tarea del

objeto de aprendizaje será identificar la figura a través de la cámara y caracterizarla. El objeto de aprendizaje es entonces la combinación de una interfaz de software amigable e intuitivo, su interacción y operaciones con la cámara web, y su interacción con el usuario.

- **Jorge Rodríguez (2009), “Robot móvil con visión estereoscópica para la localización de objetos”.**

El presente trabajo de tesis describe la implementación de un sistema de visión estéreo aplicado al campo de los robots móviles para la localización de objetos, el cual tiene como principal características encontrar la distancia en coordenadas XYZ de un objeto en particular; para que luego esta información sea llevada al robot.

Tanto para la tarea de segmentación como del cálculo de coordenadas se utilizará a la librería OpenCV la cual nos permite el uso de los diferentes algoritmos de procesamiento de imágenes.

- **Martin Natalia (2015), “Método Perfetti para el tratamiento de la hemiplejía desde terapia ocupacional”.**

El objetivo de este artículo es presentar al terapeuta ocupacional una herramienta integradora de los procesos perceptivo-cognitivos y motores para la rehabilitación de la hemiplejía.

- **Bonito Juan, Martínez Juan, Martínez Rosa (2005), “El ejercicio terapéutico cognoscitivo: Concepto Perfetti”.**

Ante la necesidad de realizar un correcto tratamiento fisioterápico con los pacientes afectados con una patología neurológica y concretamente con los pacientes hemipléjicos, se muestra algunas de las herramientas existentes en el Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo que pueden ilustrar a los fisioterapeutas y terapeutas ocupacionales un diferente modo de trabajo.

1.5. Planteamiento del Problema

Todas las personas están expuestas a tener un accidente o contraer una enfermedad la cual tiene la posibilidad de afectar algún miembro superior del cuerpo como es la mano, ya sea una fractura, problemas producidos por la pérdida de movimiento debido a factores neurológicos o un problema como la hemiplejía, siempre necesitarán cuidados y en especial rehabilitación física para poco a poco ir recobrando la movilidad y la agilidad de la extremidad. Muchas veces este tipo de lesiones tienden a ser muy dolorosas cuando son tratadas y necesitan siempre de un especialista que ayude a la persona a hacer los ejercicios físicos recomendados.

En el patronato Municipal de Amparo Social de Latacunga muchos son los pacientes que recurren a este tipo de tratamiento y en ocasiones la afluencia sobrepasa el número de especialistas por lo cual repercute en el tiempo de espera del paciente, en la eficiencia y en la eficacia del tratamiento brindado en el centro médico.

En la actualidad existe un tratamiento de rehabilitación especial el cual consiste en activar la parte cognoscitiva del cerebro consiguiendo con esto la recuperación de la movilidad de las extremidades, este método es llamado método Perfetti o Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo (ETC).

Éste método funciona mediante ejercicios que emplean diferentes tipos de trayectorias como líneas rectas, oblicuas, zigzag, etc., las cuales deberán ser seguidas por el paciente; cabe destacar que el método Perfetti funciona porque mediante el funcionamiento de un sentido como la vista, oído, etc., se puede ayudar a la evolución de algún otro sentido que esté menos desarrollado.

Tomando como referencia este método se plantea la construcción de un equipo de rehabilitación automático el cual brindará la facilidad de realizar ejercicios cognoscitivos con los cuales se recuperará la movilidad de la mano del paciente de una forma entretenida, autónoma y con una reducción notable en el dolor de los pacientes respecto a los ejercicios que practican.

1.6. Fundamentos del Método Perfetti

1.6.1. Fisioterapia

La fisioterapia se conoce como: "La aplicación de tratamientos o terapias a través de medios o agentes físicos que por prescripción facultativa se presentan a los pacientes de medicina y cirugía.", según (Estatuto Laboral de la Seguridad Social, 2012)

La Asociación Española de Fisioterapeutas (2012) sostiene que "Es el conjunto de métodos, actuaciones y técnicas, que mediante la aplicación de medios físicos, curan, previenen y adaptan a personas discapacitadas o afectadas de disfunciones psicósomáticas, somáticas y orgánicas o a las que desean mantener un nivel adecuado de salud."

El estudio de Martínez (2000) afirma que:

La función de la Fisioterapia es la de prevenir, tratar y curar enfermedades, y en el caso de que quede alguna secuela o discapacidad, ayudar al individuo en su adaptación al entorno; pero no sólo se trata con sujetos enfermos, también ayuda a los sanos previniendo enfermedades de diversas maneras.

En el estudio de Martínez (2000) se menciona las ramas de la medicina que trata la Fisioterapia:

- **Traumatología:** esguinces, fracturas, contracturas.
- **Medicina deportiva:** recuperación de deportistas, entrenamiento, acondicionamiento físico.
- **Reumatología:** artrosis, artritis.
- **Cirugía plástica:** liposucciones, intervenciones del tabique nasal.
- **Cirugía general:** preoperatorio y postoperatorio.
- **Neurología:** parálisis cerebral infantil, hemiplejía, enfermedades degenerativas del sistema nervioso.
- **Obstetricia:** preparación al parto, reeducación postparto, incontinencia urinaria.

1.6.2. Neurología

Según la Sociedad Española de Neurología (2010) define a la Neurología como:

La especialidad médica que estudia la estructura, función y desarrollo del sistema nervioso (central, periférico y autónomo) y muscular en estado normal y patológico. La Neurología estudia las enfermedades y lesiones que afectan al sistema nervioso central (cerebro, cerebelo, tronco cerebral y médula espinal) y al sistema nervioso periférico (raíces, plexos, nervios, unión neuromuscular y músculo).

La Neurología se ocupa de forma integral de la asistencia médica al enfermo neurológico, de la docencia en todas las materias que afectan al sistema nervioso y de la investigación, tanto clínica como básica, dentro de su ámbito.

El Servicio de Neurología del Instituto Universitario Quirón de Barcelona (2016) detalla que:

Existen más de 600 enfermedades neurológicas. Los tipos más reconocidos incluyen:

- Cefaleas (dolor de cabeza)
- Epilepsia
- Trastornos del nivel de la conciencia
- Enfermedades vasculares cerebrales
- Trastornos de la conducta y demencias
- Trastornos del movimiento
- Enfermedades infecciosas del sistema nervioso
- Tumores del sistema nervioso
- Enfermedades de los nervios craneales
- Enfermedades de la médula espinal
- Enfermedades del nervio, músculo y unión
- Alzheimer
- Trastornos que afectan la postura y el andar
- Trastornos de aprendizaje

- Enfermedades neuromusculares.

1.6.3. Neurorehabilitación

En la década de los 90, conocida como la década de las neurociencias, se produjeron enormes progresos en el conocimiento científico de esta rama de las ciencias, siendo crucial para las nuevas concepciones en el tratamiento de las enfermedades neurológicas. Surge la neurorehabilitación para dar respuesta a este tipo de patologías.

“La neurorehabilitación es un arma terapéutica para una serie de procesos neurológicos que provocan trastornos del movimiento muy concretos: parálisis, ataxia y trastornos de tipo parkinsoniano”. (Capitán, 2000)

"La neurorehabilitación comprende, además de la rehabilitación motora, la cognitiva e incluso emotiva. La neurorehabilitación implica que hay que profundizar en el análisis del problema específico mediante técnicas adecuadas y precisas". (Departamento de Neurología de la Clínica Universitaria de Navarra (CUN), 2000)



Figura 1 Neurorehabilitación

Fuente: (GENOMA, 2016)

- **Beneficios de la Neurorehabilitación**

El Centro Caren de Neurorehabilitación (2011) en su página web afirma que:

El objetivo de la neurorehabilitación es el de ayudar al paciente a recuperar el máximo nivel posible de funcionalidad e independencia y a mejorar su calidad de vida general tanto en el aspecto físico como en los aspectos psicológico y social.

El programa de neurorehabilitación se diseña para atender a las necesidades de cada paciente en particular, dependiendo de su problema o enfermedad específicos. La participación activa del paciente y su familia son fundamentales para el éxito del programa.

El paciente realiza un programa basado en un modelo de aprendizaje motor normal, que conlleva la eliminación de la actividad muscular anormal, retroalimentación, reeducación, práctica e interrelación entre postura y movimiento, el programa consiste entonces en un proceso de reaprendizaje motor.

1.7. Método Perfetti

1.7.1. Historia

La Asociación Española de Rehabilitación Neurocognitiva Perfetti (2012) detalla que:

El Método Perfetti es un método de rehabilitación que nace en Italia a principios de los años 70 fruto del trabajo del neurólogo Carlo Perfetti y sus colaboradores. En España se conoce comúnmente con el nombre de su creador, pero su definición real es Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo (ETC). Este método ha evolucionado paralelamente a las neurociencias y continúa evolucionando en la actualidad. Por ello, a lo largo de la historia ha ido adquiriendo diferentes formas y nombres que reflejaban la esencia del trabajo de cada etapa de su desarrollo. Así por ejemplo, comenzó

llamándose Facilitación Cortical Superior, después Control Secuencial Progresivo hasta llamarse, por ahora, Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo.

La investigación de Perfetti (1997) expresa que:

El concepto del tratamiento está apoyado en los nuevos hallazgos neurofisiológicos y neuropsicológicos. Se presta especial atención a los impulsos aferentes adecuados para controlar la espasticidad y producir movimiento fisiológico. El objetivo de la terapia es para estimular una reorganización de las regiones con discapacidad del sistema nervioso central o aprendizaje bajo condiciones patológicas. Por lo tanto, los ejercicios terapéuticos específicos se han desarrollado para ayudar al paciente a controlar progresivamente los componentes patológicos de movimiento y la espasticidad.

1.7.2. Generalidades del Método Perfetti

El Centro de Neurorehabilitación Perfetti (2016) en su página web detalla que el método:

En sus orígenes se creó para el tratamiento del paciente hemipléjico, en concreto para la rehabilitación de la función de la mano, hoy en día se ha mostrado útil para todas las patologías neurológicas, tanto centrales como periféricas, del adulto y del niño, incluso en patologías traumatológicas. Así como para la recuperación de cualquier función alterada: manipulación, prensión, marcha, tronco. El elemento diferencial es que no considera únicamente el músculo, sino que tiene en cuenta cómo desde el cerebro se activa la contracción muscular y así el movimiento que permite por ejemplo caminar, comer, etc. En otras palabras, no se tiene una visión analítica del movimiento como una simple contracción muscular, sino una visión más global que considera todos los procesos motores, sensitivos y cognoscitivos útiles para el movimiento y que son los que se encuentran alteradas en las lesiones neurológicas.

La investigación de Bonito, Martínez & Martínez (2006) afirma que:

El método Perfetti es un modo de trabajo que se centra en la aplicación sobre pacientes adultos afectados por una hemiplejía, aun existiendo ramas de dicho concepto que realizan tratamientos con éxito en niños con afectaciones neurológicas o en pacientes que presentan afectaciones del Sistema Nervioso Periférico, como podría ser una parálisis facial, sin olvidar sus posibles aplicaciones en determinadas patologías traumatológicas.

Otro aspecto a resaltar es que todos los ejercicios propuestos e ideados por Perfetti, incluso los más sencillos, implican totalmente al paciente, ya que ha de ser él mismo el que vaya a explorar la superficie del objeto para estimular algún tipo de respuesta. Ésta es una de las grandes diferencias del Concepto Perfetti, lo cual implica que siempre debe haber una organización del cuerpo en el espacio para ir a reconocer un objeto.

Dentro de los objetos a reconocer, el paciente podrá encontrar figuras geométricas, letras, texturas diferentes o líneas pintadas en una cartulina que describan diferentes trayectorias, etc. Es por ello que deberá haber un dedo que recorra dichos contornos o líneas, acompañado éste de la totalidad del cuerpo, que se desplaza sobre el objeto que debe ser reconocido.

Los ejercicios fueron elaborados en primera instancia, y posteriormente Perfetti buscó una explicación neurofisiológica que terminara de justificar el uso de los mismos. Ciertamente es que el profesor Perfetti, para “crear” dichos ejercicios, se basó en unos amplios conocimientos en neurofisiología, pero igualmente buscó corroborar sus propuestas con las tesis de otros autores que confirmaran así sus hipótesis.

Por último, queda un factor muy importante a tener en cuenta en relación a los ejercicios propuestos por Perfetti que muestra Mountcastle. Dicho autor demuestra la importancia de la atención para la activación de áreas corticales diversas; comprobó cómo el mismo movimiento, realizado con atención diferente en cada caso, modificaba y activaba áreas corticales diferentes. Sirva de ejemplo coger una botella con la intención de comprobar si está llena o vacía, o para ver si el líquido de dentro está frío

o caliente; realmente se modifica el área cortical estimulada, aun haciendo el mismo movimiento, ya que la intención y la atención son distintas en un caso que en el otro.

1.7.3. Tipos de patologías

La Asociación Española de Rehabilitación Neurocognitiva Perfetti (2016) en su página web expone que:

El Método Perfetti va dirigido a todas aquellas personas, tanto niños como adultos, que hayan sufrido o sufran una lesión neurológica o traumatológica y que como consecuencia de ella hayan perdido o tengan alteradas determinadas funciones como caminar, manipular objetos, etc.

Las afectaciones neurológicas más frecuentes en adultos y hacia las que se enfoca el Método Perfetti son:

- *Hemiplejia y hemiparesia*. Queda afectada la movilidad de medio cuerpo. Se producen a causa de un Accidente Vascular Cerebral (AVC), tumores cerebrales, etc.
- *Tetraplejía o Paraplejía*, debido a lesión medular.
- *Enfermedades neurodegenerativas*: Parkinson, Esclerosis Múltiple, etc.
- *Lesiones periféricas* (parálisis facial, lesiones del plexo braquial).
- *Dolor neuropático*

Las afectaciones neurológicas más habituales en niños, con las que se ha trabajado:

- *Trastornos del desarrollo* (niños con retardo del crecimiento intrauterino, dificultades de equilibrio, en la manipulación o en la marcha, que andan de puntillas, con torpeza motriz).
- *Alteraciones Neurológicas*: Parálisis Cerebral (PC) y daño cerebral adquirido, lesión medular, parálisis braquial obstétrica, enfermedades neuromusculares, etc.
- *Problemas traumatológicos y ortopédicos*: tortícolis, alteraciones en columna vertebral (cifosis y escoliosis), miembros superiores o

inferiores (displasia de cadera, rodillas en valgo o varo, metatarso adducto, pie zambo, equino o plano).

- *Síndromes pediátricos*: síndromes genéticos.
- *Situaciones especiales*: niños con problemas oncológicos, quemaduras, recién nacidos pretérmino y de riesgo.

1.7.4. Beneficios del Método Perfetti

“La efectividad del método se comprueba a través que la recuperación depende de la activación de los procesos cognoscitivos del paciente y es lo que diferencia este método de los otros modos de trabajo en el campo de la rehabilitación”. (Bonito, Martínez, & Martínez, 2006)

“El Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo da importancia a lo que siente el paciente mientras se mueve para conocer. Por esto, también es significativo el lenguaje que utiliza el paciente ya que brinda da información sobre su experiencia, que puede ser interpretada con una finalidad rehabilitadora”. (MIARI, 2008)

“Es un método para recuperar el movimiento a través del aprendizaje, que ha demostrado ser muy eficaz no sólo en caso de lesión cerebral, sino también en casos de lesiones traumatológicas ya que no existen trastornos neurológicos que dificulten el aprendizaje”. (Labajos, Pineda, Moreno, & Sánchez, 2004)

En la investigación de Ochoa & Orellana (2014) se afirma que:

El Método Perfetti permite activar diferentes áreas del cerebro; contribuyendo a la obtención de los siguiente beneficios

- Ayuda al reconocimiento de posición en el espacio formas, superficie y trayectoria, posición exacta de la mano, contorno de figuras y letras, altura de objetos, textura de objeto, espacio, volumen, cantidad de resistencia cantidad de presión, y optimización trazado de trayectoria.
- Ayuda al control de reacciones anormales al estiramiento.

- Permite que el paciente realice contracción voluntaria de los músculos del miembro afectado.
- Ayuda a reforzar y mejorar los procesos cognitivos al activar áreas específicas en el cerebro.

1.7.5. Hipótesis Perceptiva

En el documento de Rego (2016) explica que:

Cada procedimiento cognoscitivo debe contener, por parte del paciente, la elaboración de una hipótesis perceptiva, para la que debe encontrarse confirmación mediante la activación de las contracciones musculares que conducen al fraccionamiento del cuerpo que realiza el enfermo con la ayuda programada del fisioterapeuta.

Una hipótesis perceptiva está constituida por la previsión de un conjunto de informaciones que alcanzan el sistema nervioso central como consecuencia de la acción. La hipótesis perceptiva representa el estímulo y la guía para las contracciones que deben activarse y que, por su propia finalidad, deben efectuarse de una forma especial. La tarea fundamental del fisioterapeuta que proyecta el ejercicio consiste en individualizar con exactitud una hipótesis perceptiva que obligue al paciente a producir contracciones musculares, organizadas de forma que determinen la adquisición de la estrategia que constituye el contenido del ejercicio.

1.8. Ejercicios Terapéuticos Cognoscitivos

En el documento de Rego (2016) explica que:

La importancia del ejercicio terapéutico cognoscitivo se relaciona con la elaboración y verificación de una hipótesis perceptiva orientada a la solución de un problema cognoscitivo; por consiguiente la subdivisión más razonable de los ejercicios se basa en las características de estos dos elementos. Es el planteamiento de la hipótesis en función del problema y el intento de someter la hipótesis a un control, lo que provoca la activación de los procesos por los que se logran alcanzar los cambios esperados.

Se debe tomar en cuenta un conjunto de características, a partir de las cuales se seleccionará el ejercicio adecuado con el fin de lograr los cambios esperados, las cuales se listan a continuación.

- El segmento corporal
- El específico motor
- Modalidades sensoriales
- Operaciones cognoscitivas

Para el caso de estudio se tomará en cuenta el específico motor el cual permitirá clasificar los ejercicios usados en el equipo mecatrónico en tres niveles según la complejidad del ejercicio y su déficit motor como se muestra en la tabla.

Tabla 1
Clasificación de los ejercicios de acuerdo al específico motor

Tipo de ejercicio	Elemento por controlar
Primer grado	Reacción anormal al estiramiento
Segundo grado	Irradiación anormal
Tercer grado	Esquemas elementales de movimiento

Fuente: (Rego, 2016)

1.8.1. Clasificación de los ejercicios

La clasificación de los ejercicios terapéuticos cognoscitivos es la siguiente:

- **Ejercicios de primer grado**

REGO (2016) detalla los ejercicios del método Perfetti de primer grado de la siguiente manera:

Los ejercicios de primer grado se utilizan siempre que se considere necesario que el paciente aprenda a controlar la reacción al estiramiento. Cuando el paciente no es capaz de controlar aún la reacción al estiramiento es imposible que pueda graduar intensidad, temporalidad y espacialidad. El aprendizaje de esta capacidad debe ser progresivo, desarrollado en el marco de secuencias de comportamiento cada vez más complejas.

En los ejercicios de primer grado se pide al paciente que reconozca, con los ojos cerrados, las características de determinadas figuras o la colocación de los segmentos del propio cuerpo efectuada por el fisioterapeuta.

No se pide contracción voluntaria alguna, de forma que, cuando el paciente pretende contraer voluntariamente la musculatura de los segmentos corporales implicados en el ejercicio, se le impide continuar. El paciente debe prestar atención únicamente a la elaboración y comprobación de la hipótesis perceptiva. Esto le será posible en la medida en que sea capaz de someter a su control el componente específicamente motor constituido, en estos ejercicios, por la reacción anormal al estiramiento.

Las características de los ejercicios de primer grado son:

- Ausencia del movimiento voluntario
- Reconocimiento con los ojos cerrados
- Elaboración de hipótesis perceptivas del tipo sensitivo.



Figura 2 Método Perfetti – Ejercicios de primer grado

Fuente: (Rego, 2016)

- **Ejercicios de segundo grado**

REGO (2016) detalla los ejercicios del método Perfetti de segundo grado de la siguiente manera:

Con los ejercicios de segundo grado comienza también el trabajo terapéutico sobre el movimiento voluntario ejecutado, puesto que el control

de la irradiación permite la ejecución de contracciones activas y, en consecuencia, el reclutamiento de cierto número de unidades motoras, no sólo del lado sano, como pueden requerir las fases iniciales del aprendizaje, sino también del lado parético.

La intensidad de la contracción voluntaria del paciente y número máximo de unidades motoras que pueden activarse simultáneamente, dependen de su capacidad para controlar la irradiación.

Durante la realización de los ejercicios de segundo grado, el fisioterapeuta puede recurrir a dos estrategias distintas.

- En la primera, se limita prácticamente a continuar el trabajo realizado con los ejercicios de primer grado y después de algunas fases de ejecución permitir una mayor libertad a algunas articulaciones.
- La segunda forma de ejecutar los ejercicios de segundo grado consiste en pedir al paciente que realice, con ayuda del fisioterapeuta, una parte de la trayectoria prevista. En este caso, se sugiere al enfermo el elemento al que debe prestar atención para controlar la ausencia de irradiación.



Figura 3 Método Perfetti – Ejercicios de segundo grado

Fuente: (Rego, 2016)

- **Ejercicios de tercer grado**

REGO (2016) detalla los ejercicios del método Perfetti de tercer grado de la siguiente manera:

Los ejercicios de tercer grado comprenden todos aquellos ejercicios mediante los cuales el paciente aprende a adaptar su movimiento a la hipótesis perceptiva propuesta, sin prestar atención a los efectos de los componentes anormales, cuyo control ha conseguido automatizar gracias a los ejercicios del grado precedente.

El objetivo de estos ejercicios, además de permitir al paciente el reclutamiento de un número mayor de unidades motoras, consiste en lograr que pueda efectuar los reclutamientos en distintas combinaciones temporales y espaciales, a fin de que recupere las finas regulaciones del movimiento que permitan su adaptación.

En este grupo de ejercicios, además de recurrir a una facilitación adecuada, conviene efectuar una programación exacta de la dificultad del control que se pretende, temiendo siempre la reaparición de irradiaciones y de esquemas sinérgicos. Los criterios que han de tenerse en cuenta para establecer una programación correcta de los ejercicios dependen de la configuración de las trayectorias cuya ejecución se solicita al paciente y de la intensidad de las contracciones que deben activarse en los segmentos que deben ejecutarlas.

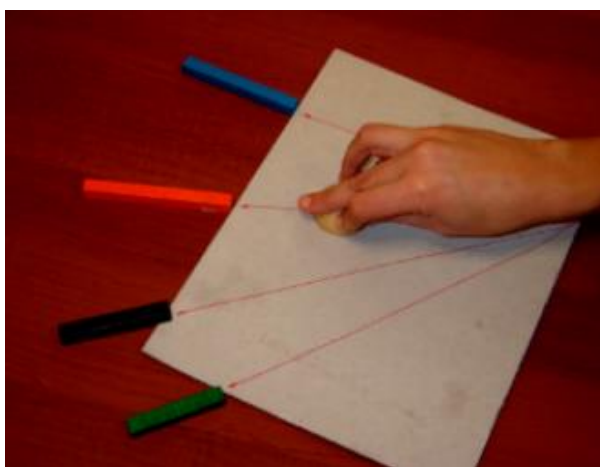


Figura 4 Método Perfetti – Ejercicios de tercer grado

Fuente: (Rego, 2016)

1.8.2. Limitaciones con el Método Perfetti en la actualidad

En la investigación de los Servicios de NeuroRehabilitación. Hospitales NISA (2016) se establece que:

Las limitaciones a la hora de trabajar con este método se las encuentra en pacientes con dificultades importantes de comprensión y en aquellos en los que la anestesia es total. Los problemas de hipoestesia, tan habituales en los pacientes con daño cerebral, no constituyen una limitación en este caso.

Uno de los inconvenientes con el Método Perfetti radica en que el tratamiento puede llegar a ser cansado debido a que los ejercicios son repetitivos, por lo que existe la posibilidad de que los pacientes no presten toda la atención correspondiente, esto es contraproducente puesto que el éxito de este método radica principalmente en la sincronización del sistema a nivel cerebral con las diferentes partes del cuerpo para producir movimiento.

1.8.3. Tecnologías aplicadas al Método Perfetti

- **PET (Tomografía por Emisión de Positrones) o la estimulación magnética**

En el documento elaborado por Capitán (2000) se expone que PET:

Permiten comprobar que tras una lesión las áreas no lesionadas adyacentes empiezan a cambiar de forma prácticamente inmediata, activándose en exceso e intentando modificarse y compensar la zona trastornada. Este proceso de replanteamiento del sistema nervioso tan activo sirve de base para una estrategia rehabilitadora. El plazo de tiempo para intervenir está definido, puesto que el sistema nervioso se acaba adaptando. En una patología aguda es de meses; en una crónica todavía no se conoce porque es muy lento. Hay que buscar todos los métodos que aumenten ese proceso. Por eso, la repetición es el segundo aspecto clave de la neurorehabilitación.



Figura 5 Tomografía por emisión de positrones

Fuente: (Neurología Pediátrica, 2016)

- **Experiencia clínica de la aplicación del sistema de realidad TOyRA en la neuro-rehabilitación de pacientes con lesión medular.**

“El dispositivo de tratamiento de neurorehabilitación denominado TOyRA basado en tecnología de RV (Realidad Virtual). El empleo de este sistema en conjunto con la TO tradicional sugiere posibles mejoras funcionales frente al empleo en solitario de dicha TO tradicional en aspectos como la destreza, la coordinación y la pinza fina”. (Gil-Agudo, y otros, 2012)



Figura 6 Representación de una sesión de AVD, concretamente la de peinarse, en la que se aprecia el movimiento del paciente y su correspondencia con el movimiento por parte del avatar

Fuente: (Gil-Agudo, y otros, 2012)

- **Neuro-rehabilitation after stroke (Neuro-rehabilitación después del accidente cerebrovascular).**

En el documento elaborado por Murie-Fernández, Irimia, Martínez-Vila, & Meyer (2010) se expresa que:

La neurorehabilitación es una subespecialidad que se forma con el fin de participar en los equipos multidisciplinares que dirigen el proceso de neurorehabilitación. El inicio precoz del tratamiento y su intensidad y duración adecuadas conllevan mayor recuperación funcional y menor mortalidad, tasa de institucionalización y estancia hospitalaria. Es imprescindible realizar un esfuerzo de planificación para que los pacientes puedan beneficiarse de un tratamiento neurorehabilitador específico iniciado precozmente, con la intensidad necesaria y de forma continuada durante el ingreso y posteriormente de forma ambulatoria.

- **Robot Biocooperativo con Modulación Háptica para Tareas de Neurorehabilitación de los Miembros Superiores**

En el artículo publicado en la Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI por Rodríguez-Guerrero, C., Fraile, J., Pérez-Turiel, J., & Farina, P. R. (2011) se da a conocer:

Novedoso método de rehabilitación para pacientes con discapacidad en los miembros superiores, que incluye las señales fisiológicas del paciente en el lazo de realimentación del control del robot de rehabilitación. Esto permite que el robot se “adapte” a las necesidades de cada paciente, regulando dinámicamente la cantidad de asistencia/resistencia de cada terapia, en función de los valores de las señales fisiológicas del paciente, que se miden y procesan “on-line”, mientras el paciente ejecuta las actividades de rehabilitación asistido por el robot. De esta forma, se conjuga la intensidad de la terapia con el estado de salud del paciente, pudiendo detectar y corregir (variando la intensidad de la actividad realizada), situaciones de estrés y ansiedad en el paciente, que podrían comprometer el resultado del programa de rehabilitación planificado.

1.9. Visión Artificial

“La definición de Marr es la que mejor describe el concepto de visión artificial. Esta definición tiene en cuenta tres aspectos importantes”. (Marr, 1982)

- La visión es un proceso computacional.
- La descripción a obtener depende del observador.
- Reducción de información: es necesario eliminar la información que no sea útil.

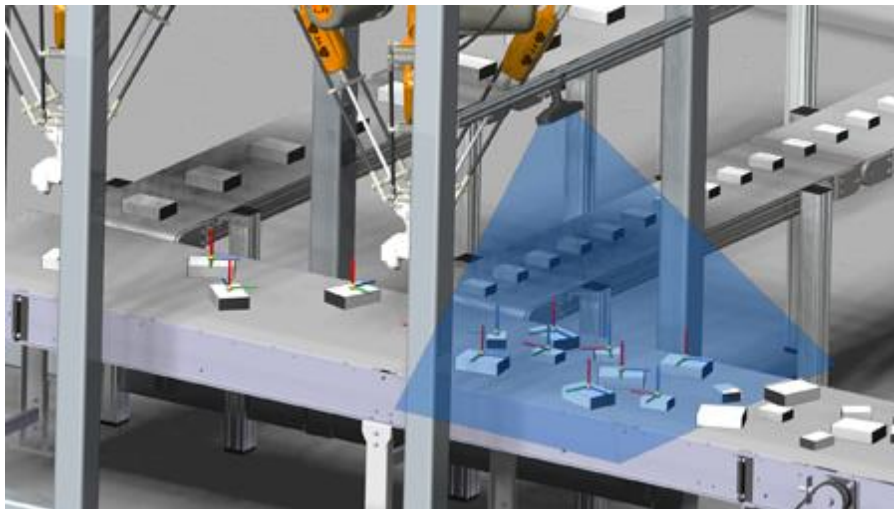


Figura 7 Reconocimiento de objetos 3D mediante visión artificial

Fuente: (Interempresas, 2016)

“Se puede definir la Visión Artificial como un campo de la Inteligencia Artificial que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales”. (C.I.P. ETI Tudela, 2013)

1.9.1. Actividades de la Visión Artificial

- **“Procesamiento de imágenes digitales:** tiene como objetivo la descripción y reconocimiento del contenido de una imagen digital.

- **Visión computacional:** pretende dotar a los ordenadores de la capacidad de poder simular la visión humana". (Fernández, 2012)

1.9.2. Procesamiento Digital de Imágenes

De la investigación de Domingo (2004) se obtiene que:

El procesamiento digital de imágenes es la transformación de una imagen en otra, es decir a partir de una imagen extraída del mundo real se obtiene otra imagen modificada facilitando la extracción de información para su posterior análisis.

El análisis de imágenes es un proceso mediante el cual a partir de una imagen se obtiene una medición, interpretación o decisión. Este análisis consiste en cinco etapas:

- **Adquisición de la imagen:** se extrae la imagen adecuada del objeto a estudiar, la misma puede ser una fotografía, radiografía, termografía, etc.
- **Preprocesamiento:** con el fin de mejorar la calidad de la imagen adquirida se usan filtros digitales que eliminan ruido de la misma o bien aumentan su contraste.
- **Segmentación:** consiste en identificar objetos de interés de la imagen pre-procesada para su posterior estudio o análisis.
- **Medición (extracción de características):** se realiza una extracción de características de interés del objeto de estudio para poder cuantificarlas.
- **Interpretación (clasificación):** de acuerdo a los valores obtenidos dentro de la medición, se realiza una interpretación del objeto.

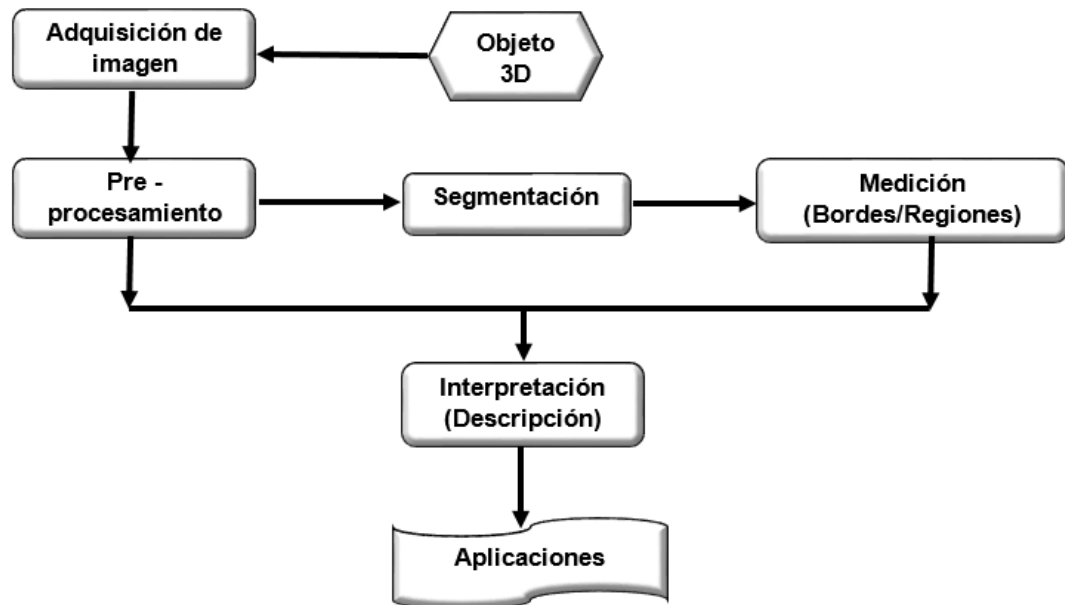


Figura 8 Etapas del procesamiento digital de imágenes

1.9.3. Conceptos Básicos de Imagen Digital

Antes de dar una definición de imagen digital primero se detallará algunos conceptos básicos muy importantes:

- *Pixel*: “Es la unidad mínima de visualización de una imagen digital. Si se aplica el zoom sobre ella se observa que está formada por una parrilla de puntos o píxeles. Las cámaras digitales y los escáneres capturan las imágenes en forma de cuadrícula de píxeles”. (Conceptos Básicos de Imagen Digital, 2016)
- *Resolución de imagen*: “Es el grado de detalle o calidad de una imagen digital ya sea escaneada, fotografiada o impresa. Este valor se expresa en ppp (píxeles por pulgada) o en inglés dpi (dots per inch). Cuantos más píxeles contenga una imagen por pulgada lineal, mayor calidad tendrá”. (Conceptos Básicos de Imagen Digital, 2016)
- *Profundidad de color*: “La profundidad de color se refiere al número de bits necesarios para codificar y guardar la información de color de cada píxel en una imagen. Un bit es una posición de memoria que puede tener el

valor 0 o 1. Cuanto mayor sea la profundidad de color en bits, la imagen dispondrá de una paleta de colores más amplia". (Conceptos Básicos de Imagen Digital, 2016)

Tabla 2
Colores según la profundidad

Profundidad	Colores
1 bit	2
4 bit	16
8 bit	256
16 bit	65536
24 bit	16777216

1.9.4. Tipos de Imagen Digital

En la investigación de Ordoñez (2005) detalla que:

Por la forma de manejar los datos en un archivo de imagen, se puede hablar de dos modos principales para manipular la información que integra una imagen digital. Estos modos son las imágenes de mapa de bits y las imágenes vectoriales. Dado que cada uno se adapta mejor a un tipo de imagen, antes de conocer los diferentes formatos, debe conocerse el funcionamiento tanto de imágenes vectoriales como de imágenes de mapa de bits.

- **Imágenes Vectoriales**

En el documento elaborado por Digital Foto Red (2016) se dice que:

Las imágenes vectoriales son gráficos formados a base de curvas y líneas a través de elementos geométricos definidos como vectores. La gran ventaja de las imágenes vectoriales es que no sufren pérdida de resolución al producirse una ampliación de los mismos. Se utiliza mucho para trabajos de rotulación, rótulos, iconos, dibujos, logotipos de empresa etc. Esta clase de imagen tiene poco peso como archivo informático, medido en Kilobytes.



Figura 9 Imagen vectorial tamaño original – imagen vectorial ampliada en un 200%

Fuente: (Digital Foto Red, 2016)

“Tal como se puede observar en la figura 9 la imagen ampliada en un 200% respecto al de su tamaño original, no ha sufrido ninguna pérdida, ni en calidad ni en resolución”. (Digital Foto Red, 2016)

- **Imágenes de Mapa de Bits**

De acuerdo con la página web de Tecnologías de la Información Imagen Digital (2016) dice que:

Las imágenes de mapa de bits están construidas mediante una gran cantidad de cuadraditos, llamados pixel. Cada uno de estos cuadraditos está relleno de un color uniforme, pero la sensación obtenida es el resultado de integrar visualmente, en la retina, las variaciones de color y luminosidad entre píxeles vecinos. Obviamente, la calidad de la imagen dependerá de la cantidad de píxeles utilizados para representarla. Las imágenes bitmap no permiten el cambio de escala.



Figura 10 Imagen de mapa de bits

Fuente: Tecnologías de la Información Imagen Digital (2016)

En la figura 10 se observa que al hacer zoom en la imagen original de las flores se pierde la calidad y se puede apreciar los píxeles logrando obtener una representación totalmente irreal. Este efecto se denomina pixelado y es más evidente en las líneas curvas y en las zonas en las que hay cambios bruscos de luminosidad. Entre los programas que se utilizan para tratar este tipo de imágenes se encuentra el famoso Photoshop.

1.9.5. Modelo de Color

“El ojo humano percibe los colores según la longitud de onda de la luz que le llega. La luz blanca contiene todo el espectro de color, mientras que la ausencia de luz es percibida por nuestro ojo como el color negro”. (Tecnologías de la Información Imagen Digital, 2016)

En la investigación de Moreno (2004) se define lo siguiente:

- **RGB (Red – Green - Blue)**

En el modelo RGB la gama completa de colores se obtiene a partir de la mezcla de tres colores primarios: rojo, verde y azul.

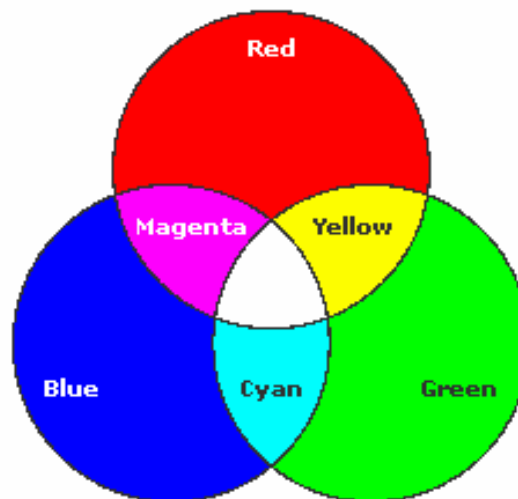


Figura 11 Sistema RGB

Fuente: (Moreno, 2004)

Cualquier color se obtiene mezclando dos o más luces: al mezclarse luz verde y luz azul, por ejemplo, se obtiene el color cian, al mezclarse rojo y azul se obtiene el magenta, y así sucesivamente. La mezcla de

proporciones variables de colores primarios produce la gama completa de color. La mezcla de los tres colores básicos produce el color blanco, mientras que la ausencia de los tres colores produce el color negro.

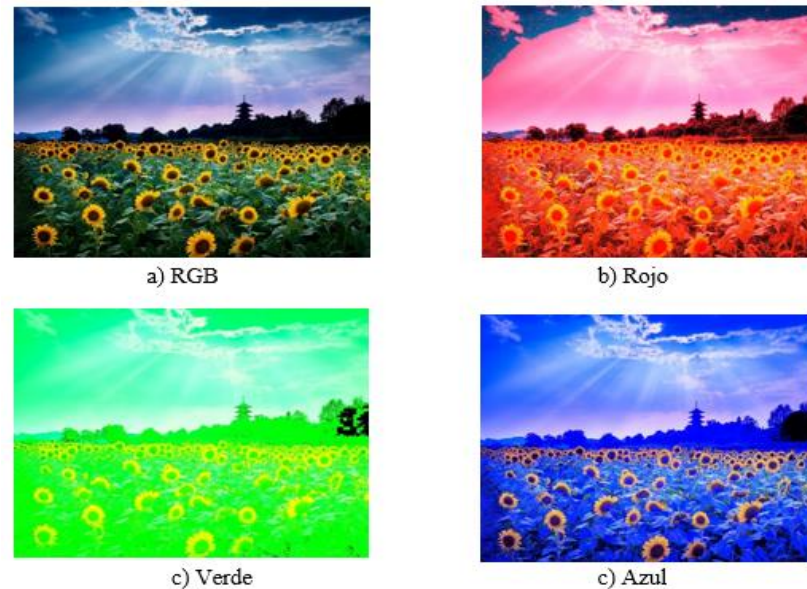


Figura 12 Imagen RGB y sus canales de color

- **HSV (Hue, Saturation, Value)**

El modelo HSV, también conocido como HSB (Hue, Saturation, Brightness) describe tres características fundamentales del color: tono, saturación y brillo.

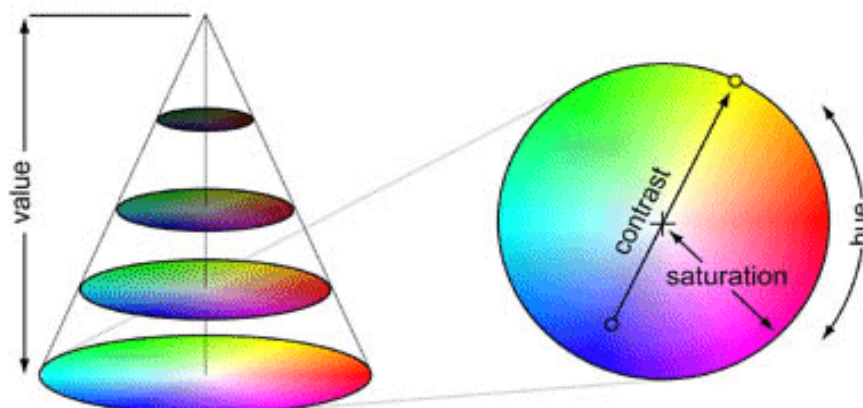


Figura 13 Sistema HSV

Fuente: (Moreno, 2004)

En la investigación de Jimenez (2016) se define lo siguiente:

- *Tono*

Es el color reflejado o transmitido a través de un objeto. Se mide como una posición en la rueda de colores estándar y se expresa en grados, entre 0° y 360°. Normalmente, el tono se identifica por el nombre del color, como rojo, naranja o verde.

- *Saturación*

La saturación representa la cantidad de gris que existe en proporción al tono y se mide como porcentaje comprendido entre 0% (gris) y 100% (saturación completa). En la rueda de colores estándar, la saturación aumenta a medida que se aproxima al borde de la misma y disminuye a medida que se acerca al centro.

- *Brillo (Value)*

Es la luminosidad u oscuridad relativa del color y se suele medir como un porcentaje comprendido entre 0% (negro) y 100% (blanco).

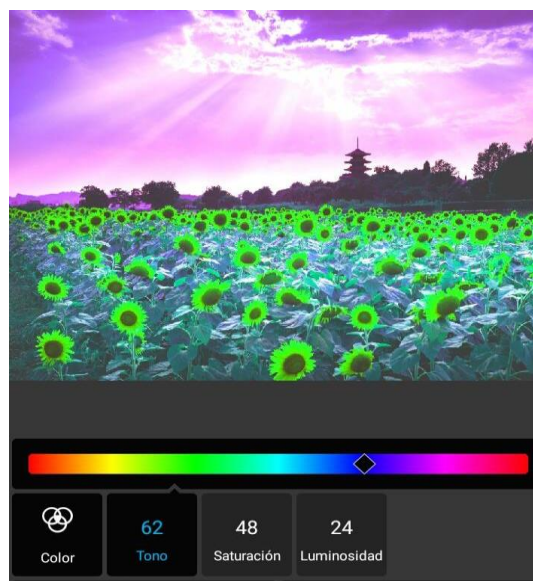


Figura 14 Configuración de los parámetros HSV (HSB)

1.9.6. Tipos de Formatos de Imágenes

Existen varios formatos distintos y no todos son ideales para todos los tipos de imagen, en la tabla 3 se detallará los principales formatos utilizados en el tratamiento de imágenes.

Tabla 3
Tipos de Formatos de Imágenes

Extensión	Nombre	Propiedades
GIF	Formato de intercambio de gráficos	Limitado solamente a 256 colores (8 bits); compresión sin pérdidas
JPEG	Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía	De mayor uso actual; compresión con pérdida
BMP	Imagen de mapa de bits	Formato de imagen básico; compresión sin pérdida limitada
PNG	Gráficos de red portátiles	Nuevo formato de compresión sin pérdida; diseñado para reemplazar a GIF
TIF/TIFF	Formato de archivo de imágenes con etiquetas	Altamente flexible, formato detallado y adaptable

Fuente: (Constante & Gordón, 2015)

1.9.7. Aplicaciones

Las principales aplicaciones de la visión artificial en la industria actual son:

- “Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones espaciales entre varios objetos (guiado de robots) Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales”. (C.I.P. ETI Tudela, 2013)

1.9.8. Métodos de captación de las imágenes

En el documento emitido por C.I.P. ETI Tudela. (2013) se define:

- *Digital*. La función obtenida tras el resultado de la medida o muestreos realizados a intervalos de tiempo espaciados regularmente, siendo el valor de dicha función un número positivo y entero. Los valores que esta

función toma en cada punto dependen del brillo que presenta en esos puntos la imagen original.

- *Píxel*. Una imagen digital se considera como una cuadrícula. Cada elemento de esa cuadrícula se llama Píxel (Picture element). La resolución estándar de una imagen digital se puede considerar de 512x484 Pixel.
- *Nivel de grises*. Cuando una imagen es digitalizada, la intensidad del brillo en la escena original correspondiente a cada punto es cuantificada, dando lugar a un número denominado “nivel de gris”.
- *Imagen binaria*. Es aquella que sólo tiene dos niveles de gris: negro y blanco. Cada píxel se convierte en negro o blanco en función del llamado nivel binario o UMBRAL.
- *Escena*. Es un área de memoria donde se guardan todos los parámetros referentes a la inspección de un objeto en particular: Cámara utilizada, imágenes patrón memorizadas, tolerancias, datos a visualizar, entradas y salidas de control, etc.
- *Window (ventana de medida)*. Es el área específica de la imagen recogida que se quiere inspeccionar.

1.9.9. Dificultades de procesamiento de imágenes

“Dotar a los ordenadores de la capacidad de ver no es una tarea fácil debido a:

- Cambios de iluminación

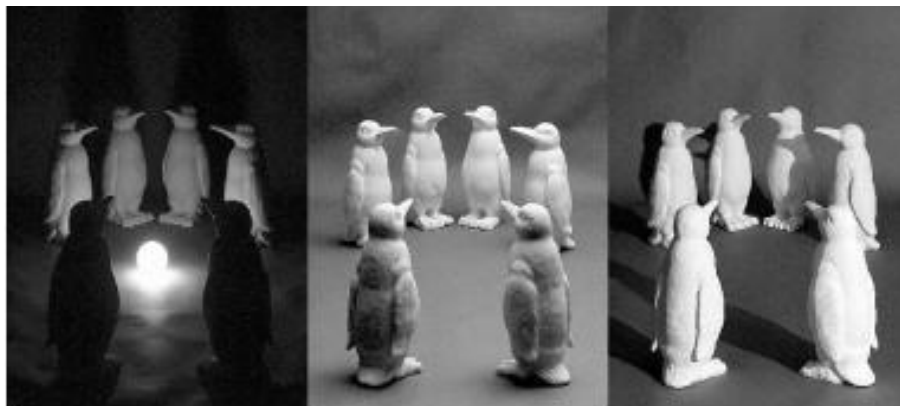


Figura 15 Cambios de iluminación

Fuente: (Fernández, 2012)

- Cambios de escala
- Deformación



Figura 16 Deformación de cara

Fuente: (ANITAX, 2008)

- Oclusión
- Movimiento

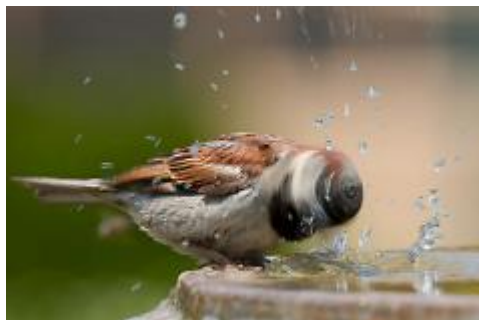


Figura 17 Movimiento

Fuente: (Fernández, 2012)

- Pérdida de información” (Fernández, 2012)

1.10. Software libre de visión por computador: OpenCV

García (2013) menciona que:

OpenCV (Open Source Computer Vision) es una librería software open-source de visión artificial y machine learning. OpenCV provee una infraestructura para aplicaciones de visión artificial. OpenCV es una librería muy usada a nivel comercial, desde Google, Yahoo, Microsoft, Intel, IBM, Sony, Honda, Toyota, Applied Minds, VideoSurf, Zeiter. La librería tiene

más de 2500 algoritmos, que incluye algoritmos de machine learning y de visión artificial para usar.

Estos algoritmos permiten identificar objetos, caras, clasificar acciones humanas en vídeo, hacer tracking de movimientos de objetos, extraer modelos 3D, encontrar imágenes similares, eliminar ojos rojos, seguir el movimiento de los ojos, reconocer escenarios, etc. Se usa en aplicaciones como la detección de intrusos en vídeos, monitorización de equipamientos, ayuda a navegación de robots, inspeccionar etiquetas en productos. OpenCV está escrito en C++, tiene interfaces en C++, C, Python, Java y MATLAB interfaces y funciona en Windows, Linux, Android y Mac OS.

EcuRed (2016) define a OpenCV de la siguiente manera:

OpenCV, es una biblioteca informática de código abierto desarrollado originalmente por la visión de Intel. Es gratuito para uso comercial y la investigación bajo una licencia BSD. La biblioteca es multiplataforma y funciona en Mac OSX, Windows y Linux. Se centra principalmente hacia procesamiento imagen tiempo real como tal si encuentra Intel Integrated Performance Primitives sobre el sistema, utilizará estas rutinas optimizado comerciales a acelerarse.



Figura 18 Logo de OpenCV

Fuente: (Gracia, 2013)

1.10.1. Funciones

- Captura en tiempo real.
- Importación de archivos de vídeo.
- El tratamiento básico de imágenes (brillo, contraste, umbral).
- Detección de objetos (cara, cuerpo).
- Blob detección. (EcuRed, 2016)

1.10.2. Aplicaciones

- “OpenCV ha sido usado en el sistema de visión del vehículo no tripulado Stanley de la Universidad de Stanford, el ganador en el año 2005 del Gran desafío DARPA
- OpenCV es la clave en el programa Swistrack, una herramienta de seguimiento distribuida”. (EcuRed, 2016)
- “Operaciones básicas
- Procesado de imágenes y análisis
- Análisis estructural
- Análisis de movimiento
- Reconocimiento del modelo
- Reconstrucción 3d y calibración de la cámara
- Interfaz gráfica y adquisición” (OpenCV, 2016)

1.10.3. Tipos de Datos

En la página oficial de OpenCV (2016) se expresa que:

Hay varios tipos de datos fundamentales en OpenCV, y varios tipos de datos auxiliares para hacer OpenCV más simple y uniforme. Los tipos de los datos fundamentales incluyen tipos de vectores como: `IplImage` (imagen de IPL), `CvMat` (matriz), growable collections: `CvSeq` (deque), `CvSet`, `CvGraph` y tipos mixtos: `CvHistogram` (histograma multi-dimensional). Los tipos de datos auxiliares incluyen: `CvPoint` (2d punto), `CvSize` (anchura y altura), `CvTermCriteria` (criterio de la terminación para los procesos iterativos), `IplConvKernel` (núcleo de la circunvolución), `CvMoments` (momentos espaciales).

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1. Características Preliminares

2.1.1. Requisitos funcionales

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un equipo mecatrónico de neurorehabilitación para pacientes con deficiencia motriz en las manos mediante el uso de ejercicios terapéuticos cognitivos y visión artificial.

A continuación se listan ciertas funcionalidades las cuales debe realizar el equipo automático con el fin de alcanzar buenos resultados durante la rehabilitación:

- Proyectar o mostrar de forma interactiva ejercicios cognitivos adecuados para el paciente.
- Realizar un seguimiento de la ejecución del ejercicio por parte del paciente.
- Transmisión del movimiento a los ejes cartesianos del robot recolector.
- Enviar un mensaje de aprobación del ejercicio ejecutado.
- Cambiar automáticamente de ejercicio.

2.1.2. Requisitos de diseño

Actualmente en centros de rehabilitación a nivel nacional no se cuenta con equipos tecnológicos similares para poder establecer los requisitos de diseño, por lo cual después de consultar con expertos en el área de rehabilitación física y en vista a las necesidades que se deben satisfacer, se han establecido los siguientes parámetros y datos técnicos que se detallan en la tabla 4.

Tabla 4
Parámetros para el diseño del equipo

Parámetros		
Accionamiento del equipo	del	Eléctrico a 110 V AC
Tamaño estimado del equipo	del	100x60x100 cm ³
Estructura mecánica		Material liviano adecuado para el funcionamiento del equipo
Tipo de software		Sistema de visión artificial en tiempo real implementado en una plataforma libre
Sistema de enfriamiento de la electrónica		Enfriamiento por corriente de aire
Recorrido eje "X"		600 mm
Recorrido eje "Y"		420 mm
Factibilidad de construcción	de	Aceptable, todos los materiales se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano

2.2. Diseño del Sistema Mecánico

A continuación se presentan distintas alternativas para el diseño de cada uno de los componentes del sistema mecánico, con el fin de tener un mejor criterio de selección se optará por usar una escala de ponderación, planteada por (Izurieta, 1997), para la calificación de cada alternativa logrando con esto establecer la opción más adecuada en base a diferentes criterios establecidos. La escala de ponderación se expone en la siguiente tabla 5.

Tabla 5
Escala de ponderación de alternativas

Calificación	% del óptimo	Significado
0	<35	Insatisfactorio
1	35-50	Satisfactorio
2	51-75	Bueno
3	76-89	Muy bueno
4	90-100	Óptimo

Fuente: (Izurieta, 1997)

2.3. Estructura o Base de Apoyo

El objetivo principal de la estructura es brindar un correcto soporte de los elementos móviles y estáticos del equipo los cuales van a estar montados sobre la misma. La precisión y el correcto funcionamiento del equipo dependerán directamente de la calidad y el material de este componente, por lo cual debe ser de simple composición y fabricación.

2.3.1. Alternativas de selección de la Base de Apoyo

a. *Alternativa 1: Mesa plegable de madera y metal.*



Figura 19 Mesa plegable de madera y metal

Fuente: (ArchiExpo, 2016)

Características

- Tipo: de conferencia
- Estilo: moderna

- Material: melanina y madera
- Zona de uso: de interior
- Forma: de media luna, trapezoidal, cuadrada, rectangular
- Colores: gris, blanca.

Descripción

En la figura 19 se puede observar el diseño de la mesa y escritorio. Tiene dos ruedas y un bastidor móvil; gracias a ello se puede desplazar fácilmente. Ocupa un espacio mínimo. Este escritorio flip-abierto está equipado con un mecanismo, que permite doblar los tableros de mesa. Además, con el dispositivo de enlace gris de nylon puede unirse a más de 60 °, 90 ° y 120 ° tableros de mesa de esquina.

“Las diversas formas, medidas y acabados disponibles han sido estudiados para adaptarse a todos los espacios, como salas de reuniones y conferencias, comedores y salas de conferencias.” (ArchiExpo, 2016)

b. Alternativa 2: Mesa fija de madera y metal



Figura 20 Mesa Fija de Metal

Fuente: (Mueble Kit España, 2016)

Características

- Estilo: de cocina
- Material: acero gris

- Opciones: Fija
- Zona de uso: de cocina
- Forma: rectangular

Descripción

En la figura 20 se puede observar el diseño de la mesa fija de acero que “cuenta con un chasis fabricado en tubo cuadrado pintado, tableros de cristal traslucido. Todos las esquinas con terminados rectos. Gran resistencia y fácil limpieza.” (Mueble Kit España, 2016)

c. *Alternativa 3: Mesa plegable de madera maciza*



Figura 21 Mesa plegable de madera

Fuente: (Archi Expo, 2016)

Características

- Estilo: moderna
- Material: de madera maciza
- Opciones: Plegable

Descripción

En la figura 21 se puede observar la mesa plegable de madera maciza. Funcionalmente este tipo de mesa en forma de X, consta con una leve inserción del borde de la mesa que previene cualquier daño a las piernas y permiten el asiento flexible de la misma. La forma minimizada permite que la mesa sea combinada con cualquier silla. Un montaje del acero inoxidable conecta los sistemas de la pierna que proporcionan estabilidad lateral, y

proporciona un contraste agradable contra la madera natural. (Archi Expo, 2016)

2.3.2. Criterios de selección de la Base de Apoyo

Contando con el criterio de ponderación expuesto anteriormente se tomarán en cuenta los siguientes parámetros a fin de hallar la alternativa que más convenga en la elaboración del equipo.

- Costo
- Estética
- Funcionalidad
- Resistencia
- Factibilidad

2.3.3. Selección de mejor alternativa para la Base de Apoyo

Tabla 6
Valoración de las alternativas de estructura

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	2	3	2
Estética	3	2	3
Funcionalidad	3	4	3
Resistencia	2	4	2
Factibilidad	2	3	3
SUMA	12	16	13

Los resultados de la tabla 6 muestran que la alternativa 2 cumple de mejor manera con los criterios establecidos para la selección de la estructura del equipo, por lo cual se optará por usar una mesa elaborada de acero, debido a que cumple con los requisitos de funcionalidad que se busca como reducir peso y soportar de una manera correcta las cargas a las que se encuentre sometida. Las otras alternativas analizadas no cumplen la principal función la cual es resistencia por ser plegables.

2.4. Selección del material de la cubierta del bastidor

La cubierta del bastidor debe cumplir con distintas características para garantizar el buen desempeño del paciente al momento de realizar los ejercicios como por ejemplo:

- Ligero
- Manufacturable
- Resistente
- De buen acabado superficial
- Color adecuado

Tomando en cuenta estas características se ha optado por realizar la cubierta de acrílico blanco y transparente.

Uno de los principales problemas es la tendencia a pandearse en áreas extensas por lo cual se usará acrílico de 6mm de espesor o en su defecto unir dos láminas de acrílico de 3mm.



Figura 22 Láminas de acrílico blanco y transparente

Fuente: (Alibaba, 2013)

2.5. Sistema de Transmisión de Movimiento

En esta sección se seleccionará el sistema de transmisión de movimiento más adecuado para el accionar del robot recolector del disco, el cual se desplazará a lo largo de los ejes X-Y.

2.5.1. Alternativas de selección del mecanismo de transmisión de movimiento.

Tomando en cuenta factores muy importantes en la fabricación del equipo como son el costo y la facilidad de construcción, se plantean a continuación tres opciones de transmisión de movimiento:

- Tuerca – tornillo
- Sistema de poleas
- Piñón - Cremallera

a. Alternativa 1: Tornillo – Tuerca

El artículo de Pulido (2009) sobre el mecanismo tornillo – tuerca sostiene lo siguiente:

El mecanismo tornillo-tuerca, ilustrado en la figura 23, conocido también como husillo-tuerca es un mecanismo de transformación de circular a lineal compuesto por una tuerca alojada en un eje roscado (tornillo).

Si el tornillo gira y se mantiene fija la orientación de la tuerca, el tornillo avanza con movimiento rectilíneo dentro de ella. Por otra parte, si se hace girar la tuerca, manteniendo fija la orientación del tornillo, aquella avanzará por fuera de ésta. Este mecanismo es irreversible, es decir, no se puede convertir el movimiento lineal de ninguno de los elementos en circular.

El avance depende de dos factores:

- La velocidad de giro del elemento motriz.
- El paso de la rosca del tornillo, es decir, la distancia que existe entre dos crestas de la rosca del tornillo. Cuando mayor sea el paso, mayor será la velocidad de avance.

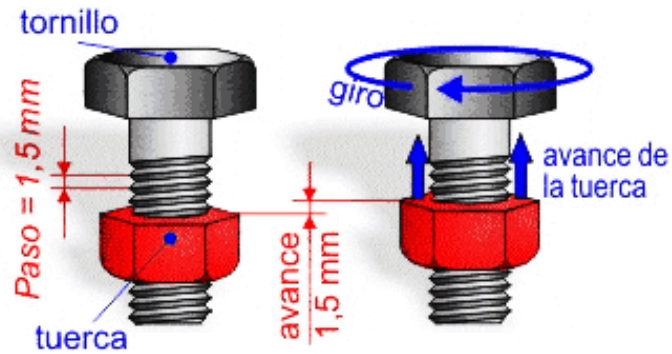


Figura 23 Mecanismo Tuerca – Tornillo

Fuente: (CEJAROSU, 2005)

Aplicaciones

Según Lucas (2011), sostiene lo siguiente sobre las aplicaciones del mecanismo tuerca – tornillo:

Debido a que en cada vuelta solo avanza la distancia correspondiente al paso de rosca, hace que la fuerza de apriete (longitudinal) sea muy grande y se usa como mecanismo de desplazamiento, para lo que suelen emplearse roscas cuadradas (de uno o varios hilos) debido a su bajo rozamiento. Se encuentra en multitud de objetos de uso cotidiano: tapones de botellas y frascos, lápices de labios, barras de pegamento, elevadores de talleres, gatos de coche, tornillos de banco, presillas, máquinas herramientas, sacacorchos” (Lucas, 2011)

Ventajas y desventajas de roscas cuadradas

“Ventajas

- Tiene la mayor eficiencia (ángulo cero de perfil).
- Posee mayor rendimiento, aunque se prefiere comúnmente la rosca Acme

Desventajas

- Es costosa de fabricar
- No está normalizada” (Mozart, 2011)

b. *Alternativa 2: Sistema de poleas con correa*

El sistema de poleas con correa más simple, como el que se muestra en la figura 24, “consiste en dos poleas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto del rozamiento de una correa con ambas poleas. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. Es este un sistema de transmisión circular puesto que ambas poleas poseen movimiento circular.” (Aprendemos Tecnología, 2008)

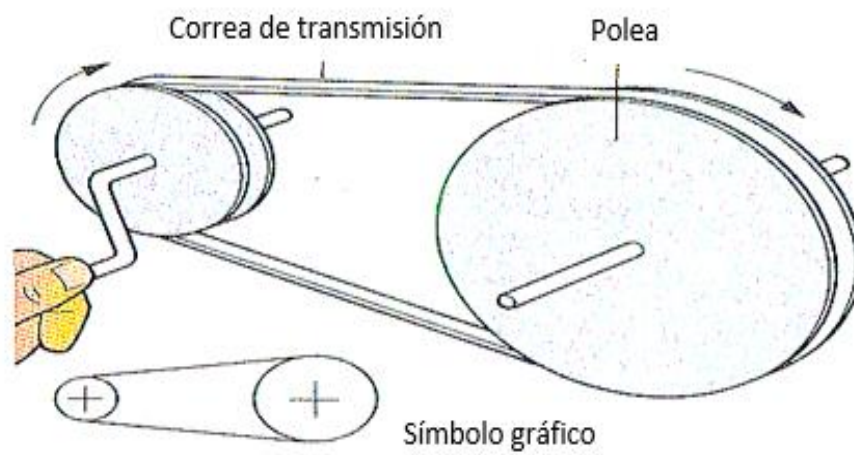


Figura 24 Sistema de poleas con correa

Fuente: (Aprendemos Tecnología, 2008)

“Las correas suelen estar fabricadas de caucho resistente al desgaste y reforzadas con cuerdas para mejorar el comportamiento a tracción. En su funcionamiento está sometida a esfuerzos. Pero sus dos tramos no soportan los mismos esfuerzos; el tramo que va de la rueda motriz a la conducida se encuentra flojo, mientras que el otro está totalmente tenso.” (Aprendemos Tecnología, 2008)

“El proceso de transmisión del movimiento con correa es un proceso de elevado rendimiento (95-98%) y precio reducido”. (e-ducativa, 2007)

Las correas pueden ser de distintos tipos como se detalla en la tabla 7

Tabla 7
Tipos de correas y características

Tipo	Características y Aplicaciones	Forma
Trapezoidales	“Son las más utilizadas, pues se adaptan firmemente al canal de la polea evitando el posible deslizamiento entre polea y correa” (e-ducativa, 2007)	
Redondas	“Se utilizan correas redondas cuando ésta se tiene que adaptar a curvas cerradas cuando se necesitan fuerzas pequeñas” (e-ducativa, 2007)	
Planas	“Cada vez de menor utilización, se emplean para transmitir el esfuerzo de giro y el movimiento de los motores a las máquinas” (e-ducativa, 2007)	
Dentadas	“Las correas dentadas, que además son trapezoidales, se utilizan cuando es necesario asegurar el agarre. En ellas el acoplamiento se efectúa sobre poleas con dientes tallados que reproducen el perfil de la correa. Este tipo es el más empleado en las transmisiones de los motores de los automóviles” (e-ducativa, 2007)	

c. *Alternativa 3: Piñón – Cremallera*

“Este mecanismo permite convertir un movimiento giratorio a uno lineal o viceversa.” (Seritiummecanismos, 2009). Como se ilustra en la figura 25 sus elementos son un piñón y una cremallera, sus dientes deben ser del mismo tipo a fin que tenga un engranaje perfecto.

Es un mecanismo que ofrece gran precisión y es usado en aplicaciones como:

- Puertas automáticas
- Tren de cremallera
- Taladros de columna
- Sistemas de dirección de automóviles.



Figura 25 Mecanismo Piñón-Cremallera

Fuente: (DirectINDUSTRY, 2016)

2.5.2. Criterios de selección del mecanismo de transmisión de movimiento

Para el diseño de los subsistemas mecánicos de movimiento, no se consideran accionamientos comerciales debido a su alto costo. A continuación se listan los criterios para la selección del actuador adecuado:

- Costo
- Precisión
- Velocidad
- Potencia
- Implementación
- Eficiencia mecánica

2.5.3. Selección de la alternativa adecuada para el mecanismo de movimiento

A continuación se realizará la ponderación según los criterios establecidos para la selección de la mejor alternativa.

Tabla 8
Valoración de las alternativas del sistema de transmisión

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	2	4	1
Precisión	4	3	2
Velocidad	2	4	2
Potencia	3	1	1
Implementación	3	4	3
Eficiencia mecánica	3	4	2
SUMA	17	20	11

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 8 la alternativa 2 es la mejor opción para la implementación del equipo, siendo esta un mecanismo de transmisión de poleas con correa.

Para el desarrollo del equipo se utilizarán correas dentadas debido a que es necesario asegurar el agarre con las poleas.

2.6. Guiado de Soporte y Movimiento

“El sistema de guiado de soporte y movimiento, tiene como objetivos principales brindar un soporte y rigidez adecuados para los elementos móviles y a su vez guiarlos correctamente”. (Schaeffler, 2016).

Debido a la facilidad para su implementación así como su bajo costo, la alternativa de guiado para el movimiento del robot es un sistema de guiado por eje.

Los sistemas de guiado por eje, como el que se muestra en la figura 26, son guías longitudinales con rodadura de bolas o por deslizamiento, para diferentes aplicaciones.



Figura 26 Sistema de guiado por eje

Fuente: (Schaeffler, 2016)

2.6.1. Diseño del sistema de guiado

a. Eje X

Se debe considerar ciertos parámetros previos para realizar los cálculos uno de ellos es el peso que va a soportar cada eje guía, los pesos se detallan a continuación en la tabla 9.

Tabla 9
Peso que soporta el eje X

ELEMENTO	MASA (Kg)	PESO (N)
Robot	0,5	4,91
Accesorio para sujeción	0,4	3,92
Electroimán	0,2	1,96
Total		10,8

El peso aproximado que soportará el eje X es de 10.8 N (Tabla 9), por lo tanto cada eje guía X soportará la mitad, es decir 5,4 N. Mediante las condiciones de diseño se selecciona ejes con una longitud de $L_x = 600 \text{ mm}$

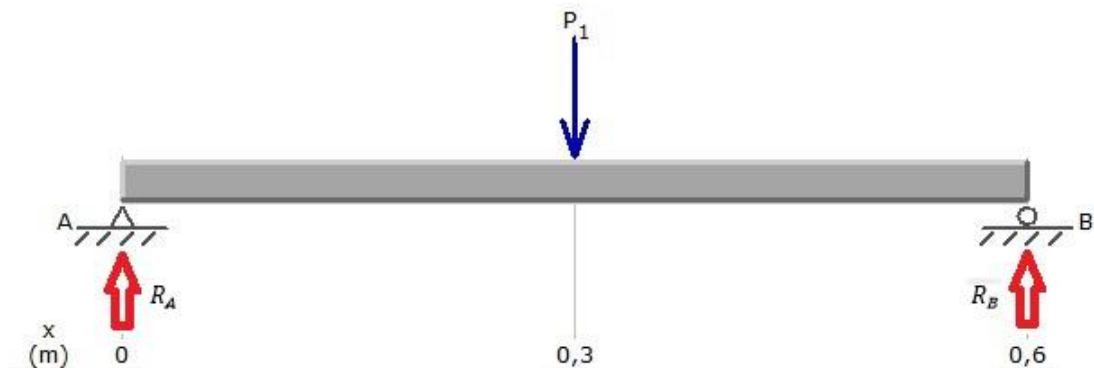


Figura 27 Diagrama de cuerpo libre del eje X

Una vez obtenido el peso se calculan las reacciones:

$$\Sigma F_y = 0 \quad \text{Ec. 1}$$

$$R_A + R_B - P_1 = 0$$

$$R_A + R_B - 5,4 = 0$$

$$R_A + R_B = 5,4$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad \text{Ec. 2}$$

$$P (0,3) - R_B (0,6) = 0$$

$$(5,4) (0,3) - R_B (0,6) = 0$$

$$R_B = 2,7 \text{ N}$$

Al reemplazar R_B se obtiene:

$$R_A = 2,7 \text{ N}$$

Con las reacciones obtenidas se calcula el Momento Flector en una viga simple usando la ecuación que viene dada por:

$$M = \frac{P L}{4} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

M = Momento flector máximo

P = Fuerza aplicada

L = Longitud del eje

$$M_x = \frac{(5,4N)(0,6m)}{4}$$

$$M_x = 0,81 \text{ N.m}$$

Mediante un software de diseño que permita observar diagramas de esfuerzo cortante y momento flexionante se comprueba los valores obtenidos manualmente.

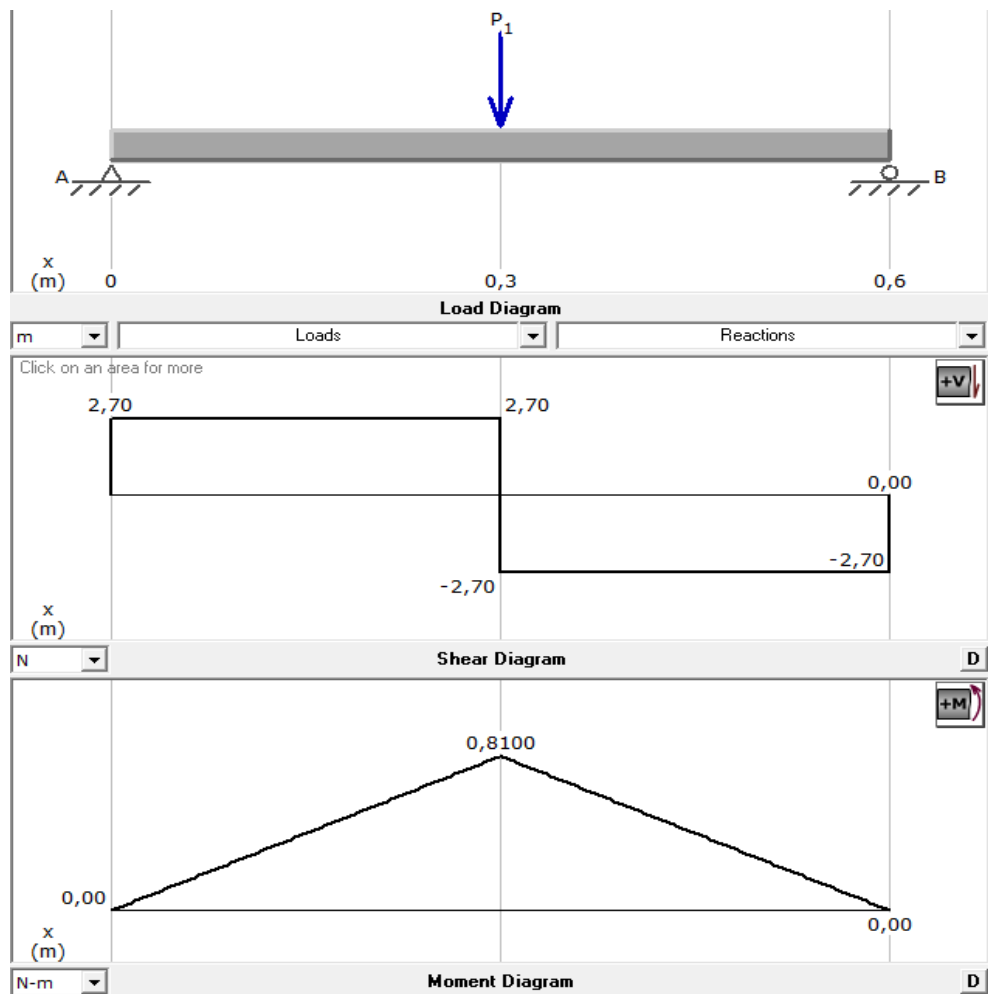


Figura 28 Carga, fuerza cortante y momento flector en el eje X

De la figura 28 se concluye que los cálculos obtenidos manualmente concuerdan con los datos que proporciona el programa, así como también se grafican sus respectivos diagramas de fuerzas y momento máximo.

Para calcular el Esfuerzo máximo se usa la ecuación 2.4 (Mott, 2009)

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo

M = Momento flector máximo

C = Distancia desde el eje centroidal

I = Momento de Inercia

Para el realizar el diseño se realiza la siguiente igualdad

$$\sigma_{max} = \sigma_d \quad \text{Ec. 5}$$

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

σ_d = Esfuerzo de diseño

N = Factor de seguridad

S_y = Resistencia a la cedencia

Reemplazando y despejando se obtiene la siguiente ecuación para calcular el diámetro:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 N M}{\pi S_y}} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

D = Diámetro del eje

N = Coeficiente de seguridad

En este caso hay que imponer el material con el que se elaborarán las guías y sus propiedades físicas, en este caso es una aleación de aluminio (Mott, Resistencia de Materiales, 2009)

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$E = 69 \text{ GPa}$$

$$N = 2 \text{ (Cargas estáticas)}$$

$$D_x = \sqrt[3]{\frac{32 (2) (810 \text{ N}\cdot\text{mm})}{\pi (276 \text{ MPa})}}$$

$$D_x = 3,91 \text{ mm}$$

Para asegurar el diseño se elige un diámetro mayor, en este caso 8mm.

Cálculo de la deflexión en la viga (Budynas & Nisbett, 2000)

$$y_{max} = \frac{-P L^3}{192 E I} \quad \text{Ec. 8}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

y_{max} = Deflexión máxima en el eje

P = Fuerza ejercida en el eje

E = Módulo de elasticidad del aluminio

I = Momento de inercia sección circular

d = Diámetro del eje X

$$I = \frac{\pi (0,008\text{m})^4}{64}$$

$$I = 2,01 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$y_{max} = \frac{-(5,4\text{N}) (0,6\text{m})^3}{192 (69 \text{ GPa}) (2,01 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$y_{max} = -0,438 \text{ mm}$$

Utilizando un software de diseño y análisis computacional se realiza una simulación de la deflexión de la viga tal como se muestra en la figura 29 obteniendo una $y_{max} = 0,431 \text{ mm}$ (FS=33) aproximada a los cálculos obtenidos manualmente.

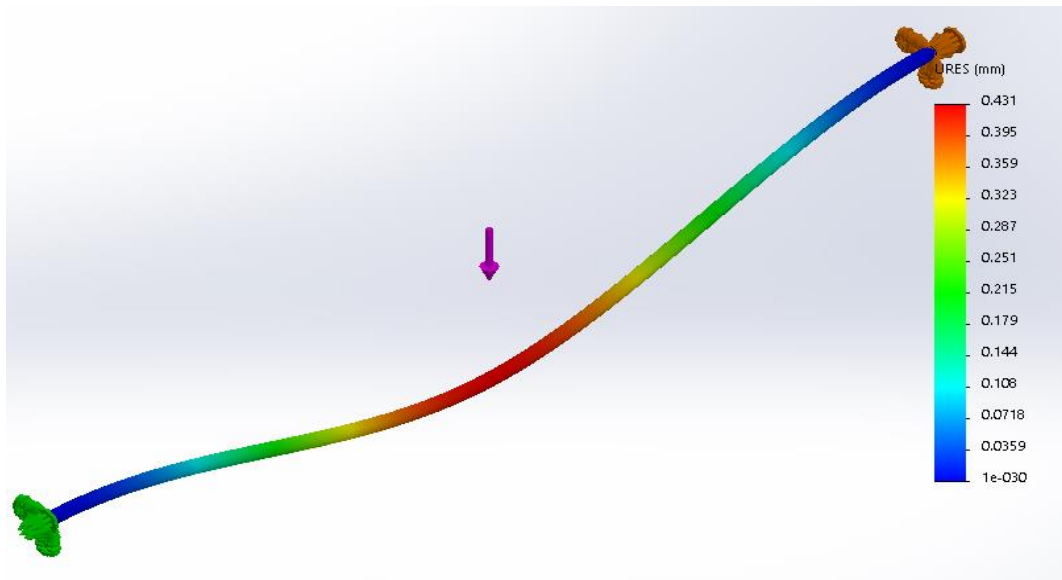


Figura 29 Simulación deflexión en la viga eje X

b. Eje Y

Se debe considerar ciertos parámetros previos para realizar los cálculos uno de ellos es el peso que va a soportar cada guía, los pesos se detallan a continuación en la tabla 10.

Tabla 10
Peso que soporta el eje Y

ELEMENTO	MASA (Kg)	PESO (N)
Eje X	1,1	10,8
Motor aprox (2)	0,76	7,46
Correas	0,1	0,98
Total		18,04

El peso aproximado que soportará el eje Y es de 18,04 N (Tabla 10), por lo tanto cada eje guía Y soportará la mitad, es decir 9,02 N. Mediante las condiciones de diseño se selecciona ejes con una longitud de $L_y = 500 \text{ mm}$

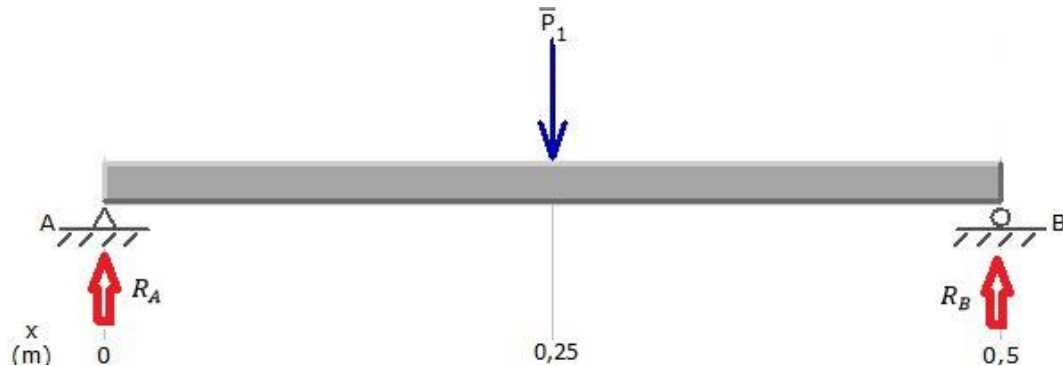


Figura 30 Diagrama de cuerpo libre del eje Y

Una vez obtenido el peso se hallan las reacciones:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_A + R_B - 9,02 = 0$$

$$R_A + R_B = 9,02$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$P (0,25) - R_B (0,5) = 0$$

$$(9,02) (0,25) - R_B (0,5) = 0$$

$$R_B = 4,51 \text{ N}$$

Con las reacciones obtenidas se calcula el Momento Flector en una viga simple usando la ecuación 3.

$$M = \frac{PL}{4}$$

$$M = \frac{(9,02\text{N})(0,5\text{m})}{4}$$

$$M = 1,13 \text{ N.m}$$

Mediante un software de diseño se obtiene los diagramas de fuerza cortante y momento flector y se comprueba los valores obtenidos.

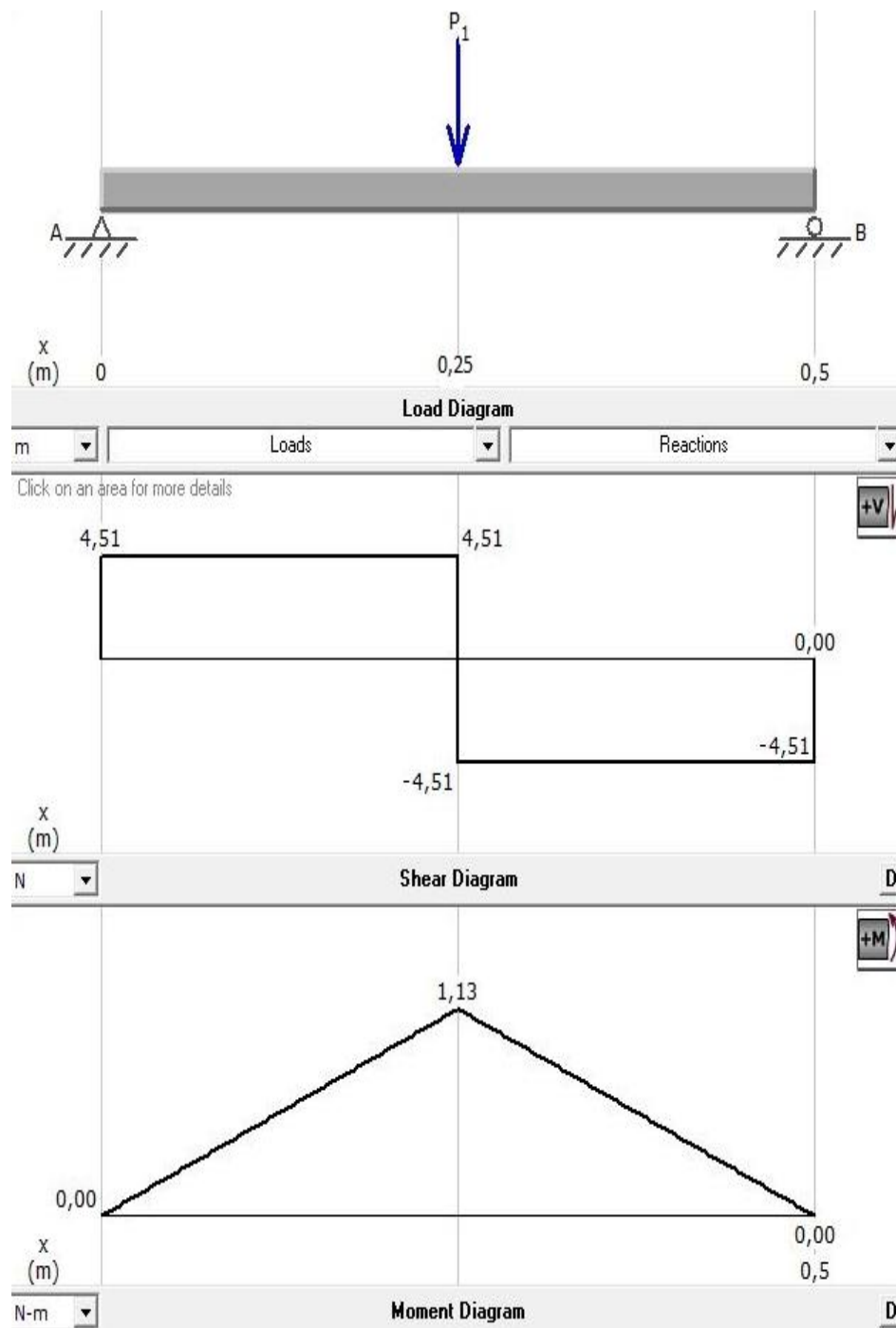


Figura 31 Diagrama de fuerzas y momento máximo eje Y

De la figura 31 se concluye que los cálculos obtenidos manualmente concuerdan con los datos que proporciona el programa, así como también se grafican sus respectivos diagramas de fuerzas y momento máximo.

En este caso hay que imponer el material con el que se elaborarán las guías y sus propiedades físicas, en este caso es acero AISI 304 (Acero Inoxidable). (Sumiteccr, 2014)

$$S_y = 310 \text{ MPa}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$N = 2 \text{ (Cargas estáticas)}$$

Usando la ecuación 2.7 se obtiene:

$$D_y = \sqrt[3]{\frac{32 \text{ N M}}{\pi S_y}}$$

$$D_y = \sqrt[3]{\frac{32 (2) (1130 \text{ N.m})}{\pi (310 \text{ MPa})}}$$

$$D_y = 4,20 \text{ mm}$$

Para asegurar el diseño se elige un diámetro mayor, en este caso 8mm

Cálculo de la deflexión en la viga para el eje Y: (Budynas & Nisbett, 2000)

$$y_{max} = \frac{-P L^3}{192 E I}$$

$$y_{max} = \frac{-(9,02\text{N}) (0,5\text{m})^3}{192 (200 \text{ GPa}) (2,01 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$y_{max} = -0,146 \text{ mm}$$

Utilizando un software de diseño y análisis computacional se realiza una simulación de la deflexión de la viga tal como se muestra en la figura 32 obteniendo una $y_{max} = 0,144 \text{ mm}$ (FS=26) aproximada a los cálculos obtenidos manualmente.

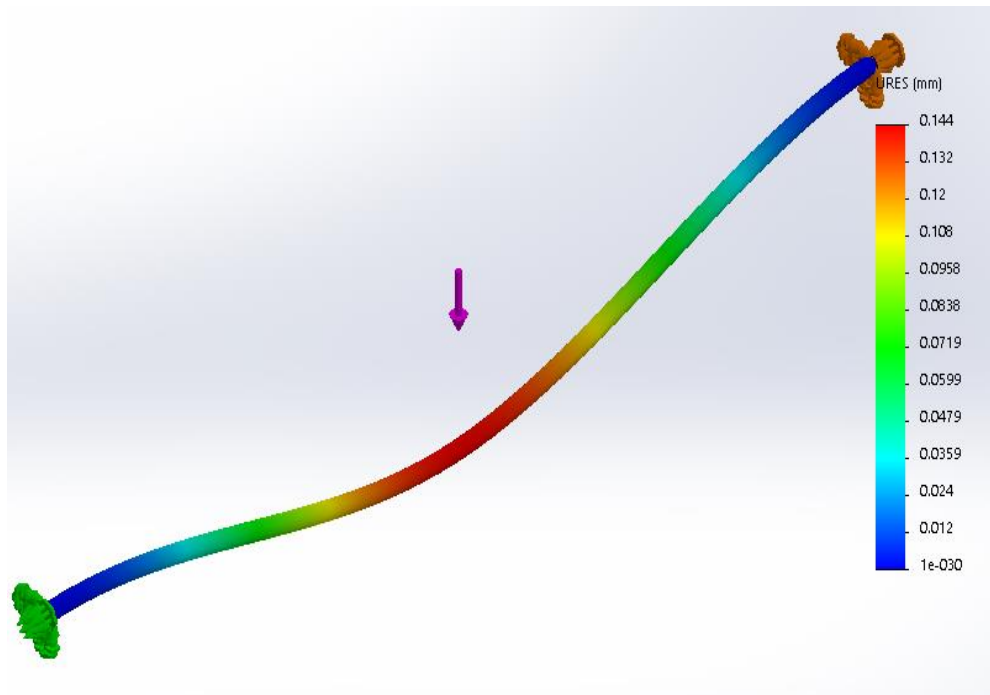


Figura 32 Simulación deflexión en la viga eje Y

2.7. Rodamientos

Tomando en cuenta que el sistema de guiado que se va a usar en la construcción del equipo es por eje y los requerimientos del equipo, se optará por trabajar con rodamientos lineales de bolas.

Como se ilustra en la figura 33, “el rodamiento lineal de bolas consta de una jaula polimérica con segmentos de camino de rodadura fabricados en acero templado, para guiar y recircular los conjuntos de bolas dentro del sistema completo”. (SFK, SFK, 2007)

Los rodamientos lineales de bolas son compactos y fáciles de instalar. “Estos rodamientos están disponibles en una versión estándar con o sin obturaciones, así como en una versión resistente a la corrosión, para diámetros del eje de 3 a 50 mm”. (SFK, SFK, 2007)



Figura 33 Rodamientos lineales de bolas

Fuente: (SFK, 2007)

Características y ventajas

- Dimensiones compactas
- Relación coste-rendimiento optimizada
- Prelubricadas de fábrica
- Amplia gama de accesorios
- Totalmente intercambiable según las dimensiones ISO 1
- Disponible en los principales concesionarios de todo el mundo

2.8. Actuadores

Para la implementación del equipo se tomarán en cuenta dos tipos de actuadores DC debido a la disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

2.8.1. Alternativas de selección de actuadores

En esta sección se mostrarán características de dos tipos de actuadores como son:

- Servomotores DC
- Motores a pasos

Las cuales van a ser decisivas en la selección del actuador.

a. *Alternativa 1: Servomotores DC*

Como se ilustra en la figura 34, “los servomotores son pequeños motores de DC cuya cualidad principal es ubicarse en cualquier posición, dentro de su rango permisible, y mantenerse estable en ella.” (Raziel, 2010)

“Cuenta con las siguientes partes:

- Un amplificador
- Piñones de reducción
- Potenciómetro de retroalimentación
- Tres cables de conexión: Vcc, GND y control” (Raziel, 2010)



Figura 34 Servomotor DC

Fuente: (Raziel, 2010)

b. *Alternativa 2: Motores a pasos*

“Es un motor de DC capaz de avanzar un cierto número de pasos de acuerdo a su señal de control, esto se logra mediante la conversión de impulsos eléctricos en desplazamiento angular.” (ROBOTICACNC, 2016)

Como sus principales características se encuentran:

- Precisión
- Buen posicionamiento

En la figura 35 se ilustra un motor a pasos.

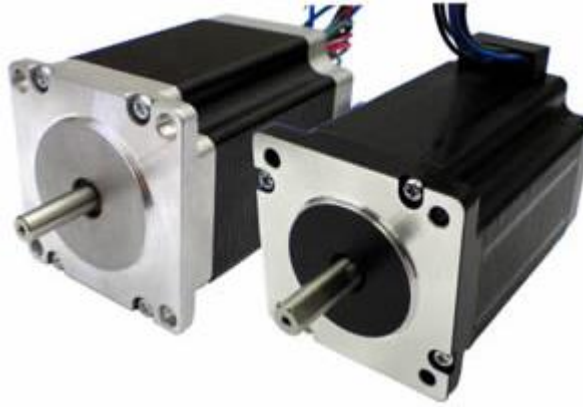


Figura 35 Motor a pasos

Fuente: (ROBOTICACNC, 2016)

2.8.2. Criterios de selección para los actuadores

A continuación se listan los criterios para la selección del actuador adecuado:

- Costo
- Disponibilidad
- Precisión
- Velocidad
- Torque de mantenimiento
- Potencia

2.8.3. Selección de la alternativa adecuada para actuadores

Tabla 11
Valoración de las alternativas de los actuadores

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	3	4
Disponibilidad	2	3
Velocidad	4	3
Torque	3	4
Potencia	3	3

Continua

Precisión	4	3
SUMA	18	20

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 11 la alternativa 2 es la mejor opción para la implementación del equipo, siendo esta usar motores a pasos.

2.8.4. Diseño para la selección de los actuadores

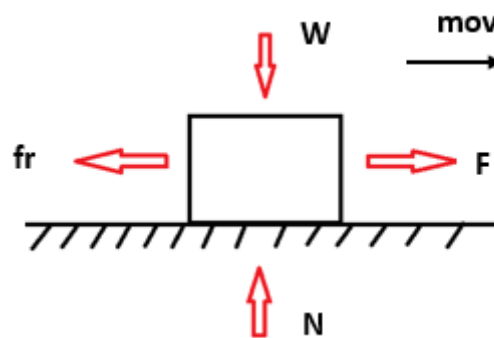


Figura 36 Diagrama de cuerpo libre para el cálculo del actuador

Datos

Velocidad requerida = 60 mm/s

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{Ec. 10}$$

$$W = F d \quad \text{Ec. 11}$$

$$F = F - f_r \quad \text{Ec. 12}$$

$$f_r = u_k N \quad \text{Ec. 13}$$

$$N = mg \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

E_c = Energía cinética

W = Trabajo

m = Masa de los componentes

v = Velocidad requerida

F = Fuerza requerida para el movimiento

f_r = Fuerza de rozamiento eje – rodamiento

d = Distancia entre poleas

N = Normal

g = gravedad

u_k = Coeficiente de fricción eje – rodamiento

Después de realizar las respectivas operaciones de igualaciones y reemplazos de las ecuaciones 10 a la 14, se obtiene la siguiente ecuación para el cálculo de la fuerza necesaria para el movimiento:

$$F = N \left(\frac{v^2}{2 d g} + u_k \right) \quad \text{Ec. 15}$$

Se debe tomar en cuenta un coeficiente de rozamiento de:

$u_k = 0,61$ (aluminio sobre acero) Anexo G

$u_k = 0,74$ (acero sobre acero) Anexo G

Utilizando la ecuación 15 se obtienen las fuerzas en cada eje correspondiente

Fuerza en el eje X

$$F_x = N_x \left(\frac{v^2}{2 d_x g} + u_k \right)$$

$$F_x = 10,8 N \left(\frac{(0,125 m/s)^2}{2 (0,6m)(9,81 \frac{m}{s^2})} + 0,61 \right)$$

$$F_x = 6,60 N$$

Fuerza en el eje Y

$$F_y = N_y \left(\frac{v^2}{2 d_y g} + u_k \right)$$

$$F_y = 18,4 N \left(\frac{(0,1 m/s)^2}{2 (0,5m)(9,81 \frac{m}{s^2})} + 0,74 \right)$$

$$F_x = 13,63 N$$

Una vez obtenidas las fuerzas se procede a calcular el torque necesario en cada eje, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$T = F \times r \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

T = Torque requerido por el motor

F = Fuerza requerida para el movimiento

r = Radio de la polea

$$r = D/2 = 22,4mm/2 = 0,0112m$$

Reemplazando datos se obtiene:

Torque en el eje X

$$T_x = 6,60 N (0,0112m)$$

$$T_x = 0,074 N.m$$

Torque en el eje Y

$$T_y = 13,63 N (0,0112m)$$

$$T_y = 0,153 N.m$$

Para el cálculo de la potencia requerida se utiliza el valor del torque del eje Y ya que es el mayor y por consiguiente también cumplirá los requerimientos del eje X, se emplea la ecuación 17 que viene dada por:

$$P = T \times \omega \quad \text{Ec. 17}$$

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

P = Potencia requerida

T = Torque

ω = velocidad angular

v = velocidad lineal = 100 mm/s

r = radio de la polea = 11,2 mm

Por medio de la ecuación 18 se obtiene el valor de la velocidad angular

$$\omega = \frac{100 \text{ mm/s}}{11,2 \text{ mm}}$$

$$\omega = 8,93 \text{ rad/s}$$

Una vez calculado los valores necesarios, se procede a utilizar la ecuación 17 para obtener la potencia:

$$P = (0,153 \text{ N.m}) (8,93 \text{ rad/s})$$

$$P = 1,37 \text{ W}$$

A continuación se compara los valores de los torques con los catálogos de motores a pasos que existen en el mercado y se llega a la conclusión que el motor adecuado es el motor a pasos NEMA 17 ilustrado en la figuras 37 y 38.

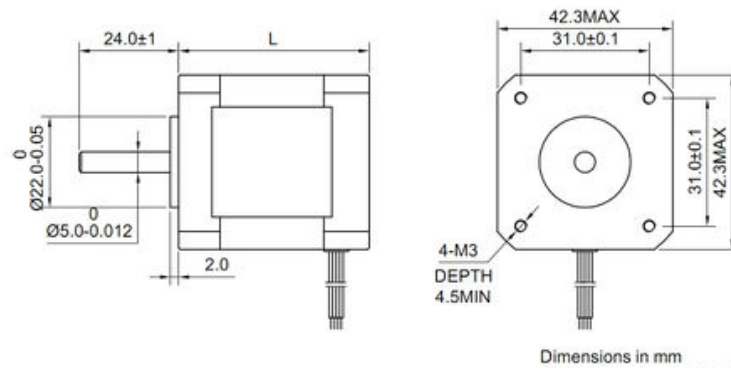


Figura 37 Dimensiones motor NEMA 17

Fuente: (RepRap, 2016)



Figura 38 Motor NEMA 17

Fuente: (RepRap, 2016)

Que cuenta con las siguientes características:

- “1.5A a 1.8A corriente por fase
 - 1-4 voltios
 - 3-8 mH inductancia por fase
 - 0,54 Nm o más con par
 - 1,8 o 0,9 grados por paso (200/400 pasos / rev, respectivamente)”
- (RepRap, 2016)

2.9. Selección de soportes del sistema de guiado y de transmisión de movimiento.

Uno de los principales objetivos del equipo de Neurorehabilitación es que el paciente tome los ejercicios a manera de juego, debido a esto para la implementación del robot recolector del puck se partió del diseño libre del proyecto llamado “Air Hockey Robot (a 3D printer hack)” (Julio, 2014), que proporciona un diseño en CAD de los elementos necesarios para el montaje del mismo.

Los diseños que se listan a continuación se encuentran en el repositorio GitHub bajo el nombre “AHRobot” (GitHub, 2014) y son los que se usan en el equipo de Neurorehabilitación:

- AHR_Pulley_1.scad
- AHR_Pulley_2.scad
- AHR_x_carriage.scad
- AHR_x_carriage_belt.scad
- AHR_x_carriage_pusher.scad
- AHR_x_motor_mount.scad
- AHR_y_axis_v2.scad
- AHR_y_carriage.scad” (GitHub, 2014)

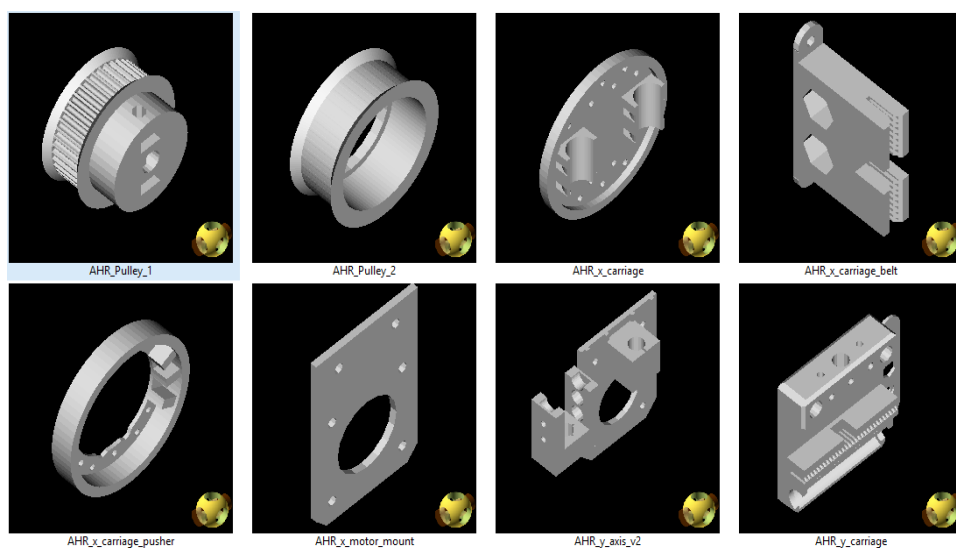


Figura 39 Soportes del sistema de guiado y de transmisión de movimiento

2.10. Selección de actuadores para el Sistema de Refrigeración

Poniendo a consideración que los elementos electrónicos que se usarán disipan gran cantidad de calor se colocará dos ventiladores en la parte inferior del bastidor de la Base de Apoyo, los cuales a su vez se usaran a manera de cama de aire que ayudará al puck a desplazarse correctamente.

Los ventiladores utilizados serán reusados de fuentes de alimentación de computadoras en mal estado cuyas principales características son:

- Alimentación: 12 VCC
- Corriente: 0.18 A

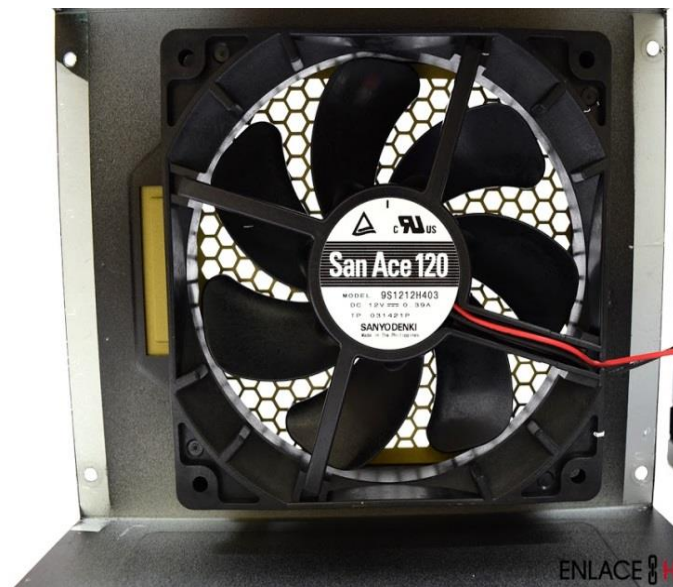


Figura 40 Ventilador de fuente de poder de computador

Fuente: (Hardware, 2014)

2.11. Diseño del Sistema de Control

El sistema de control comprende los diferentes elementos electrónicos que van a trabajar en conjunto a fin de dominar el todo el sistema.

Tomando en cuenta el objetivo final del equipo de neurorehabilitación, se han impuesto distintos requerimientos del sistema de control los cuales se detallan a continuación en el siguiente diagrama de flujo de la figura 41.

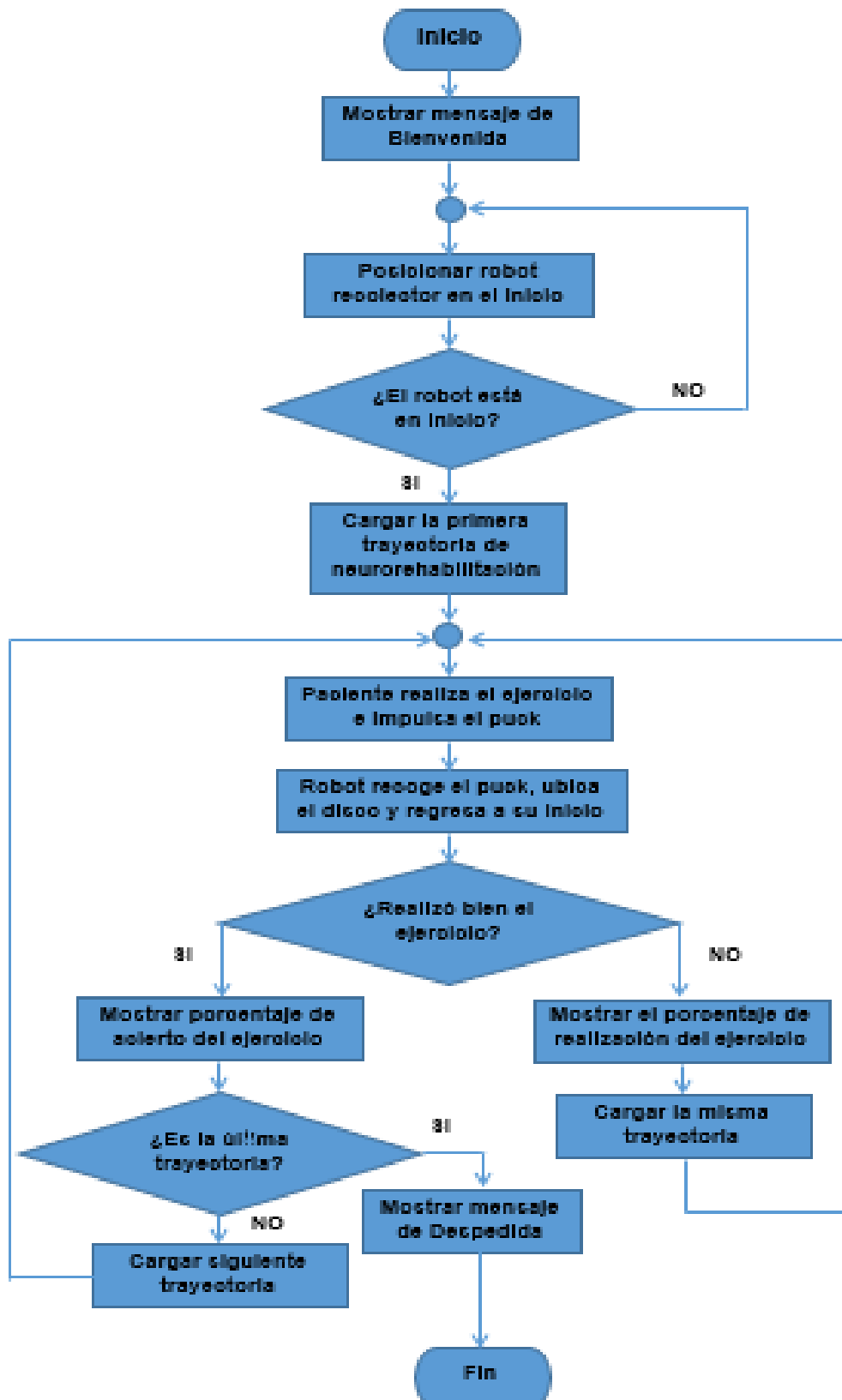


Figura 41 Flujograma del funcionamiento de la máquina

Analizando todas las condiciones que debe cumplir el equipo en cuanto a su control, se requiere que un sistema que ofrezca una gran cantidad de opciones al trabajar con imágenes en tiempo real, debido a esto se ha tomado la decisión de usar el software Microsoft Visual C++ con la librería OpenCV.

El control se va a realizar mediante un programa de visión artificial que consiste en reconocimiento de color, el cual va a interactuar con una tarjeta controladora adecuada para motores a pasos, escogidos anteriormente, que van a dar movimiento al robot recolector del puck.

En base a esto se detalla a continuación alternativas de elementos electrónicos, que en conjunto cumplan con el mando del equipo, en base a la disponibilidad del mercado, características, complejidad y costo.

2.12. Tarjeta de control

La tarjeta de control cumple un papel fundamental en el equipo de Neurorehabilitación debido a que será la encargada de interactuar con el sistema de Visión Artificial y los actuadores del equipo, debe ser de fácil acceso en el mercado ecuatoriano y de uso sencillo.

2.12.1. Alternativas de selección para la tarjeta de control

a. Arduino mega 2560

“Arduino es una plataforma física computacional open-hardware basada en una sencilla placa con entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales, y en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Las posibilidades de realizar desarrollos basados en Arduino tienen como límite la imaginación”. (ARDUINO.cl, 2016)



Figura 42 Arduino Mega 2560

Fuente: (ARDUINO.cl, 2016)

En la página web de Arduino (2016) se detalla:

El Arduino Mega está basado en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 pines de entradas/salidas digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas análogas, 4 UARTs (puertos serial por hardware), cristal oscilador de 16 Mhz, conexión USB, jack de alimentación, conector ICSP y botón de reset. Incorpora todo lo necesario para que el microcontrolador trabaje; simplemente se conecta a la PC por medio de un cable USB o con una fuente de alimentación externa. El Arduino Mega es compatible con la mayoría de los shields diseñados para Arduino Duemilanove, diecimila o UNO.

Tabla 12
Especificaciones del arduino mega 2560

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje Operativo	5V
Voltaje de Entrada	7-12V
Voltaje de Entrada(límites)	6-20V
Pines digitales de Entrada/Salida	54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
Pines análogos de entrada	16

Continua 

Corriente DC por cada Pin	20 mA
Entrada/Salida	
Corriente DC entregada en el Pin	50 mA
3.3V	
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Fuente: (www.arduino.cc, 2016)

b. Raspberry Pi 2 Modelo B

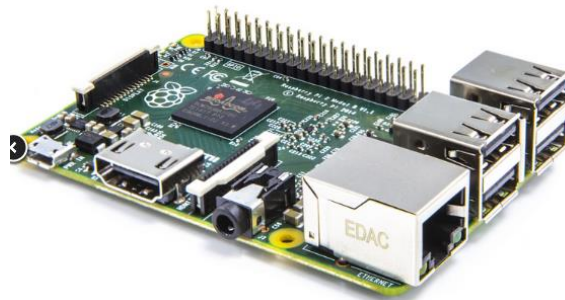


Figura 43 Raspberry Pi 2 Modelo B

Fuente: (PCcomponentes.com, 2016)

“Raspberry Pi 2 Modelo B se trata de una diminuta placa base de 85 x 54 milímetros en el que se aloja un chip Broadcom BCM2836 con procesador ARM hasta a 1 GHz de velocidad, GPU VideoCore IV y hasta 1 GB de memoria RAM”. (PCcomponentes.com, 2016)

Especificaciones

“Gracias a su procesador ARM A7, puede utilizar distribuciones GNU/LINUX e, incluso, Windows 10”. (PCcomponentes.com, 2016)

- “Procesador: Quad-Core Cortex A7 a 900MHZ
- RAM: 1GB.
- Puertos:
 - 4 x USB 2.0
 - 1 X HDMI
 - 1 x Ethernet
 - 1 x Combo audio/mic
 - 1 x Interfaz de cámara (CSI)
 - 1 X Interfaz de Pantalla (DSI)
 - 1 x Micro SD
 - 1 x Núcleo Grafico 3D” (PCcomponentes.com, 2016)

2.12.2. Criterios de selección para la tarjeta de control

A continuación se listan los criterios para la selección de la tarjeta de control:

- Costo
- Disponibilidad
- Compatibilidad
- Control de actuadores
- Programación

2.12.3. Selección de la alternativa adecuada para la tarjeta de control

Tabla 13
Criterios de selección tarjeta de control

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	3	2
Disponibilidad	4	3
Compatibilidad	3	3
Control actuadores	4	3
Programación	4	2
SUMA	18	13

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 13, la mejor alternativa es la opción 1 para la tarjeta de control, es decir la tarjeta arduino mega 2560.

2.13. Drivers de control de motores paso a paso

Los drivers para motores a pasos nos permiten tener un control adecuado para el funcionamiento de los motores en cuanto a la cantidad de corriente suministrada al motor, el número de pasos por revolución entre otras funcionalidades

2.13.1. Alternativas de selección de Drivers de control de motores paso a paso

a. Driver A4988

“Es un controlador de motor paso a paso bipolar de Allegro cuenta con límite de corriente ajustable, sobre-corriente y de la temperatura de protección, y cinco resoluciones diferentes micropasos (hasta 1/16 pasos)”. (Pololu, 2006)

“Opera desde 8 V a 35 V y puede entregar hasta aproximadamente 1 A sin disipador y hasta 2 A por bobina con suficiente refrigeración adicional, ajustada con un potenciómetro”. (Pololu, 2006)



Figura 44 Driver A4988

Fuente: (Pololu, 2006)

b. Driver DVR8825

Es un controlador de motor paso a paso bipolar cuenta corriente ajustable limitante, sobre-corriente y de la temperatura de protección, y seis

resoluciones micropasos (hasta 1/32 pasos). (Pololu, Pololu Robotics & Electronics, 2006)

Opera desde 8,2 V a 45 V y puede entregar hasta aproximadamente 1,5 A por fase sin un disipador de calor o el flujo de aire forzado (puntuación de hasta 2,2 A por bobina con suficiente refrigeración adicional). (Pololu, Pololu Robotics & Electronics, 2006)

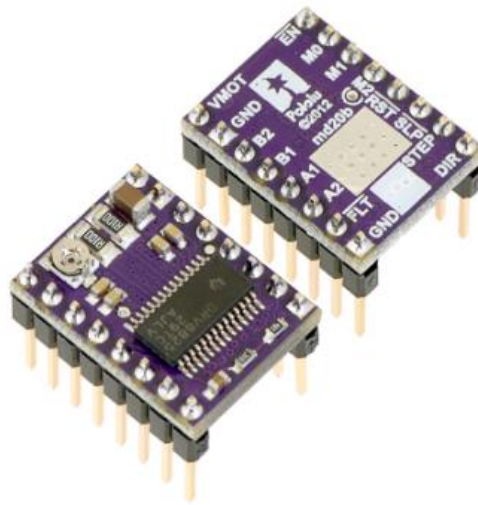


Figura 45 Driver DVR8825

Fuente: (Pololu, Pololu Robotics & Electronics, 2006)

2.13.2. Criterios de selección para Drivers de control de motores paso a paso

A continuación se listan los criterios para la selección del driver adecuado para motores a pasos:

- Costo
- Disponibilidad
- Compatibilidad
- Rango Pasos
- Dimensiones

2.13.3. Selección de la mejor alternativa para Drivers de control de motores paso a paso

Tabla 14
Criterios de selección Drivers de motores paso a paso

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	4	3
Disponibilidad	4	3
Compatibilidad	5	4
Rango Pasos	4	5
Dimensiones	4	3
SUMA	21	18

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 14, la mejor alternativa es la opción 1 para drivers de control de motores paso a paso, es decir los drivers A4988.

2.14. Cámara del Sistema de Visión Artificial

Una de los elementos principales del Sistema de Visión Artificial es la cámara por medio de la cual se tendrá acceso a imágenes del mundo real en el mismo tiempo en el que están ocurriendo, lo cual es una parte vital para el equipo de Neurorehabilitación.

2.14.1. Alternativas de Selección de la Cámara del Sistema de Visión Artificial

a. *FaceCam 320X*

“Genius presenta una nueva cámara web VGA Plug & Play, la FaceCam 320X, la cual produce imágenes claras y es ideal para chat de video. Es Plug & Play, por lo que se puede usar para comunicarse rápidamente con familia y amigos”. (Genius, 2016)

“El enganche universal puede usarse con su computadora, equipo portátil, Ultrabook o como soporte independiente. Es una cámara web simple y útil para las sesiones de chat”. (Genius, 2016)



Figura 46 FaceCam 320X

Fuente: (Genius, 2016)

Tabla 15
Características FaceCam 320

Interfaz	USB 2.0
Formato archivo	MJPEG/WMV
Resolución	640 x 480 pixels
Tipo de lente	Enfoque manual
Resolución video	VGA: Hasta 30 fps
Sensor	VGA: pixel CMOS
IPM (Mecanismo de Protección de la imagen)	SI
UVC (Plug & Play)	SI

Fuente: (Genius, 2016)

b. Cámara PlayStation Eye PS3

“La cámara PlayStation Eye funciona junto con el control de movimiento PlayStation Move para reproducir en el juego cada uno de los movimientos con absoluta precisión. También funciona como una solución completa para chat con video”. (Sony Computer Entertainment America , 2014)



Figura 47 Cámara Eye PS3

Fuente: (Sony Computer Entertainment America , 2014)

Características principales

- “Registra con precisión la posición del objeto.
- Tiene lentes con zoom que permiten una perspectiva de cerca o de cuerpo entero.
- Permite chat con video de hasta 6 personas a la vez.
- 120 cuadros por segundo que permiten una calidad de video impecable”.(Sony Computer Entertainment America , 2014)

2.14.2. Criterios de Selección para el Sistema de Visión Artificial

A continuación se listan los criterios para la selección de la cámara adecuada:

- Costo
- Disponibilidad
- Resolución
- Estética
- Rango

2.14.3. Selección de la alternativa adecuada para la Cámara del Sistema de Visión Artificial

Tabla 16
Criterios para selección del sistema de visión artificial

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	3	4
Disponibilidad	3	2
Resolución	3	4
Estética	2	4
Rango	3	4
SUMA	14	18

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 16, la mejor alternativa es la opción 2 para la cámara del sistema de visión artificial, es decir la cámara PS3.

2.15. Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación constituye un factor fundamental debido a su estrecha relación y complemento con el sistema de visión, por tal motivo se analizan dos tipos: iluminación fluorescente e iluminación led.

2.15.1. Alternativas de Selección para el Sistema de Iluminación

a. Luz Fluorescente

“Consisten en unos tubos de vidrio con dos electrodos en sus extremos, en cuyo interior hay pequeñas cantidades de argón y vapor de mercurio; la superficie interna está revestida de sustancias fluorescentes (fósforos) que transforman las radiaciones ultravioletas en rojas, por lo que la luz que emiten es blanca”. (EcuRed, 2016)



Figura 48 Lámparas Fluorescentes

Fuente: (QuimiNet, 2012)

- *Ventajas de las Lámparas Fluorescentes*

Según el artículo del sitio web VentajasDesventajas.com, las principales ventajas de las lámparas fluorescentes son las siguientes:

- Vida útil prolongada: tiene una vida útil entre 5 mil y 7 mil horas.
- Sin calor: este tipo de luz no emite pérdida de energía en forma de calor.
- Bajo consumo: se trata de un tipo de luz de bajo consumo de corriente eléctrica.
- Gran luminosidad: aportan una gran luminosidad con menos vatios que en otros tipos de luz llegando a emitir entre 4 y 6 veces más que una lámpara incandescente de la misma potencia.

- *Desventajas de las Lámparas Fluorescentes*

Entre las principales desventajas de la luz fluorescente que menciona el sitio web ([EcuRed](http://EcuRed.com), 2016) se encuentran:

- Mayor precio: los focos con este tipo de luz son más caros.
- Luz fría: emite una luz fría que para mucha gente no es acogedora.
- Alta toxicidad: presentan gran toxicidad en caso de rotura por su alto contenido en mercurio.
- Pequeño retardo: existe un pequeño retardo desde que la luz se enciende hasta que transmite la totalidad lumínica.

- Iluminación discontinua: la luz emitida por los focos fluorescentes es discontinua pudiendo llegar a apreciarse un pequeño parpadeo que puede provocar dolor de cabeza.

b. Luz Led

“Las luces tipo LED (Light-Emitting Diodes) son un tipo de iluminación de bajo consumo, una gran durabilidad y enormes posibilidades de diseño. Los LED se adaptan a todo tipo de proyectos gracias a su gran versatilidad y pueden generar luz de varios colores”. (Bonada, 2016)



Figura 49 Lámpara Led

Fuente: (Cellconexion, 2016)

- *Ventajas de las Lámparas Led*

Según la investigación de Bonada (2016) las lámparas led ofrecen las siguientes ventajas:

- Menos consumo energético: En general, una lámpara LED consume un 65% menos que las fluorescentes, 80% menos que las halógenas e incandescentes y el 50% de las de bajo consumo.
- Menos contaminantes: No contienen mercurio ni otros metales pesados y emiten menos CO₂ para conseguir la misma iluminación como consecuencia de su bajo consumo. Además no irradian ultravioletas ni infrarrojos.
- Larga durabilidad y buen mantenimiento del flujo lumínico: La durabilidad de una lámpara LED puede llegar a ser de 50.000 horas.

- Encendido rápido: Gran ventaja respecto las lámparas fluorescentes compactas.
 - Generan poco calor: No queman al tocarlas aunque lleven horas encendidas y ahorran energía en climatización en verano al no emitir calor.
 - Gran variedad cromática: Están disponibles en varios colores con un precio similar al de la luz blanca estándar.
 - Facilidad de mantenimiento: La reposición de las luces LED es muy sencilla y no requiere mano de obra especializada.
 - Grandes posibilidades de diseño: La variedad de tamaños, colores y la regulación total de la intensidad permite unas posibilidades decorativas y funcionales infinitas.
- *Desventajas de las Lámparas Led*

Según la investigación de Alromar (2012) las desventajas de las lámparas led son las siguientes:

- Su mayor enemigo son las altas temperaturas, a partir de 65° la mayoría de los LED se estropean.
- Requieren una elevada disipación térmica, si bien generan menos calor que las convencionales, el que genera es muy importante disiparlo, garantizando mayor tiempo de vida de la lámpara.
- El precio en comparación con las convencionales es bastante elevado.
- En potencias grandes a partir de 100W, es muy poco competitivo siendo su coste muy elevado, existiendo otras alternativas como la Inducción Magnética.

2.15.2. Criterios para la selección del Sistema de Iluminación

- Consumo Energético
- Menor emisión CO2
- Durabilidad
- Estética

- Encendido Rápido
- Disipación de calor
- Luminosidad

2.15.3. Selección de la alternativa adecuada para el Sistema de Iluminación.

Tabla 17
Criterios para selección del sistema de iluminación

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Consumo energético	2	4
Menor emisión CO2	3	4
Durabilidad	3	4
Estética	4	4
Encendido Rápido	3	4
Disipación de calor	4	2
Luminosidad	3	4
SUMA	22	26

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 17, la mejor alternativa es la opción 2 para el sistema de Iluminación, es decir a base de luz led.

2.16. Diseño de los soportes para el Sistema de Iluminación y la cámara del Sistema de Visión Artificial.

El análisis específico de cada componente que soportará el sistema de visión e iluminación se realiza a continuación:

2.16.1. Soporte Horizontal

El soporte horizontal del sistema de visión e iluminación se lo analizará como una viga en voladizo. La masa combinada de la cámara y la lámpara es

de 285.6 gramos, lo que constituye una carga de 2,81N y su diagrama de cuerpo libre se representa en la figura 50.



Figura 50 Diagrama de cuerpo libre soporte horizontal del sistema de visión e iluminación

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_A - 2,81 = 0$$

$$R_A = 2,81 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$(2,81 \text{ N})(260 \text{ mm}) - M_A = 0$$

$$M_A = 730,6 \text{ N mm}$$

Al resolver mediante las ecuaciones de equilibrio se obtiene los valores de la reacción y el momento en el punto A, los cuales son comprobados mediante MDSolid como se muestra a continuación en la figura 51.

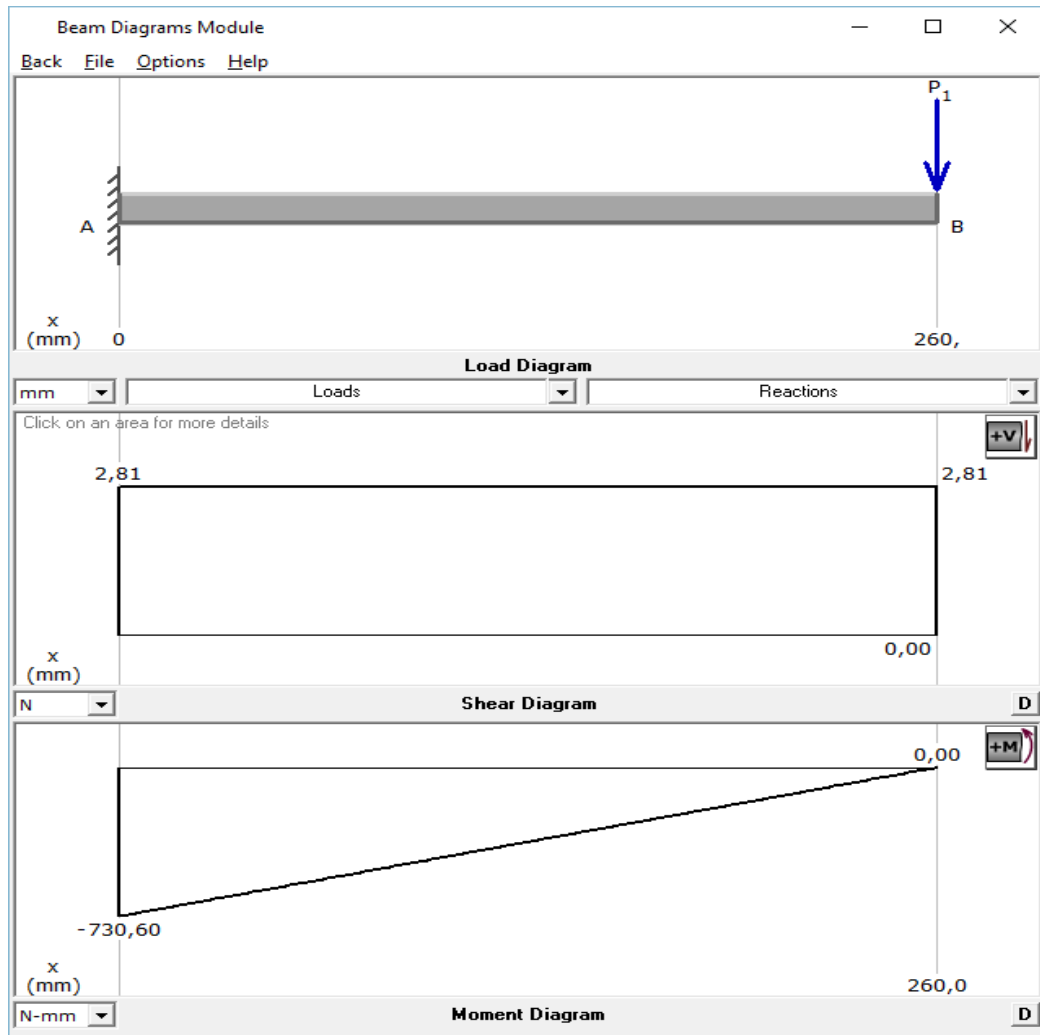


Figura 51 Diagrama de fuerzas cortante y momento flector soporte horizontal del sistema de visión e iluminación

El material escogido es tubo cuadrado de aluminio de 22mm con un espesor de 2mm, a continuación se comprobará si dicha selección es correcta mediante la deflexión que en este caso sería el valor más crítico.

Momento de Inercia Tubo cuadrado (Mott, Resistencia de Materiales, 2009)

$$I = \frac{D^4 - d^4}{12} \quad \text{Ec. 19}$$

$$I = \frac{0,022^4 - 0,018^4}{12}$$

$$I = 1,077 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Deflexión máxima de una viga en voladizo (Mott, Resistencia de Materiales, 2009)

$$y_{max} = \frac{-P L^3}{3 E I} \quad \text{Ec. 20}$$

$$y_{max} = \frac{-(2,81N) (0,26 m)^3}{3 (69 GPa) (1,077 \times 10^{-8} m^4)}$$

$$y_{max} = -0,0221 mm$$

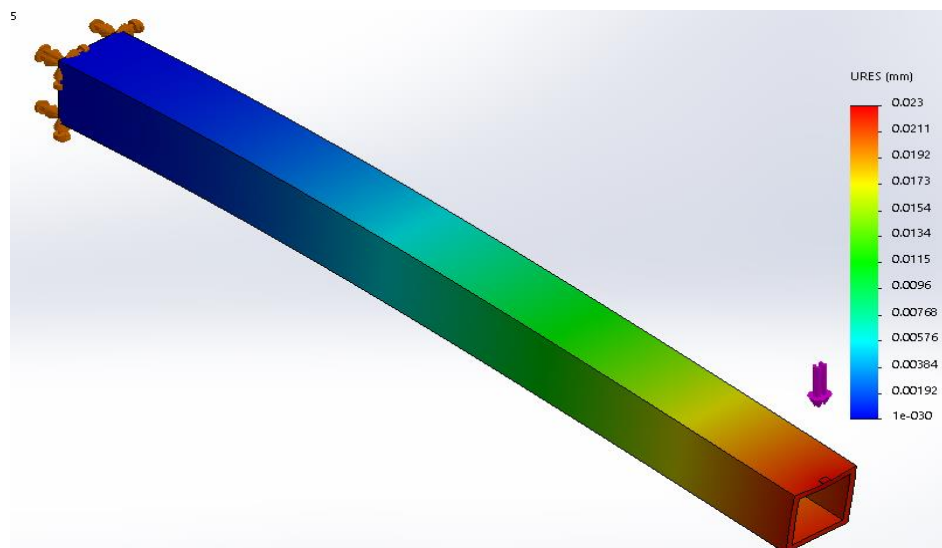


Figura 52 Deflexión máxima del soporte horizontal del sistema de visión e iluminación

Se comprueba que la deflexión es mínima, aproximadamente 0,023 mm (figura 52) , lo cual coincide con los calculos realizados manualmente.

2.16.2. Soporte Vertical

El soporte vertical se lo analizará directamente mediante el software SolidWorks, como una columna la cual estará sometida a una carga a compresión. El material utilizado es un tubo redondo de acero AISI 1020 de 22mm de diametro y 2mm de espesor con una longitus de 108cm. La masa de los componentes a soportar es de 420 gramos lo que constituye una carga de 4.41N.

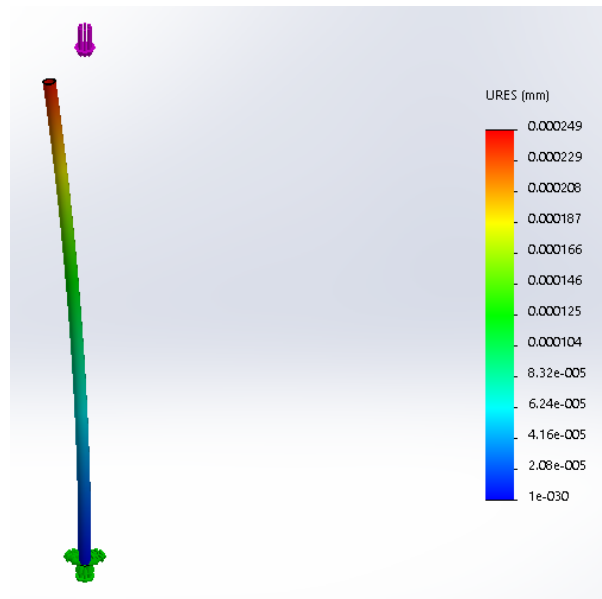


Figura 53 Análisis estático del soporte vertical del sistema de visión e iluminación

En la figura 53 se aprecia que la deflexión máxima es de 0.000249mm, lo que constituye un valor despreciable, comprobando que el material escogido soporta de manera correcta las cargas a las que se encuentra sometida.

2.16.3. Pieza de unión de soportes vertical y horizontal

El análisis de la pieza encargada de unir los soportes vertical y horizontal está realizado con material de plástico ABS, la carga que soporta es el peso del soporte horizontal que constituye un valor de 2.81N

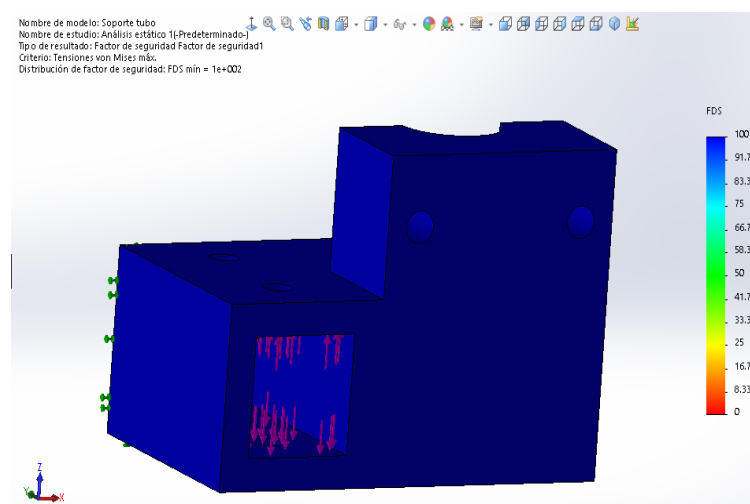


Figura 54 Análisis estático de la pieza encargada de la unión de los soportes vertical y horizontal

La figura 54 muestra los resultados del análisis estático y se verifica que el factor de seguridad es de 100, obteniendo como conclusión que dicho componente cumplirá correctamente su función.

2.16.4. Pieza de acople a la base de apoyo

Este componente es el que se va a encargar del soporte de todo el peso del sistema de visión e iluminación tanto como de los acoples superiores. La masa combinada del soporte vertical, horizontal, la cámara y la lámpara es de 1.522 Kg, constituyendo una carga de 14,93N.

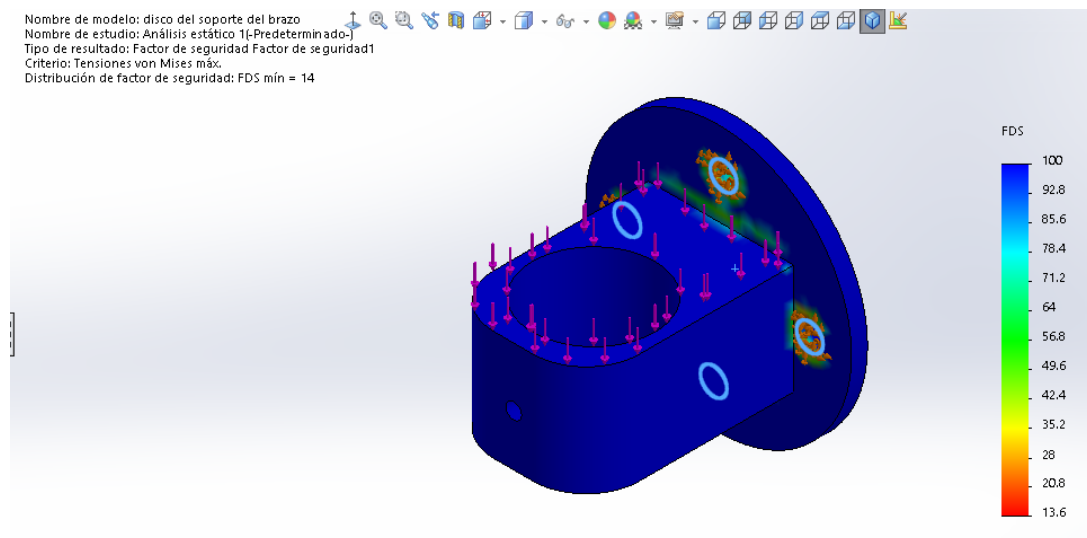


Figura 55 Análisis estático del acople a la base de apoyo

La figura 55 muestra el factor de seguridad que se obtiene al realizar el análisis estático, dicho valor es de 14 lo que constituye un diseño seguro utilizando como material plástico ABS.

2.16.5. Plástico ABS

“El ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno) es el nombre dado a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno)”. (Mariano, 2011)

Según (Universidad de Barcelona, 2016), el plástico ABS presenta las siguientes propiedades mecánicas:

- Módulo elástico:

- 1.1- 2.9 GPa
- Coeficiente de Poisson:
0.391 - 0.422
- Resistencia mecánica a la compresión:
31 - 86.2 MPa
- Resistencia mecánica a la flexión:
47.8 - 76 MPa
- Resistencia mecánica a la tracción:
27.6 - 55.2 MPa
- Tenacidad a fractura (K_{Ic}):
1.19 - 4.29 MPa·m^{1/2}
- Temperatura de fusión:
200 - 245 °C

“El ABS se puede mecanizar, pulir, lijar, limar, agujerear, pintar, pegar etc. con extrema facilidad, y el acabado sigue siendo bueno. Además, es extremadamente resistente y posee un poco de flexibilidad. Todo esto hace que sea el material perfecto para aplicaciones industriales.” (Escobar, 2013)

2.17. Sistema de Recolección del Puck (Disco)

Una vez realizado el ejercicio por parte del paciente, el mismo impulsará un puck hacia un robot el cual recoge el disco y lo ubica en una posición específica.

El proceso de recolección se puede realizar por medio de: un electroimán o una ventosa.

2.17.1. Alternativas de Selección para el Sistema de Recolección del Puck

a. Electroimán

“Es un imán artificial que consta de un núcleo de hierro dulce (el hierro en su estado más puro) y está rodeado por una bobina (un cable enrollado) por la que pasa una corriente eléctrica” (Balone, 2014)



Figura 56 Electroimán 12V

Fuente: (motion, 2014)

El funcionamiento se describe en la página web de (Balone, 2014):

Al hacer pasar la corriente por un conductor enrollado en un *núcleo de hierro*, se consigue que las moléculas que forman el núcleo se reordenen y alineen, teniendo la carga positiva y negativa de cada molécula en el mismo sentido. De esta forma, los *campos magnéticos* formados por todas las moléculas se suman dando lugar a una fuerza de atracción con otros imanes y objetos metálicos (ferromagnéticos).

b. Ventosa

“Son componentes que utilizan la diferencia de presión entre la atmósfera en el exterior de la ventosa y la cavidad de baja presión (vacío) en el interior para adherirse a superficies preferentemente poco porosas”. (Diprax, 2014)

“Para asegurar una correcta adhesión, aparte de la selección adecuada de la ventosa es imprescindible seleccionar correctamente el generador de vacío y emplear tubería y válvulas”. (Diprax, 2014)



Figura 57 Ventosas de copa

Fuente: (Diprax, 2014)

“*Ventosas planas (copa)*: Con forma redonda u ovalada, se utilizan para la manipulación de piezas planas, movimientos de planchas metálicas, alimentación de prensas, movimientos de materiales finos y deformables. Diámetros: desde \varnothing 4 mm hasta \varnothing 125 mm”. (Diprax, 2014)

2.17.2. Criterios de Selección para el Sistema de Recolección del Puck

A continuación se listan los criterios para la selección adecuada para el Sistema de Recolección del Puck:

- Costo
- Disponibilidad
- Confiabilidad
- Aplicabilidad
- Ruido generado

2.17.3. Selección de la alternativa adecuada para el Sistema de Recolección del Puck

Tabla 18
Criterios para selección del sistema de recolección del puck

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	4	2
Disponibilidad	4	3
Confiabilidad	3	4
Aplicabilidad	4	2
Ruido generado	4	2
SUMA	19	13

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 18, la mejor alternativa es la opción 1 para el sistema de recolección del puck, es decir usar un electroimán.

2.17.4. Diseño del acople para el sistema de recolección del puck

Una vez que se seleccionó al electroimán como sistema de recolección del puck o disco, se procede a diseñar en SolidWorks un acople en material ABS y realizar el análisis estático para saber si cumplirá con las condiciones de trabajo al implementarlo físicamente.

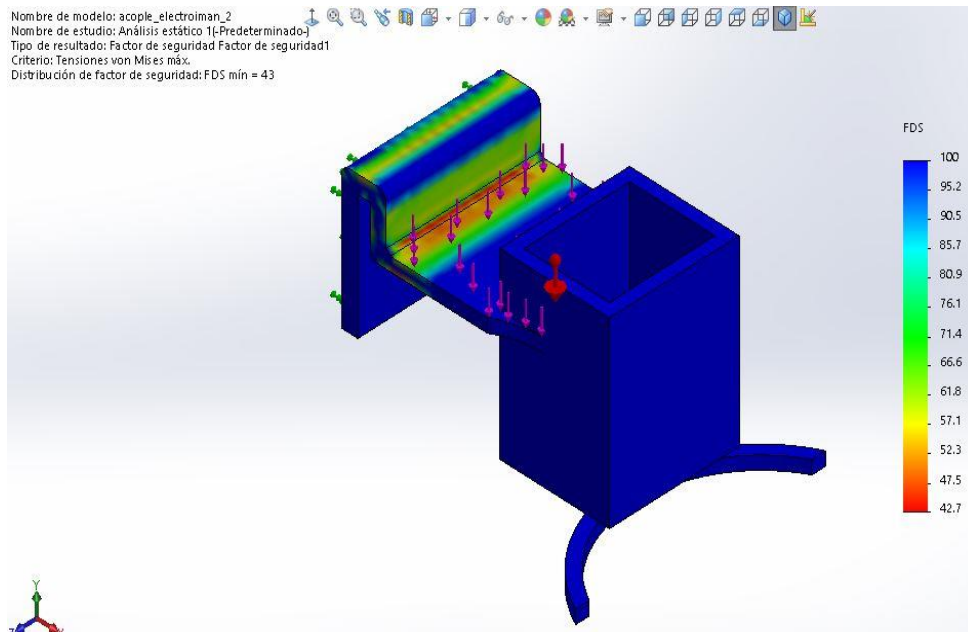


Figura 58 Análisis estático del acople del electroimán

Tal como se ilustra en la figura 58, el análisis estático da un resultado satisfactorio ya que se obtiene un factor de seguridad mínimo de 43 lo que significa que el diseño es seguro.

2.18. Selección del dispositivo de proyección de trayectorias

A fin de que la proyección de las trayectorias no interfiera con el desarrollo del ejercicio por parte del paciente se optó por mostrar las rutas desde la parte inferior del equipo.

Tomando en cuenta este requerimiento se usará un monitor de 19" Wide Screen debido a que es un tamaño adecuado en cuanto a la longitud de las trayectorias.



Figura 59 Monitor LG 19" Wide Screen

Fuente: (laps, 2011)

Las características del elemento se listan a continuación:

- “Tamaño de la pantalla: 19”
- Resolución: 1440X900
- Profundidad de color (número de colores): 16,7 millones
- sRGB: Sí
- Plug & Play: DDC2B
- Dimensiones: 448,36 (W) * 60.0 (D) * 299.95 (H)
- Peso con pie: 3,2 kg
- Entrada: VGA “ (LG, 2012)

2.19. Fuente de alimentación

Para el correcto funcionamiento tanto de los motores como del electroimán y los drivers controladores de los motores, se requiere una fuente de poder que proporcione 5 V y 12 V de corriente continua.



Figura 60 Fuente de poder ANERA AE-PSUM2065

Debido a esto se ha elegido una fuente de PC ANERA modelo: AE-PSUM2065 por sus dimensiones, a fin que se acomode dentro del bastidor, y otras características que se listan a continuación:

- Dimensiones: 13cmX10cmX6cm
- Potencia: 650W
- Entrada: 115-230VAC / 50Hz / 10-6ª
- Salida: 12VCC-34A / 5VCC-29ª

2.20. Integración final de los sistemas que conforman el equipo

Después de seleccionar cada uno de los componentes que conforman el sistema mecánico y el sistema de control del equipo de Neurorehabilitación, se muestra a continuación en las figuras 61 y 62, un diseño en 3D del equipo incorporando todos sus elementos.

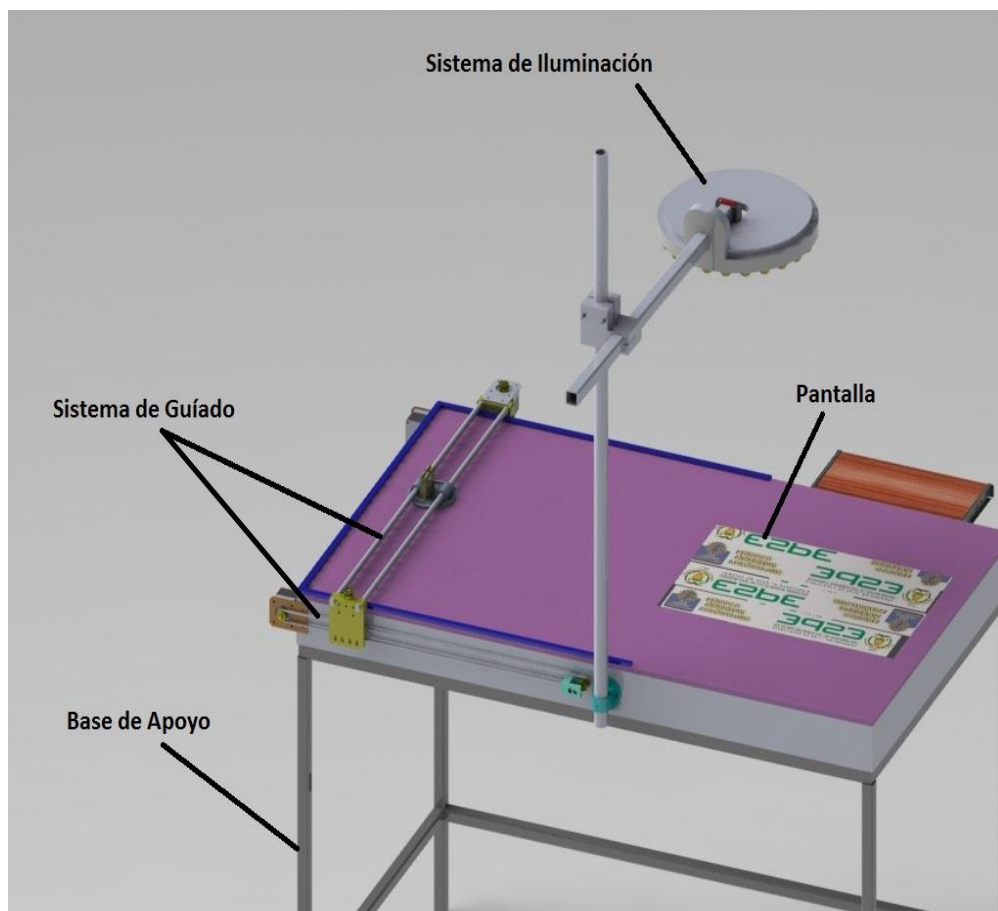


Figura 61 Vista 3D con los componentes implementados (superior)

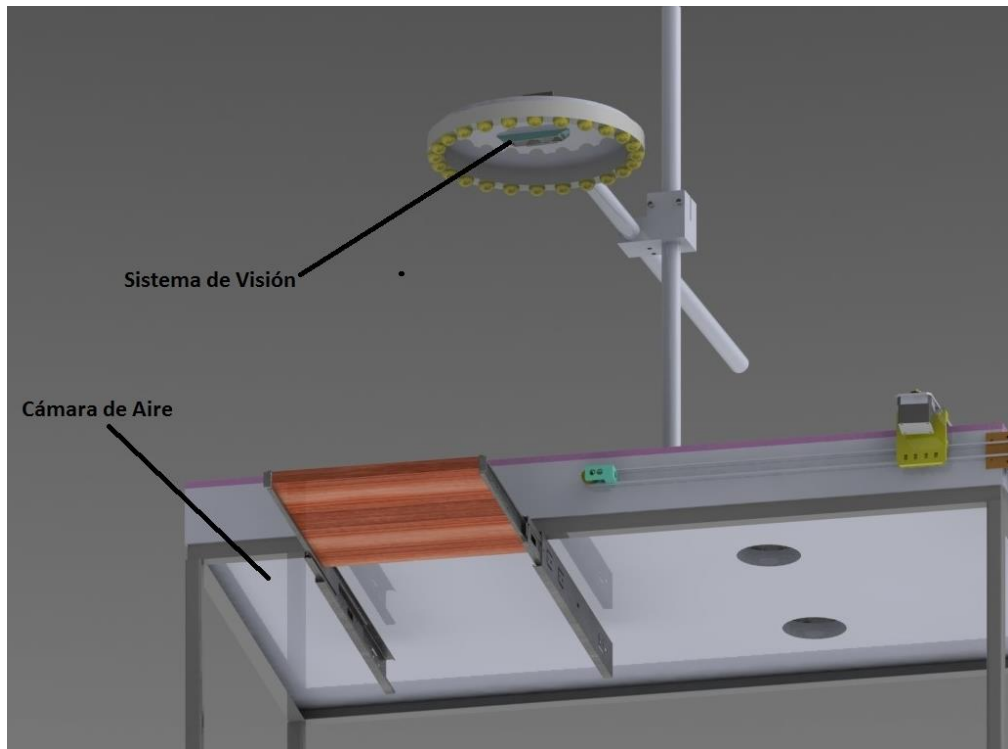


Figura 62 Vista 3D con los componentes implementados (inferior)

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Construcción de la base de apoyo

Una de las partes principales que se encuentran en el presente sistema de neurorehabilitación es la construcción de la Base de Apoyo en la cual van a ir incorporados todos los componentes que conforman la máquina.



Figura 63 Plancha de madera y acrílico a cortar

El corte que se realiza tanto en la lámina de acrílico, como en la plancha de madera para la base del bastidor, debe ser de 100x60 cm de acuerdo a las especificaciones de diseño, con el fin de obtener un corte de mayor precisión se lo realiza mediante corte laser (figura 64).



Figura 64 Corte mediante laser

La plancha de acrílico debe tener un orificio para colocar un monitor de 19 pulgadas en el cual se proyectaran las diferentes trayectorias y debe tener las siguientes medidas mostradas en la figura 65.

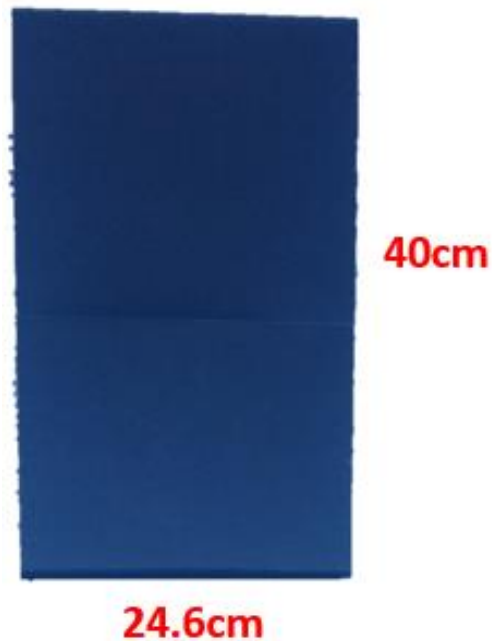


Figura 65 Medidas del orificio para un monitor de 19 pulgadas

Además del orificio del monitor, la plancha de acrílico cuenta con una serie de agujeros de 1.5 mm de diámetro, los mismos que se encuentran a una separación de 2.5 cm (figura 66) y ocupan un área de 54x60 cm². Estos agujeros se realizan con el objetivo de obtener aire a presión para que el disco se deslice con poca fricción y de una manera rápida.

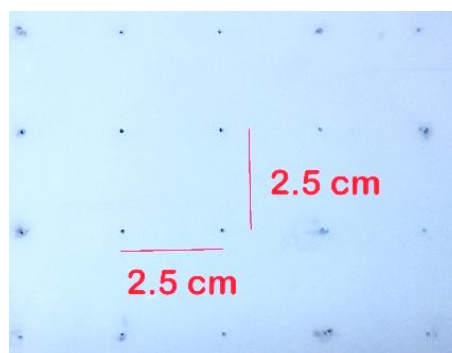


Figura 66 Separación entre orificios para la salida del aire

En el bastidor inferior de madera se realizan 2 orificios de 7.8 cm de diámetro tal como se muestra en la figura 67, los cuales serán destinados para los ventiladores que se encargaran de la absorción de aire desde el exterior hacia la cámara interna.

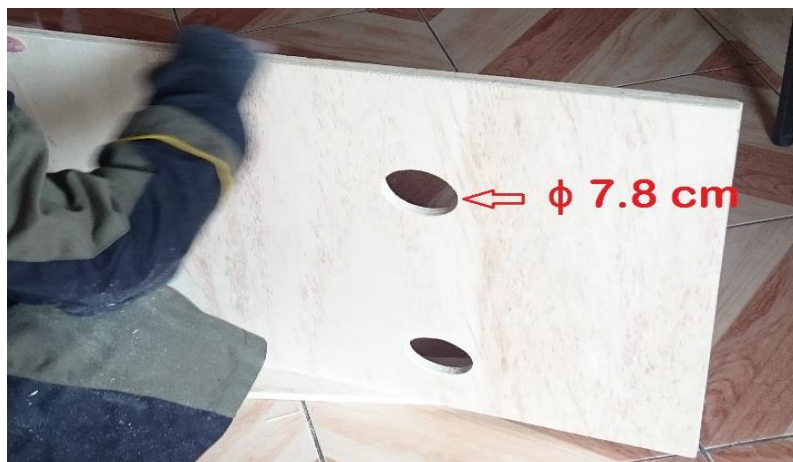


Figura 67 Agujeros para los ventiladores

Montar la plancha de madera de 100x60cm con las barreras tal como se muestra en la figura 68, teniendo cuidado en la alineación de a cada esquina, se recomienda usar una prensa para obtener un mejor resultado. Usar tonillos 3x30mm para la unión de las barrederas.



Figura 68 Montaje del bastidor con las barrederas

En la parte posterior colocar un tornillo en los extremos y otro en la mitad para obtener un refuerzo central como se indica en la figura 69.



Figura 69 Refuerzo central posterior mediante tornillos 3x30mm

Para asegurar el monitor a la cámara de aire se colocan 2 apoyos de 8x16cm y otro apoyo de 8x46cm que va a estar ubicado a 47cm del extremo (figura 70), se debe comprobar que el monitor encaje de manera correcta para luego proceder a asegurar los soportes mediante cola con tornillos 3x30mm.



Figura 70 Colocación de apoyos para el monitor

Colocar 2 apoyos de 20x8x2.5 cm en la parte inferior (figura 71), con la finalidad de nivelar el monitor hasta la altura de 8cm que corresponde a la cámara de aire.

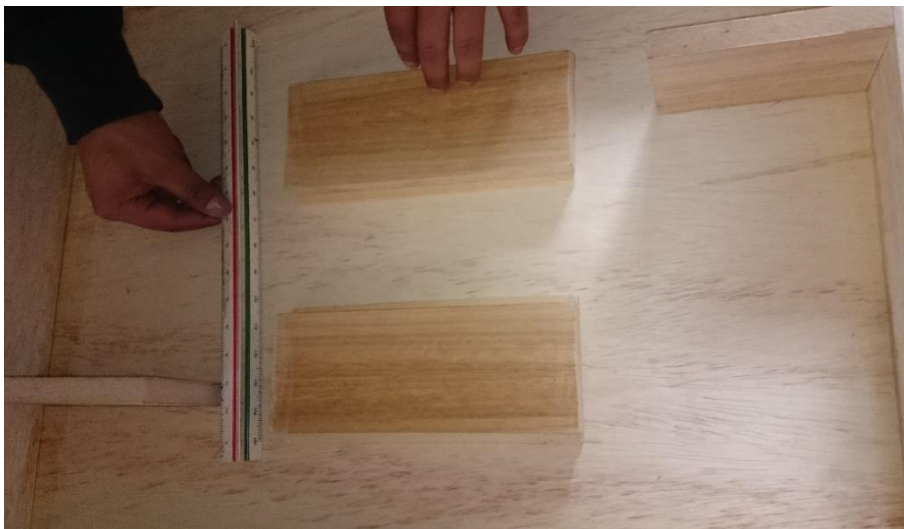


Figura 71 Colocación de apoyos inferiores para el monitor

En la figura 72 se procede a colocar fomix alrededor de todos los bordes superiores, esto se lo realiza para evitar fugas de la cámara de aire cuando se coloque la cubierta superior de acrílico.



Figura 72 Colación de fomix

Para limitar el área por la cual se va a mover el robot y el puck se colocan listones de madera de las siguientes medidas: 2 listones de 45x2x1.5 cm, 1 listón de 50x2x1.5 cm y 2 listones de 5x2x1.5 cm. Para asegurar se utiliza una prensa y mediante un taladro de se realiza 3 agujeros en cada listón para colocar tornillos 3x30mm (figura 73).



Figura 73 Fijación de los límites del robot

3.2. Elaboración de la estructura de base metálica

La estructura que va a soportar el peso de todos los componentes debe ser tanto resistente como ligera, de acuerdo a la selección realizada anteriormente en el cap. 2, se procede a realizar una mesa metálica fija para lo cual se realiza primero el diseño en un software especializado como Solidworks tal como se muestra en la figura 74.



Figura 74 Diseño de la estructura de soporte

Se utilizó tubo cuadrado de 2x2 cm para la fabricación de las columnas y perfil en L también de 2x2 cm (figura 75), cuenta también con un cajón replegable para la colocación de una laptop de 14 pulgadas desde la cual se supervisará el funcionamiento de todo el equipo.



Figura 75 Construcción de la estructura metálica

3.3. Implementación de las piezas impresas

El siguiente paso después de imprimir las piezas es la colocación de los acoples a los motores tal como se muestra en la figura 76 (2 motores para el eje Y y 1 para el eje x), el material utilizado para las impresiones es ABS por ser un material que presta las condiciones mecánicas necesarias (ver cap. 2).

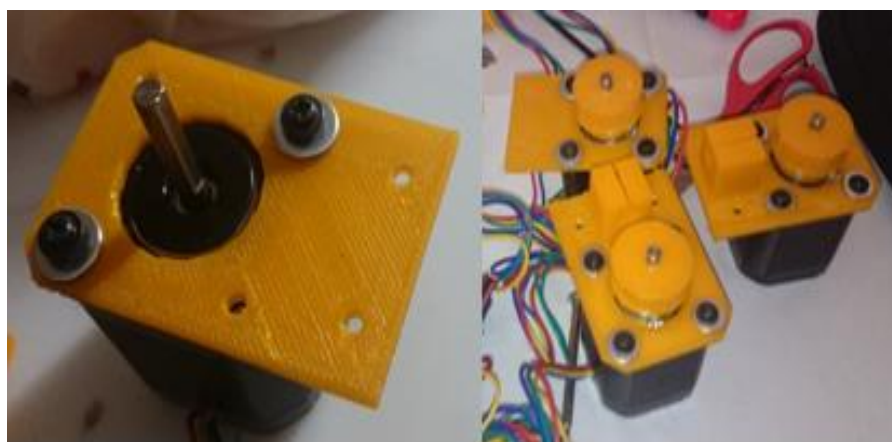


Figura 76 Colocación de acoples a los motores

3.4. Reconocimiento de las bobinas de los motores

Los motores a pasos por lo general no tienen señalados sus terminales para saber que cables están conectados a cada bobina, sin embargo se puede aplicar una técnica muy simple que consiste en conectar un diodo led con dos cable del motor seleccionados al azar, posteriormente se gira el rotor, si los cables escogidos corresponden a una bobina entonces el led se encenderá como se muestra en la figura 77, caso contrario escoger otra combinación de cables.

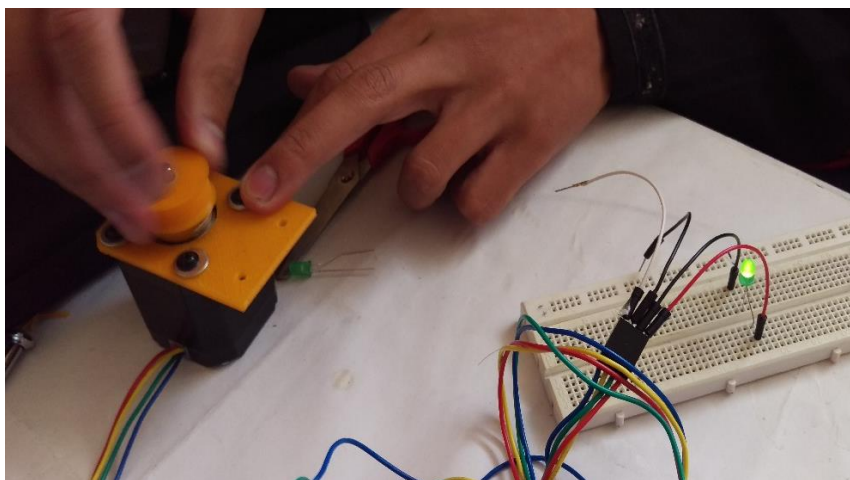


Figura 77 Reconocimiento de las bobinas de los motores a pasos

3.5. Implementación del eje Y

La implementación del eje Y es muy importante debido a que no solo soportará su propio peso sino que también toda la carga que genera el eje X. En primer lugar se deben colocar 2 rodamientos lineales LM8UU (figura 78) en cada soporte los cuales posteriormente sujetaran al eje X.



Figura 78 Sujeción de rodamientos lineales en los soportes para el eje Y

El recorrido en el eje Y va a tener una longitud útil de 49 cm, pero para cortar los ejes de acero inoxidable de 8mm de diámetro se los realiza con una longitud de 52cm (figura 79), debido a que 1.5cm sirven como sujeción en cada extremo.



Figura 79 Corte de los ejes Y

En la figura 80 se observa la manera correcta de fijar los dos motores que se encargarán del movimiento a lo largo del eje Y. Cada motor debe estar ubicado a 2mm del extremo del bastidor. Con la ayuda de un taladro realizar dos agujeros de 2mm de diámetro y por medio de tornillos 2x20mm fijar correctamente a la mesa.



Figura 80 Fijación de los motores para el eje Y

En el otro extremo de igual manera fijar la pieza que servirá de soporte para el eje de acero inoxidable por medio de tornillos 2x20mm. Posteriormente

insertar las piezas con los rodamientos lineales incorporados e insertarlos junto con el eje tal como se muestra en la figura 81.



Figura 81 Implementación de las piezas a moverse en el eje Y

3.6. Implementación del eje X

En el eje X se va a encontrar ubicado el robot que es quien se encargará de realizar los movimientos sobre la cámara de aire para atrapar el puck cuando sea el momento adecuado. Sujetar los rodamientos mediante sujetadores plásticos y verificar que queden fijas sin fugas (figura 82).



Figura 82 Montaje de la base del robot con sus rodamientos

Colocar los ejes de 65cm de longitud entre los rodamientos del robot y verificar que se deslice con poca fricción (figura 83), para luego continuar con el montaje sobre la superficie de la mesa



Figura 83 Implementación de las piezas a moverse en el eje Y

Realizar el montaje del robot sobre la superficie con agujeros y comprobar manualmente que se mueve correctamente, una vez verificado que todo está bien, fijar los soportes del eje Y mediante tornillos 2x20mm, pero asegurando que los ejes del eje X queden 2mm (figura 84) sobre los listones de la mesa que sirven como límites tanto del robot como del puck.

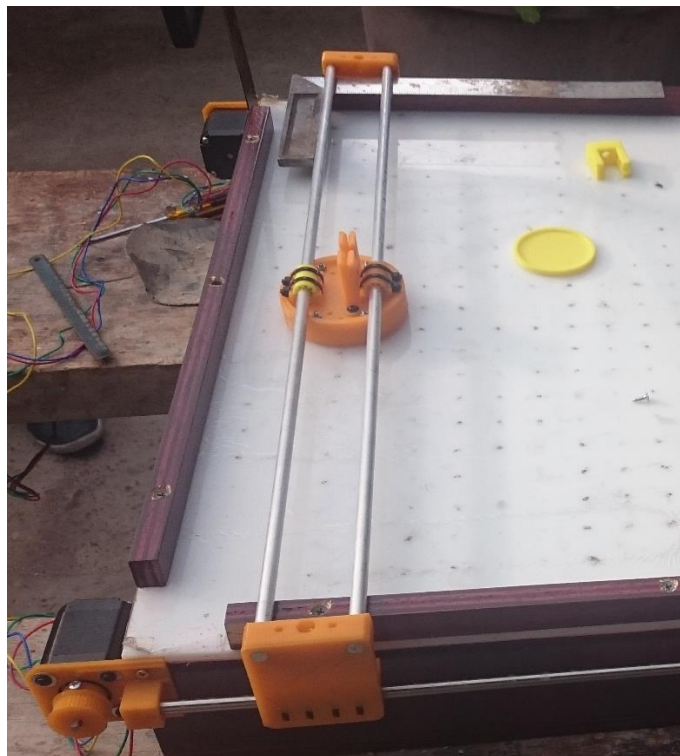


Figura 84 Implementación del eje X

3.7. Implementación del sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración es una cámara de aire en el interior del bastidor, es necesario colocar 2 ventiladores en la parte inferior con la finalidad de extraer aire hacia el interior, se puede utilizar ventiladores reciclados de 12V de fuentes de PC que ya no se utilicen (figura 85). Los agujeros deben ser de 7.8 cm de diámetro lo cual encaja perfectamente con las dimensiones de los ventiladores.



Figura 85 Montaje de ventiladores

Nota: Colocar fomix alrededor de cada ventilador tal como se muestra en la figura 86, con la finalidad de evitar fugas de aire y asegurarse de que no interfieran con las hélices que generan la ventilación.



Figura 86 Montaje de ventiladores

3.8. Implementación del Sistema de Visión e Iluminación

La posición de la cámara es muy importante ya que debe abarcar toda el área de trabajo que está comprendida por el robot, el puck y el monitor. Con el objetivo de aprovechar la estructura metálica de una lámpara led, se procede a desarmar a la misma para posteriormente realizar un agujero de la misma medida del lente de la cámara ps3 (figura 87).

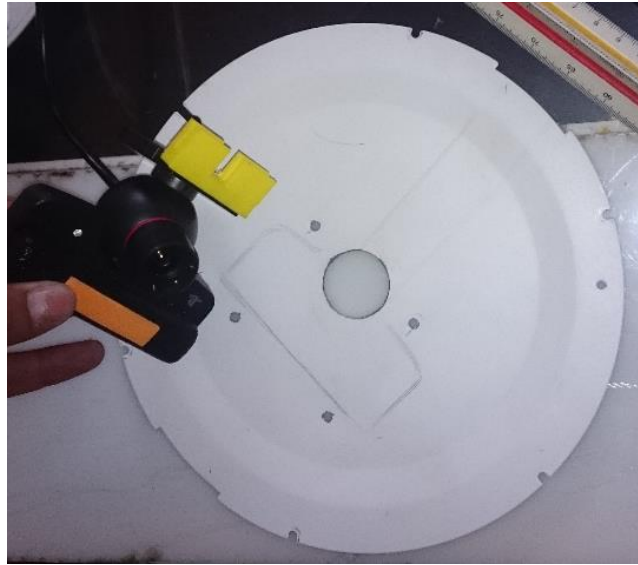


Figura 87 Perforación para el montaje de la cámara ps3

Una vez comprobado que el lente encaja perfectamente en el agujero, realizar cuatro agujeros con una broca de 5mm alrededor de la cámara para finalmente asegurarla mediante sujetadores plásticos (figura 88)



Figura 88 Montaje de la cámara

Como siguiente paso realizar 2 agujeros en la base de la lámpara y en el tubo de aluminio para colocar 2 tornillos y asegurarlos tal como se muestra en la figura 89.



Figura 89 Soporte para la lámpara

Colocar los paneles de la lámpara asegurando la cámara de manera que solo quede visible el lente (figura 90)



Figura 90 Implementación de la cámara e iluminación

Realizar el montaje del bastidor sobre la estructura metálica verificando que coincidan las medidas e incorporar también el monitor como se muestra en la figura 91.



Figura 91 Implementación de la cámara e iluminación

Insertar el tubo de aluminio redondo de 22mm de diámetro en el orificio vertical y el tubo cuadrado también de 22mm como soporte horizontal de la cámara como indica la figura 92.

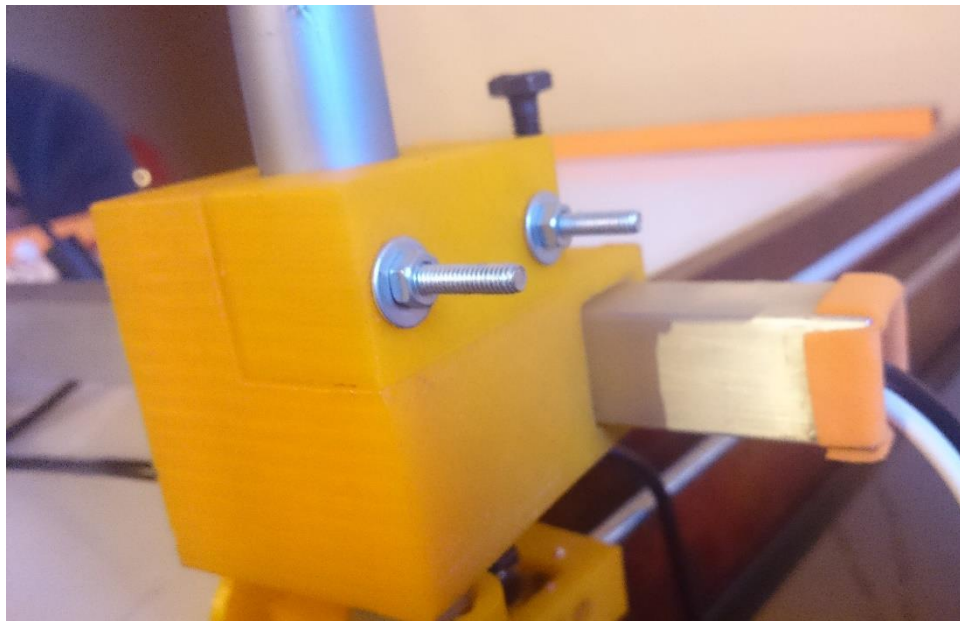


Figura 92 Montaje del soporte del sistema de visión e iluminación

Por medio de 4 tornillos 2x20mm (figura 93) asegurar el soporte vertical del sistema de visión en el extremo donde termina el eje Y. Comprobar que el soporte esté correctamente nivelado de manera que al colocar el tubo se forme un ángulo exactamente de 90 grados.

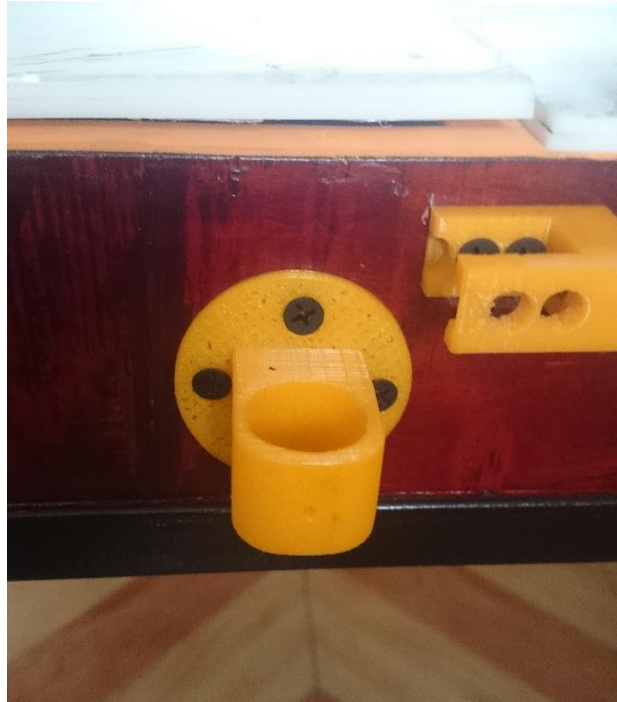


Figura 93 Soporte vertical

3.9. Calibración de los drivers A4988

Los drivers son los encargados de suministrar la corriente necesaria para que los motores a pasos funcionen correctamente sin calentarse. Cada A4988 tiene un potenciómetro que sirve para ajustar el voltaje de referencia, este valor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = 2.5 V_R \quad \text{Ec. 21}$$

$I = \text{corriente del motor} = 1.5 \text{ A}$

$2.5 = \text{constante de cálculo}$

$$V_R = \frac{I}{2.5}$$

$$V_R = \frac{1.5}{2.5}$$

$$V_R = 0.6 \text{ V}$$

Por lo tanto en cada driver se debe ajustar el voltaje de referencia a 0.6V como indica la figura 94.

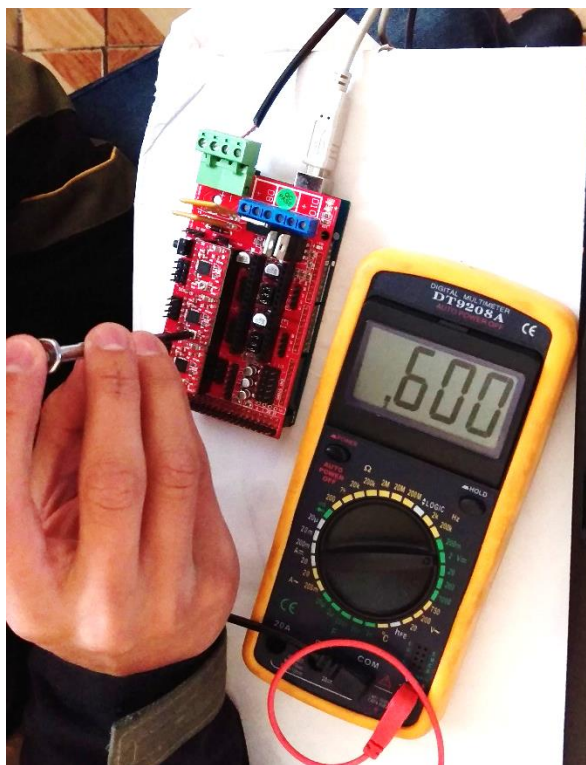


Figura 94 Calibración de los drivers A4988

3.10. Implementación del acople para el sistema de recolección del puck

Una vez impresa el acople para el sistema de recolección del puck, se inserta el electroimán en el orificio asignado, para sujetar el acople al robot se utiliza correas plásticas, posteriormente se comprueba que quede al mismo nivel del robot tal como se muestra en la figura 95.

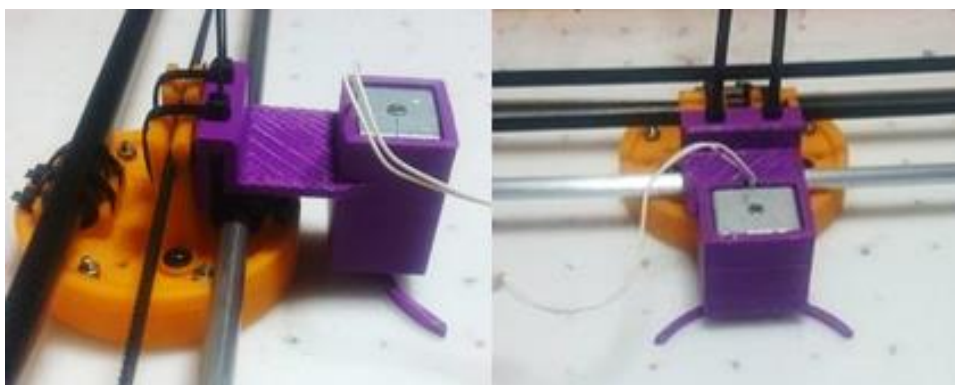


Figura 95 Implementación al robot del acople para el electroimán

3.11. Elaboración de PCBs

El diseño de los PCBs se lo realiza en el programa ARES teniendo en cuenta que se debe respetar todas las normas correspondientes.

3.11.1. PCB de los drivers A4988

La placa del circuito de los drivers A4988 debe incluir una bornera para la alimentación de 12 V que necesitan los motores a pasos, otra para la alimentación propia de los drivers que es de 5V y la GND. Colocar también un condensador de 100uF. La figura 96 muestra el diseño del PCB mientras que la figura 97 indica ya la implementación con todos los componentes.

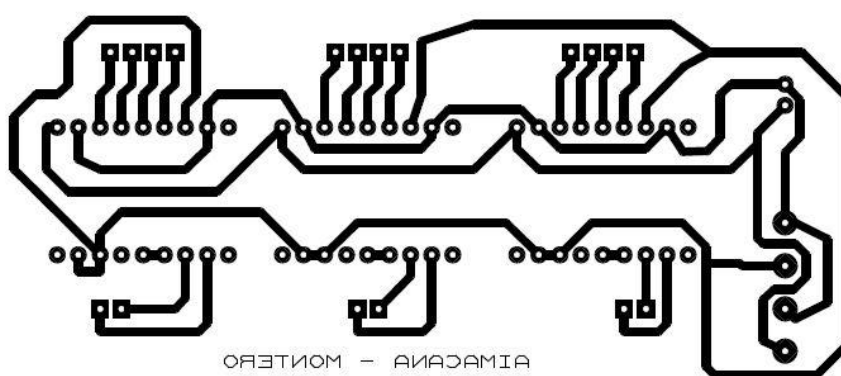


Figura 96 PCB de los drivers A4988

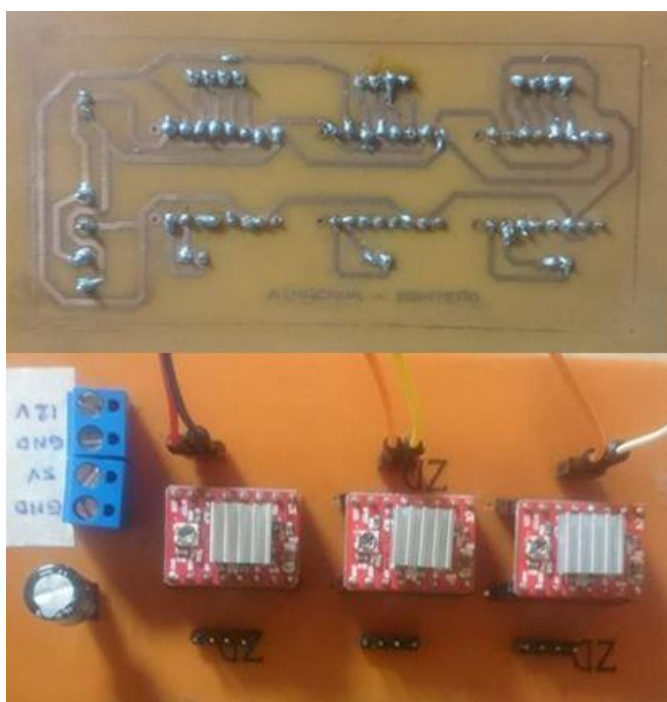


Figura 97 PCB drivers A4988 con componentes implementados

3.11.2. PCB del Relé para el electroimán

El relé es el encargado de accionar el electroimán para sujetar el disco o puck, por tal razón se necesita una bornera con alimentación de 12V para la bobina, otra de 5V para la señal desde el arduino y GND. La figura 98 muestra el diseño y la figura 99 la implementación con los componentes.

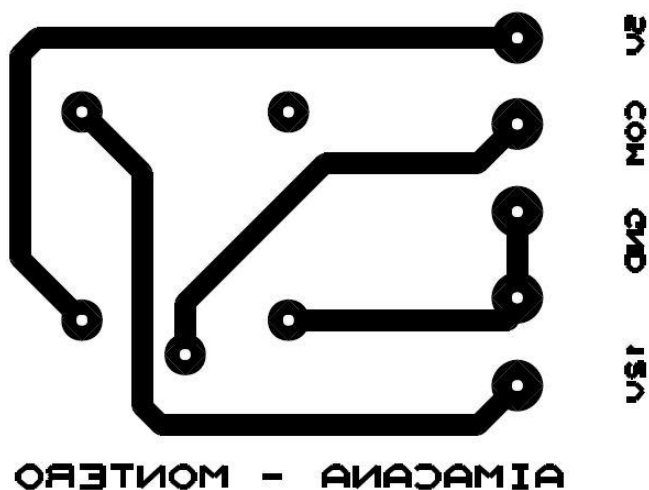


Figura 98 PCB relé del electroimán



Figura 99 PCB electroimán con componentes implementados

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Pruebas De Movimiento Y Precisión De Motores

Mediante esta prueba se busca probar el sistema de recolección del puck o disco, con la ayuda de un programa de Arduino (ver Anexo A) en el que se controla la velocidad y el número de pasos de los motores del sistema, se podrán también a prueba los drivers A4988 controladores de los motores a pasos tanto en la corriente que proporcionan para generar un torque adecuado en el motor como en la configuración que controla la resolución el movimiento.

Dos factores a tomar en cuenta en el programa de Arduino (figura 100) son:

- La resolución de pasos (1600)
- 1 revolución es igual a 84mm

```
#define CAM_PIX_TO_MM 1.6689
#define RESOLUCION_PASOS 1600

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int steps = 7;
int direccion = 6;
int stepsYizq = 8;
int direccionYizq = 9;
int stepsYder = 13;
int direccionYder = 11;
int reset = 10;
int resetY = 3;
int pxrev=RESOLUCION_PASOS;
double pasos;
double pasosY;
int rev=84;
int deja=60;
```

Figura 100 Parámetros importantes en el programa de Arduino

4.1.1. Movimiento del motor del eje X

Para esta prueba se han colocado cuatro marcas como se muestra en la figura 101, cada una con una separación de 10cm entre ellas como ilustra la figura 102, logrando una distancia total de 40 cm.



Figura 101 Recorrido total del eje X para las pruebas de movimiento



Figura 102 Separación de 10 cm entre marcas

En el monitor serial de Arduino se ingresará la distancia entre 100 y 400 mm (al dar ENTER aparece el número de pasos que dará el motor), se toma

datos del tiempo que tarda el robot recolector en alcanzar la distancia indicada a la velocidad que se ha establecido para el funcionamiento del equipo y se verifica si existe error en la distancia que recorre el robot.

a. *Prueba con Distancia de 10 cm*

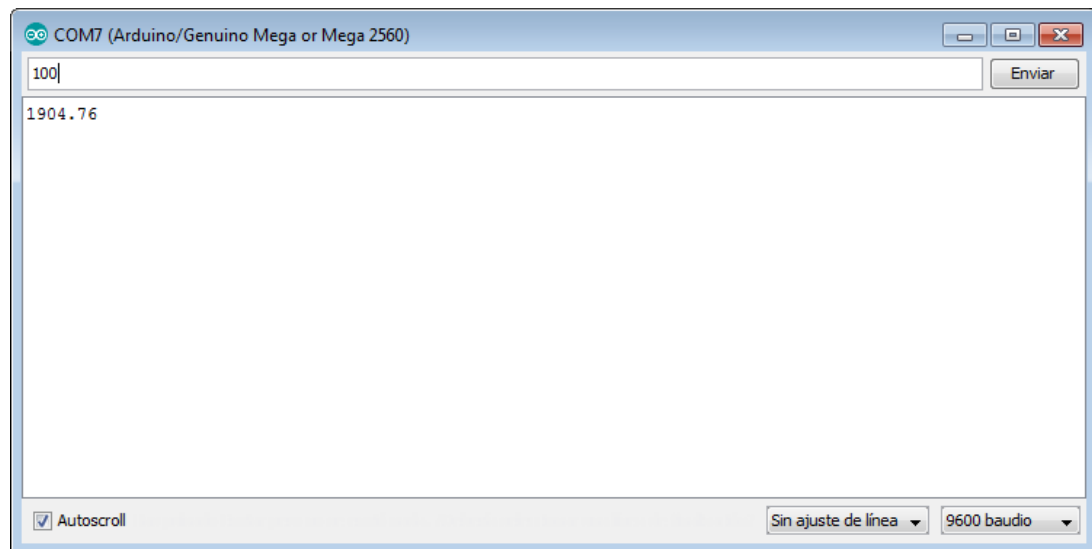


Figura 103 Ingreso de 100 mm en el monitor serial de Arduino

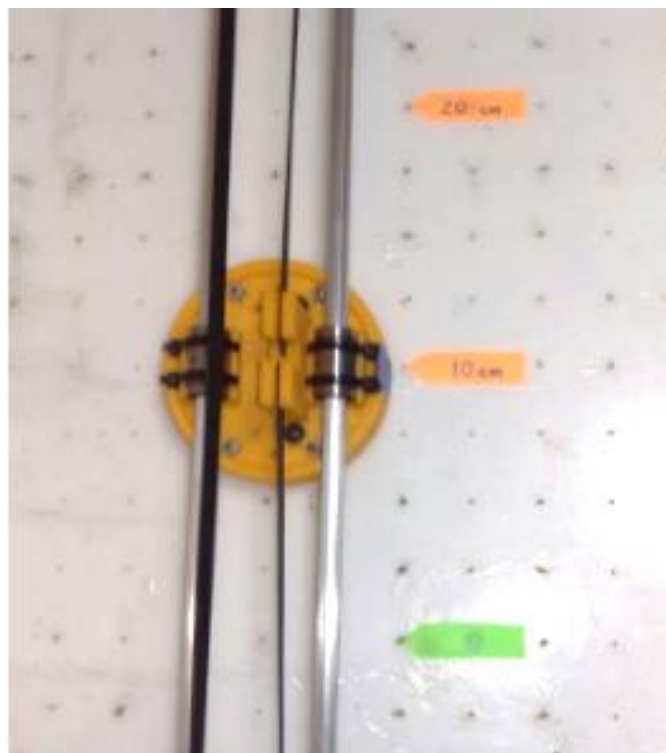


Figura 104 Robot alcanzando la distancia de 10 cm

Tabla 19
Resultados prueba de movimiento a 10 cm

N° de prueba	Tiempo (s)	Distancia alcanzada (cm)	Error en distancia (%)
1	0,8	10	0
2	0,7	10	0
3	0,8	10	0

La tabla 19 muestra los tiempos medidos en 3 pruebas, dando un promedio aproximado de 0.8 segundos en 10 cm.

b. Prueba con Distancia de 20 cm

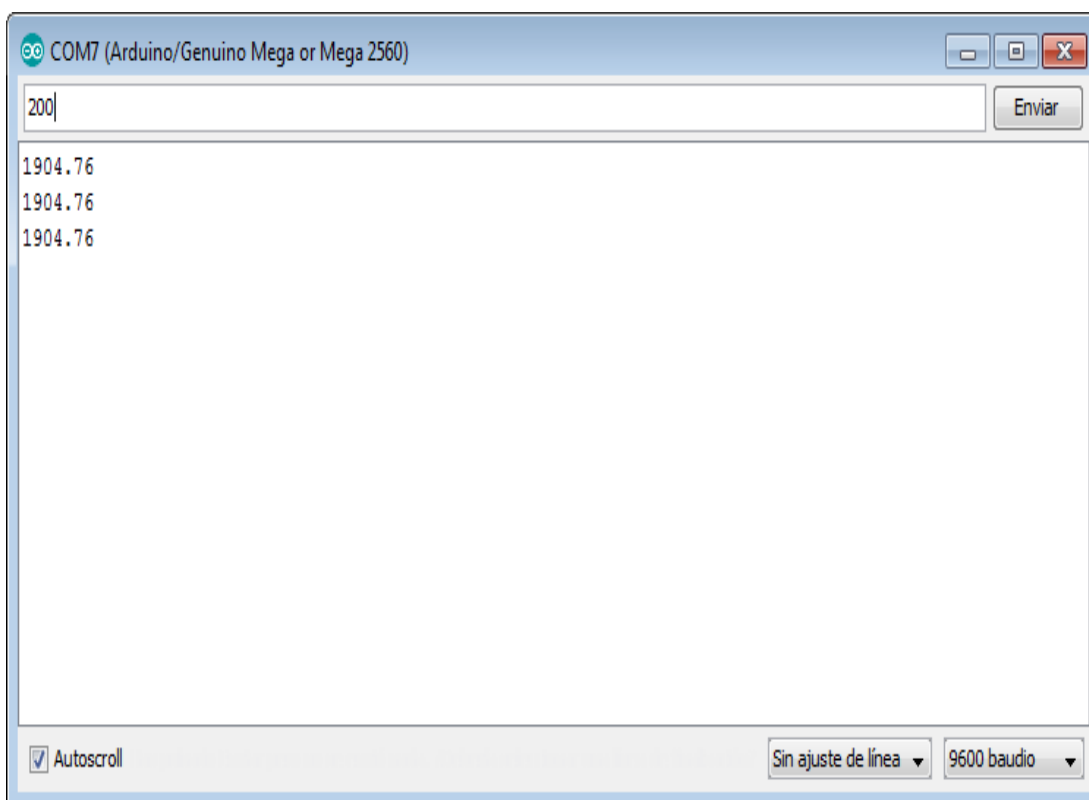


Figura 105 Ingreso de 200 mm en el monitor serial de Arduino



Figura 106 Robot alcanzando la distancia de 20 cm

Tabla 20
Resultados prueba de movimiento a 20 cm

N° de prueba	Tiempo (s)	Distancia alcanzada (cm)	Error en distancia (%)
1	1,6	20	0
2	1,6	20	0
3	1,7	20	0

En una distancia de 20 cm se tiene un tiempo aproximado de 1.6 segundos tal como muestra la tabla 20 después de tres pruebas realizadas del motor del eje X.

c. Prueba con Distancia de 30 cm

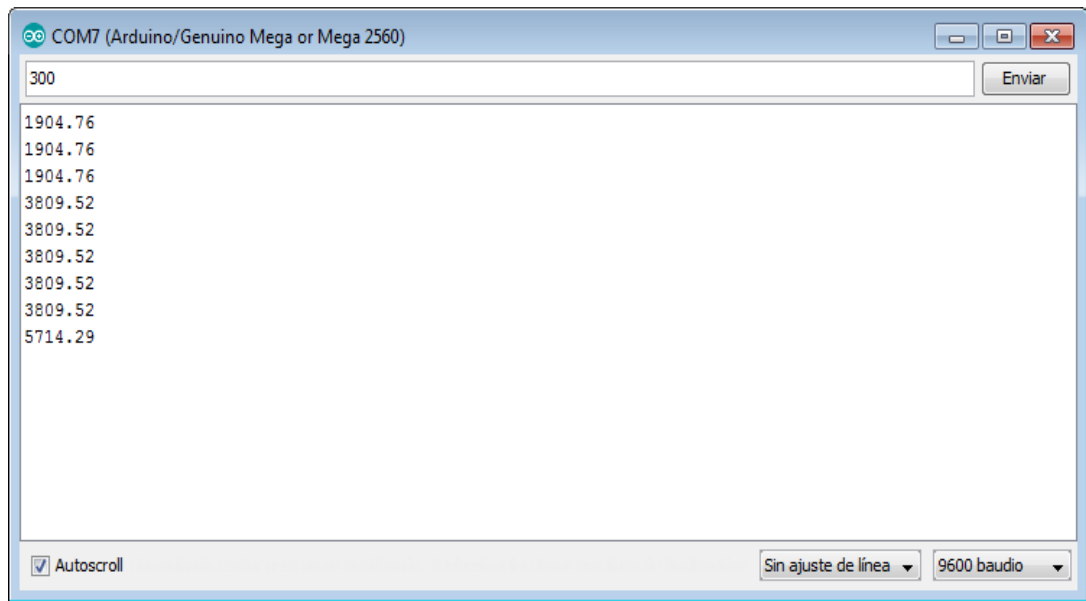


Figura 107 Ingreso de 300 mm en el monitor serial de Arduino

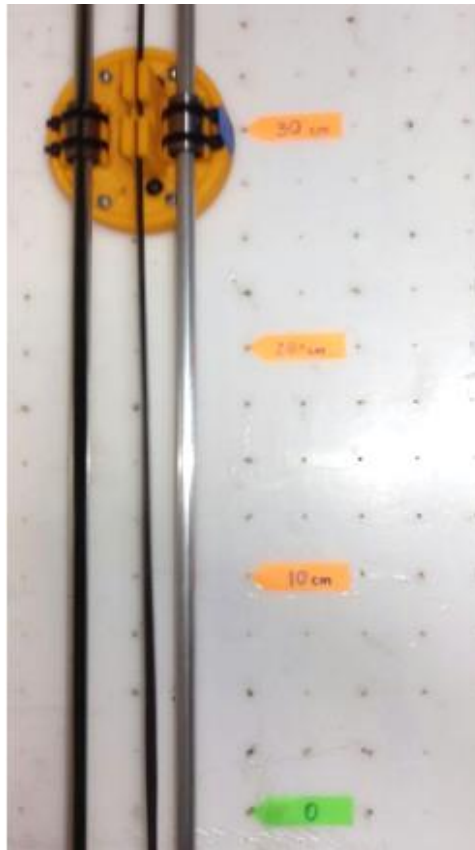


Figura 108 Robot alcanzando la distancia de 30 cm

Tabla 21
Resultados prueba de movimiento a 30 cm

N° de prueba	Tiempo (s)	Distancia alcanzada (cm)	Error en distancia (%)
1	2,4	30	0
2	2,4	30	0
3	2,4	30	0

La tabla 21 muestra los datos al realizar tres pruebas del motor del eje X, obteniendo un movimiento de 30cm en 2.4 segundos sin presentar error en la distancia.

d. Prueba con Distancia de 40 cm

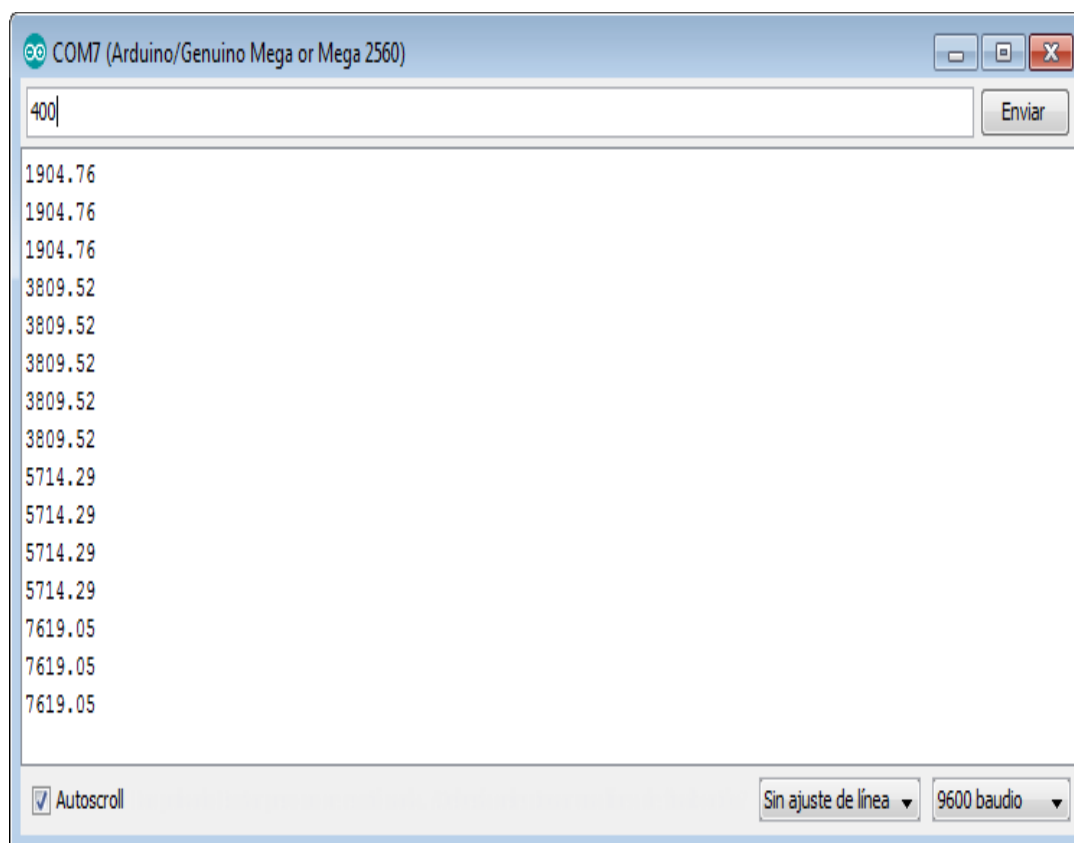


Figura 109 Ingreso de 400 mm en el monitor serial de Arduino



Figura 110 Robot alcanzando la distancia de 40 cm

Tabla 22
Resultados prueba de movimiento a 40 cm

N° de prueba	Tiempo (s)	Distancia alcanzada (cm)	Error en distancia (%)
1	3,2	40	0
2	3,2	40	0
3	3,2	40	0

Una distancia de 40cm se recorre en un tiempo promedio de 3.2 segundos en el eje X como indica la tabla 22.

4.1.2. Movimiento del motor del eje Y

Para esta prueba se han colocado tres marcas, cada una con una separación de 10cm entre ellas, logrando una distancia total de 30 cm.

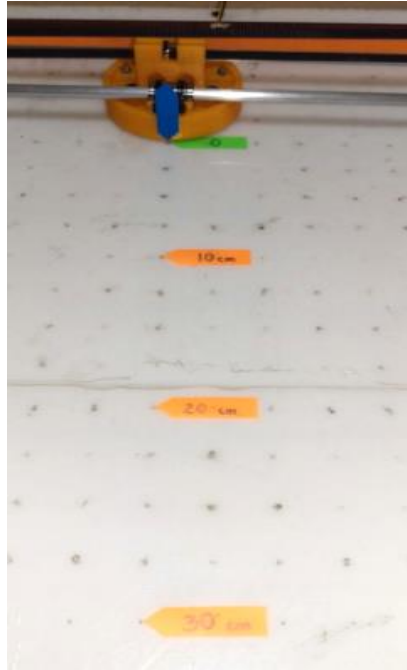


Figura 111 Recorrido total del eje Y para las pruebas de movimiento

En el monitor serial de Arduino se ingresará la distancia entre 100 y 300 mm, se toma datos del tiempo que tarda el robot recolector en alcanzar la distancia indicada a la velocidad que se ha establecido para el funcionamiento del equipo y se verifica si existe error en la distancia que recorre el robot.

a. Prueba con Distancia de 10 cm

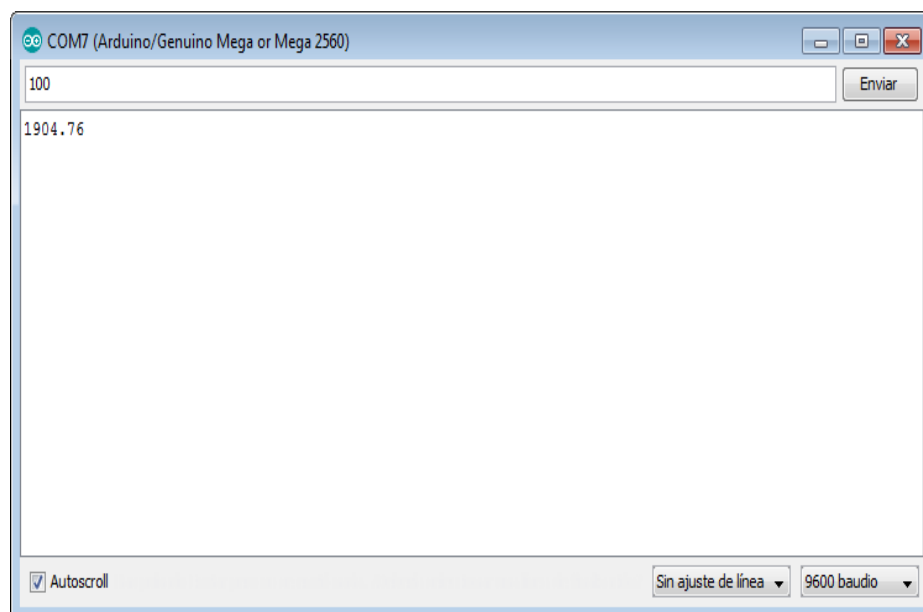


Figura 112 Ingreso de 100 mm en el monitor serial de Arduino

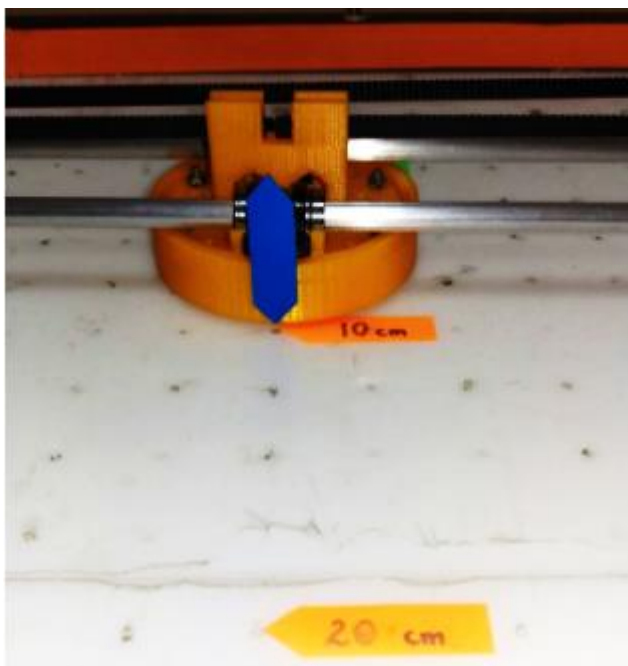


Figura 113 Robot alcanzando la distancia de 10 cm

La figura muestra que el robot alcanza la distancia de 10cm exactamente por lo tanto no existe error, esto sucede ya que la resolución de paso de encuentra a $1/8$.

Tabla 23
Resultados prueba de movimiento a 10 cm

N° de prueba	Tiempo (s)	Distancia alcanzada (cm)	Error en distancia (%)
1	1	10	0
2	0,9	10	0
3	0,9	10	0

El tiempo aproximado en recorrer 10 cm en el eje Y es de 0.9 segundos (tabla 23). Al igual que en el eje X no existe error en la distancia.

b. Prueba con Distancia de 20 cm

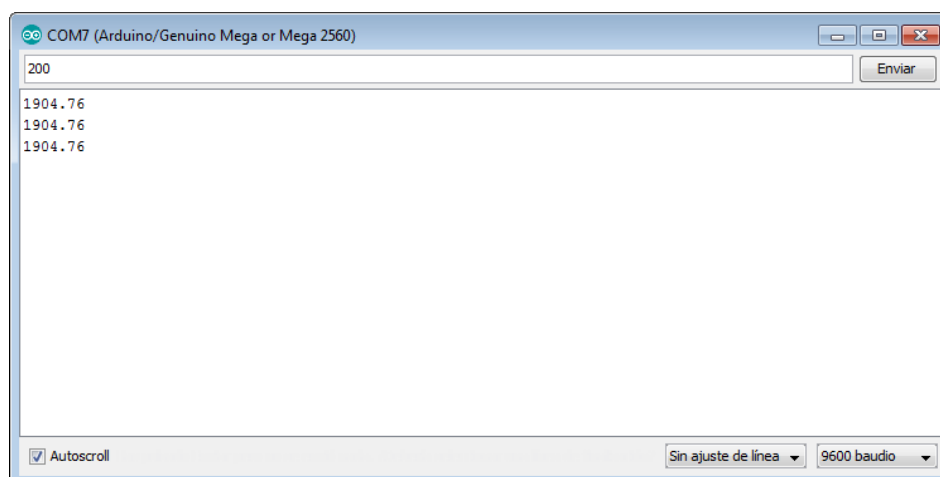


Figura 114 Ingreso de 200 mm en el monitor serial de Arduino

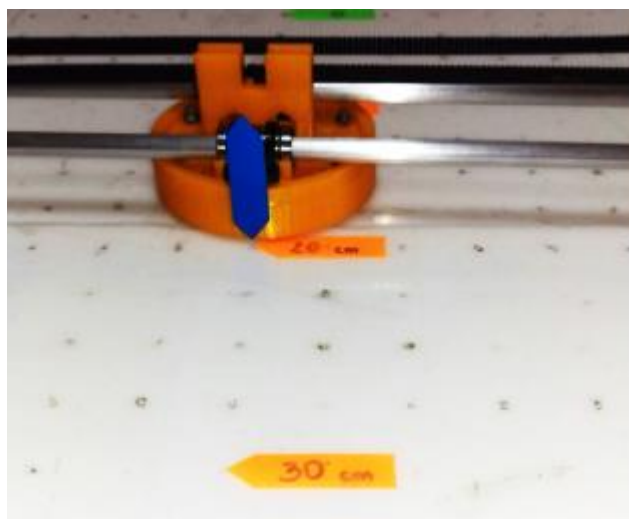


Figura 115 Robot alcanzando la distancia de 20 cm

Tabla 24
Resultados prueba de movimiento a 20 cm

N° de prueba	Tiempo (s)	Distancia alcanzada (cm)	Error en distancia (%)
1	2	20	0
2	2,2	20	0
3	2	20	0

La tabla 24 muestra los datos de tres pruebas del eje Y, obteniendo como conclusión que en una distancia de 20cm se lleva un tiempo aproximado de 2 segundos.

c. Prueba con Distancia de 30 cm

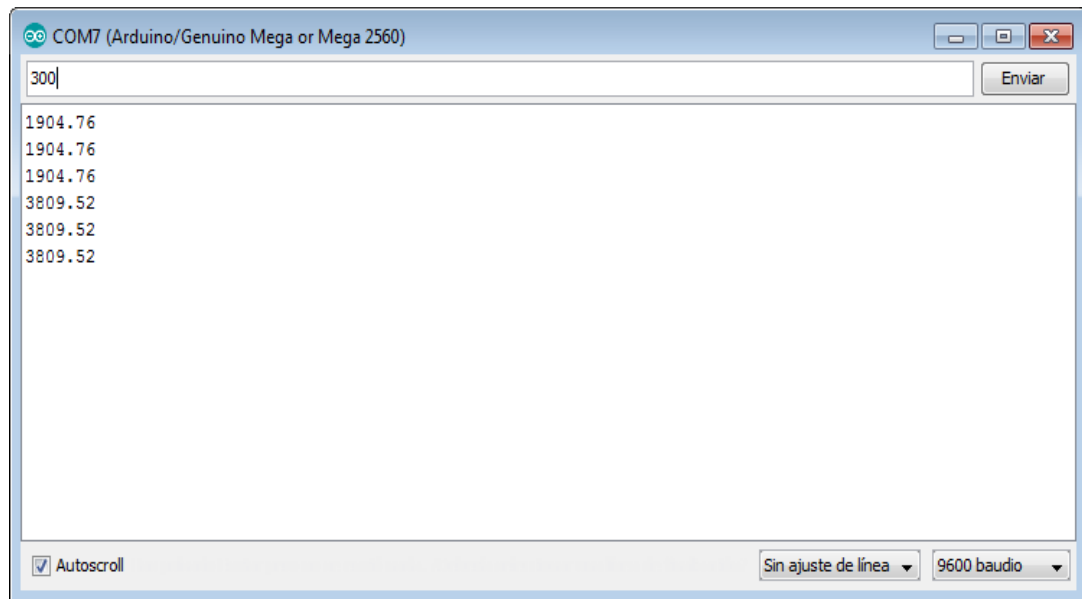


Figura 116 Ingreso de 300 mm en el monitor serial de Arduino

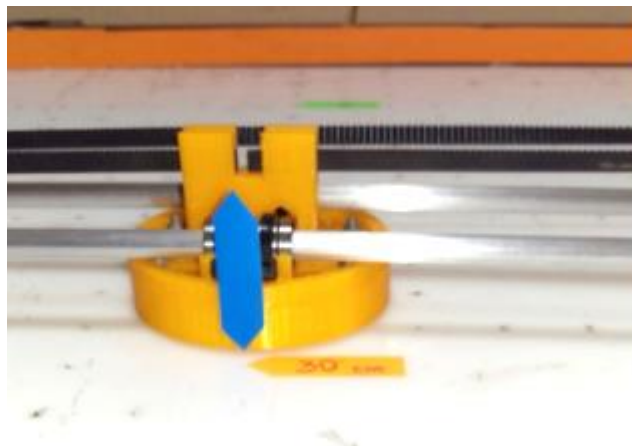


Figura 117 Robot alcanzando la distancia de 30 cm

Tabla 25
Resultados prueba de movimiento a 30 cm

N° de prueba	Tiempo (s)	Distancia alcanzada (cm)	Error en distancia (%)
1	3	30	0
2	3	30	0
3	3	30	0

En un tiempo aproximado de 3 segundos se recorre una distancia de 30cm correspondiente a tres pruebas realizadas del eje Y como se indica en la tabla 25.

4.2. Prueba de Reconocimiento De Color

Es de vital importancia para el funcionamiento adecuado del equipo, que el puck, el robot recolector y la mano del paciente, en este caso representado por un pusher, sean reconocidos perfectamente por el software del equipo en cualquier punto de la parte útil de la imagen de la cámara.

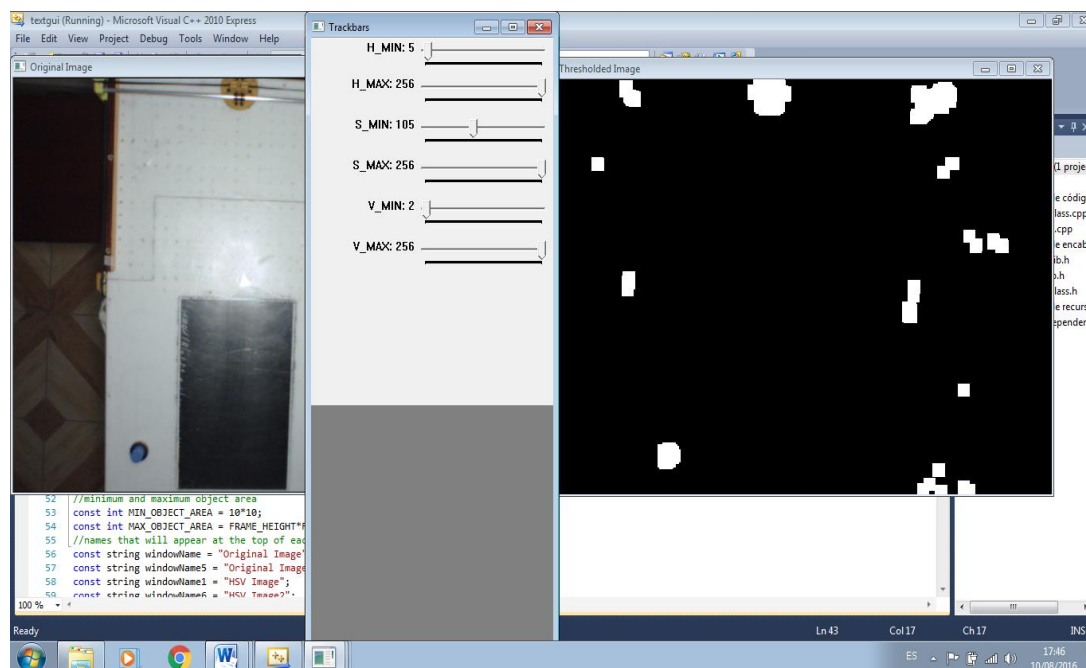


Figura 118 Ajuste de los parámetros HSV de la imagen

Para estas pruebas se usará un programa de reconocimiento de color (ver Anexo H) en el cual se permite ajustar los parámetros HSV de la imagen que permiten filtrar el color que se requiere

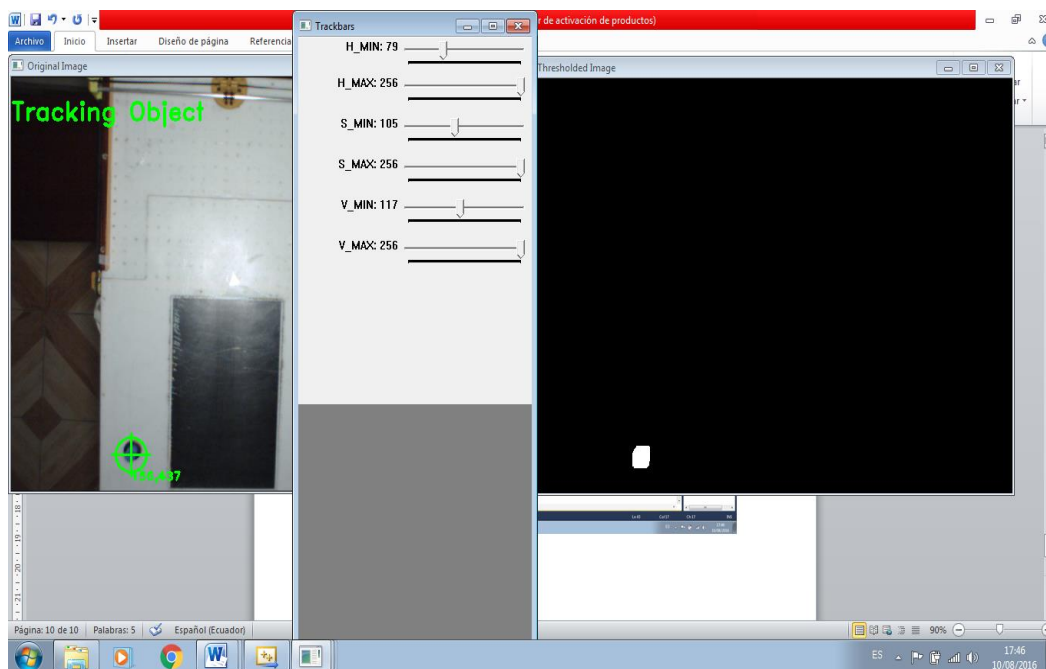


Figura 119 Ajuste de los parámetros HSV con reconocimiento del objeto

4.2.1. Reconocimiento de color del puck y la mano

Para estas pruebas de reconocimiento de color se han colocado cinco marcas al azar dentro del área útil de la imagen (ver figura 120) las cuales corresponden a las siguientes coordenadas:

Tabla 26
Coordenadas de los puntos de prueba de reconocimiento de color

N° de punto	Coordenada
1	200,88
2	425,69
3	282,232
4	404,348
5	280,388

La tabla 26 muestra el número de puntos, cada una tiene una coordenada correspondiente de X e Y separadas por una coma.

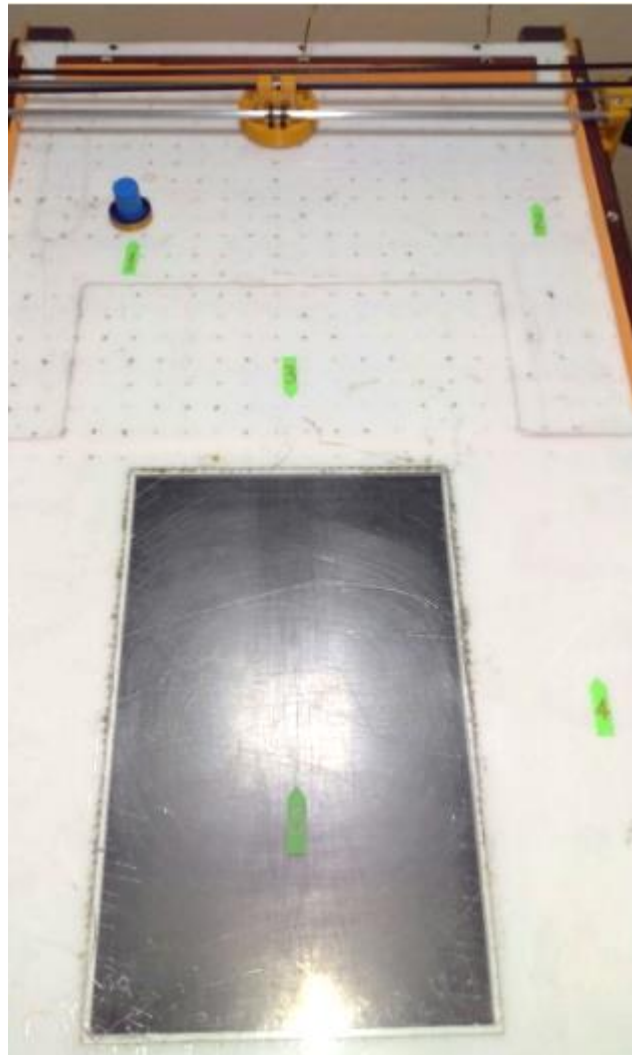


Figura 120 Puntos al azar dentro del área útil de la imagen

A continuación se debe ajustar los parámetros a fin de filtrar el color que se necesita y colocarlo en las marcas antes mencionadas para verificar si el software lo reconoce sin problemas.

a. Pruebas de reconocimiento de la mano del paciente

Primero ajustar los parámetros HSV para el color azul asignado a la mano del paciente como se muestra en la figura 121.

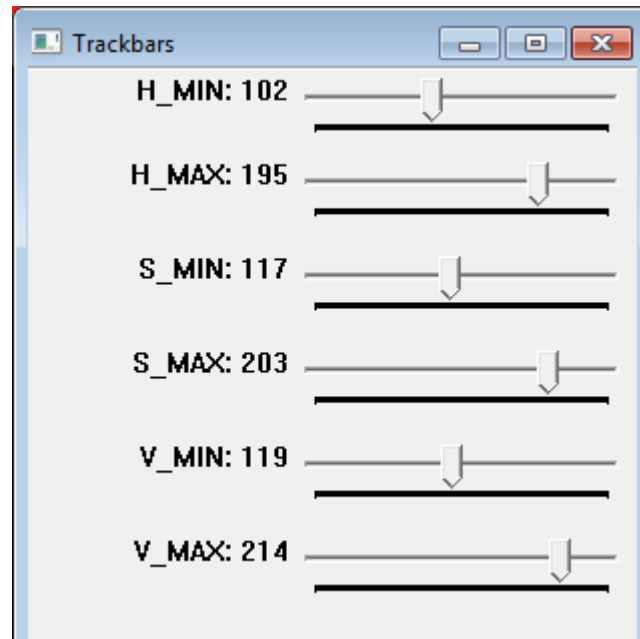


Figura 121 Parámetros HSV para el color azul

Una vez que reconozca el pusher se coloca sobre las marcas antes mencionadas



Figura 122 Objeto reconocido en el punto 1



Figura 123 Objeto reconocido en el punto 2



Figura 124 Objeto reconocido en el punto 3



Figura 125 Objeto reconocido en el punto 4



Figura 126 Objeto reconocido en el punto 5

Tabla 27
Resultados reconocimiento de la mano del paciente

N° de punto	Reconoce el color	
	SI	NO
1	X	
2	X	
3	X	
4	X	
5	X	

La prueba del reconocimiento del color tuvo una aprobación total (tabla 27) ya que el objeto se detectó en los 5 puntos sin ningún problema.

b. Pruebas de reconocimiento del puck

Primero ajustar los parámetros HSV para el color turquesa asignado al disco como se muestra en la figura 127.

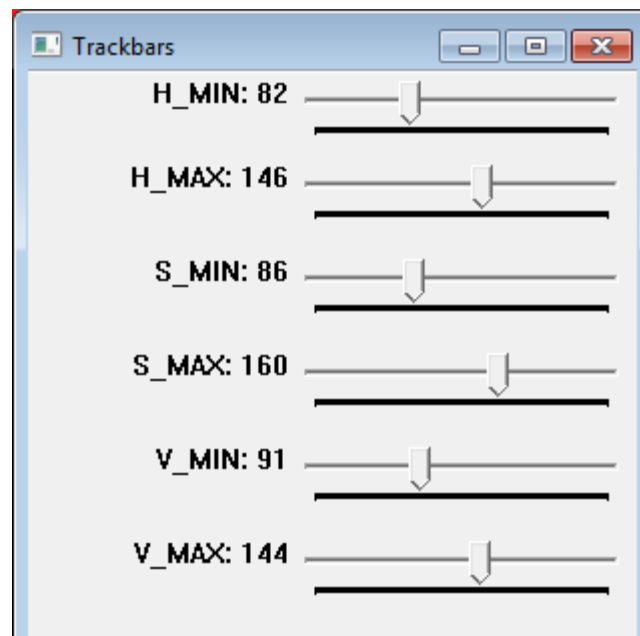


Figura 127 Parámetros HSV para el color turquesa

Una vez que reconozca el puck se coloca sobre las marcas antes mencionadas



Figura 128 Objeto reconocido (puck) en el punto 1



Figura 129 Objeto reconocido (puck) en el punto 2

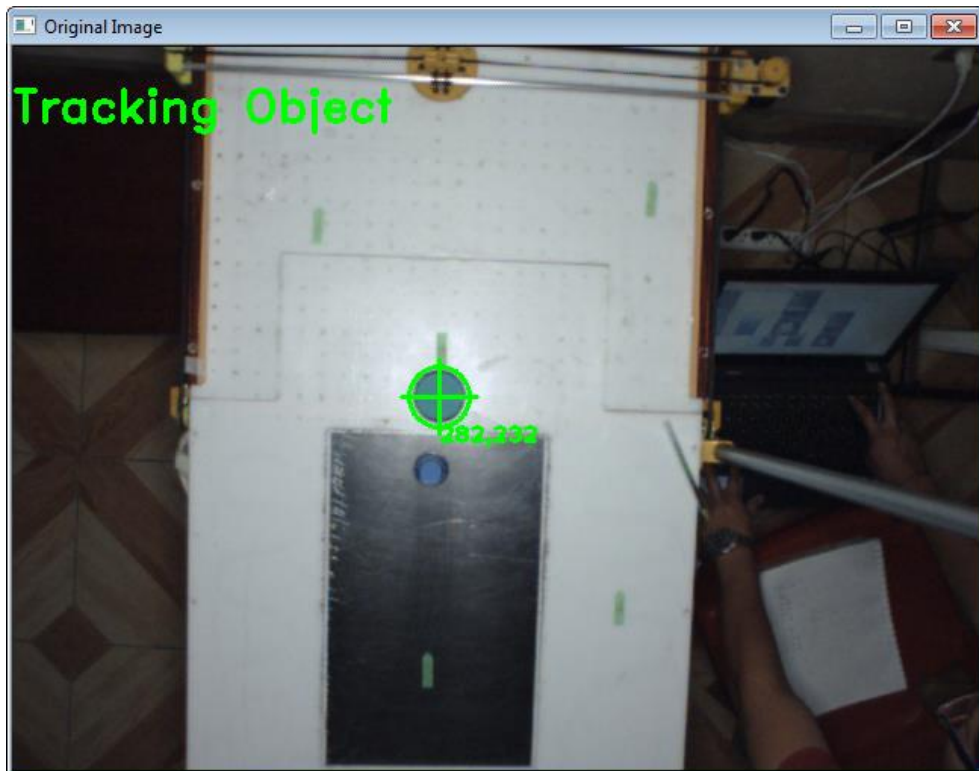


Figura 130 Objeto reconocido (puck) en el punto 3



Figura 131 Objeto reconocido (puck) en el punto 4



Figura 132 Objeto reconocido (puck) en el punto 5

Tabla 28
Resultados reconocimiento del puck

N° de punto	Reconoce el color	
	SI	NO
1	X	
2	X	
3	X	
4	X	
5	X	

De igual manera que en el caso anterior, ahora se detectó el disco o puck en los mismos 5 puntos obteniendo una aprobación total y comprobando que no existen problemas en el reconocimiento de colores.

4.3. Prueba del funcionamiento total del equipo

Para asegurar un correcto funcionamiento del equipo de Neurorehabilitación se pondrán a prueba todos los sistemas que integra el mismo, por lo cual se ha dividido el mismo en tres etapas:

- Etapa de Bienvenida
- Etapa de Ejecución de los Ejercicios
- Etapa de Despedida

4.3.1. Etapa de Bienvenida

En esta etapa el software debe mostrar un mensaje de Bienvenida tanto en el monitor del computador del especialista como en el mostrado al paciente como se muestra en la figura 133.

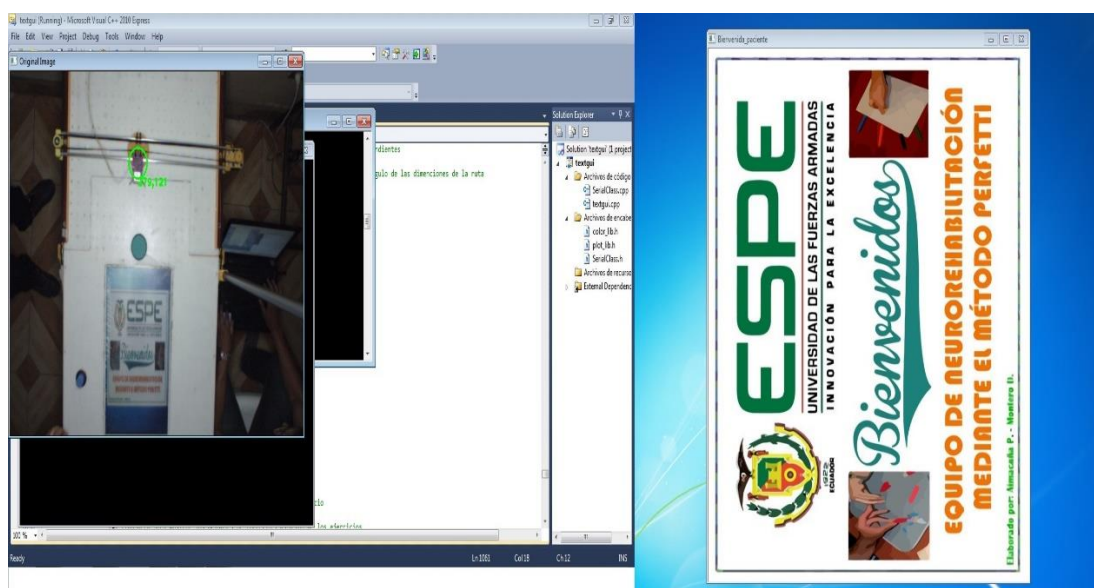


Figura 133 Mensaje de Bienvenida al equipo

4.3.2. Etapa de ejecución de los ejercicios

El software del equipo será el encargado de verificar si el paciente ha realizado correctamente el ejercicio o no, por lo cual se realizaron 5 pruebas cumpliendo todos los requerimientos para que el ejercicio sea aceptado como correcto y 5 pruebas en las que el resultado sea incorrecto y se verificará cómo reacciona el equipo a dichas pruebas.

a. *Ejercicios realizados correctamente*

Para que un ejercicio sea considerado como correcto se debe cumplir la trayectoria en un 76% o más y el equipo debe reaccionar bajo los siguientes requerimientos:

- Ubicar el robot recolector en la posición de inicio
- Mostrar la trayectoria en el monitor
- Recoger el puck impulsado por el paciente
- Colocar el puck en posición de espera
- Mostrar el porcentaje con el cual se ha realizado el ejercicio
- Cambio automático a la siguiente trayectoria

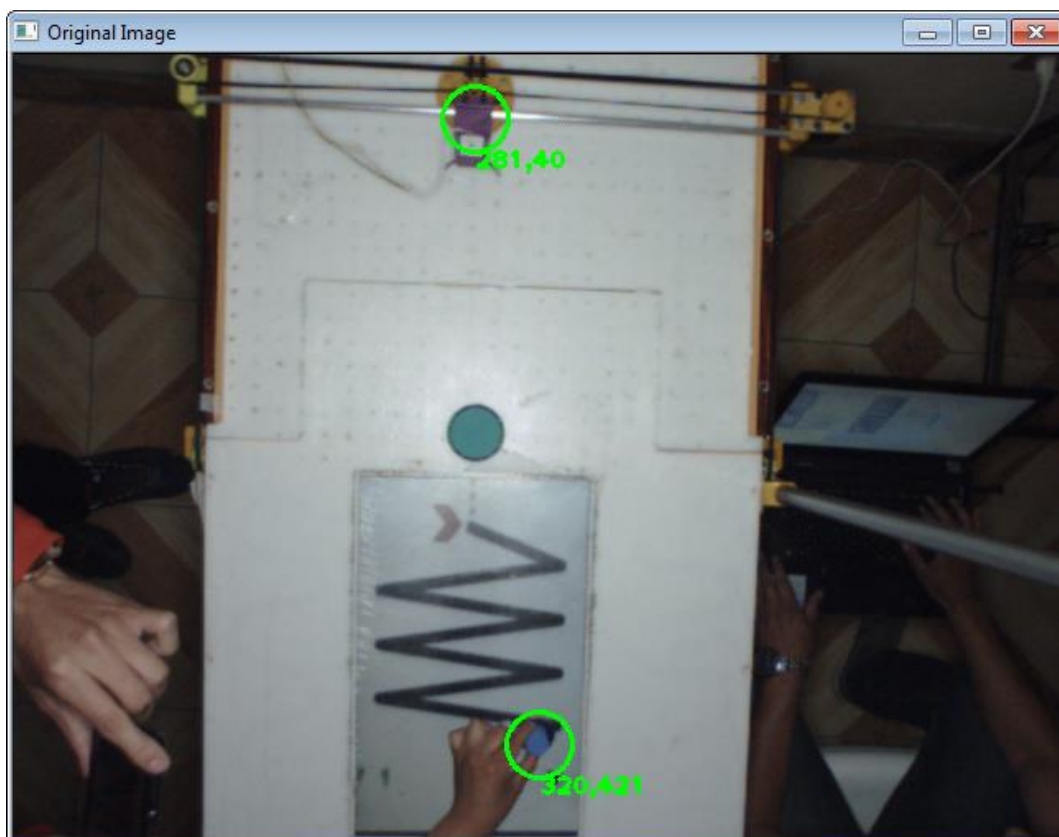


Figura 134 Trayectoria 1, robot recolector en el inicio

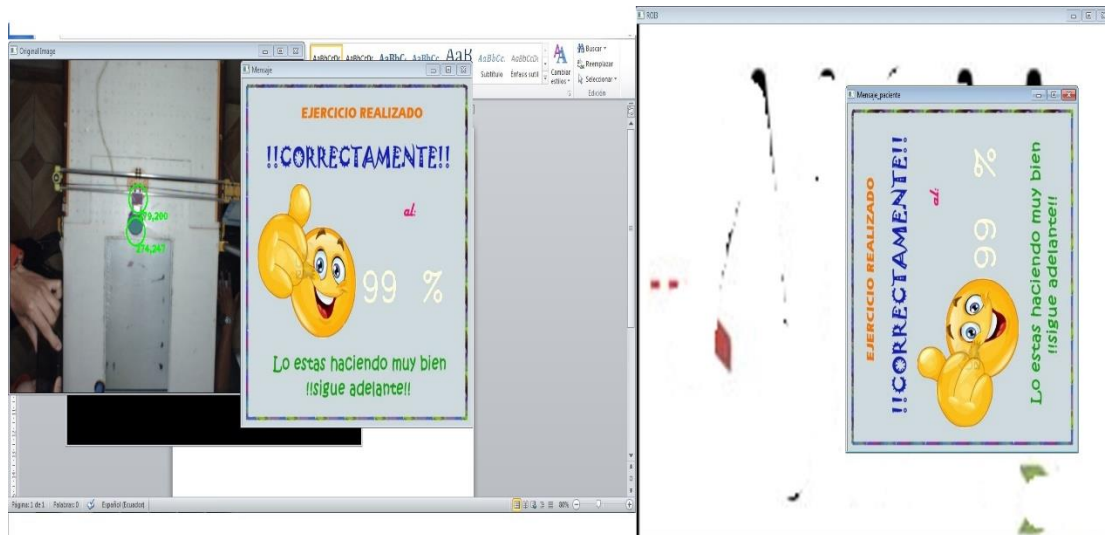


Figura 135 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 1 al especialista y al paciente

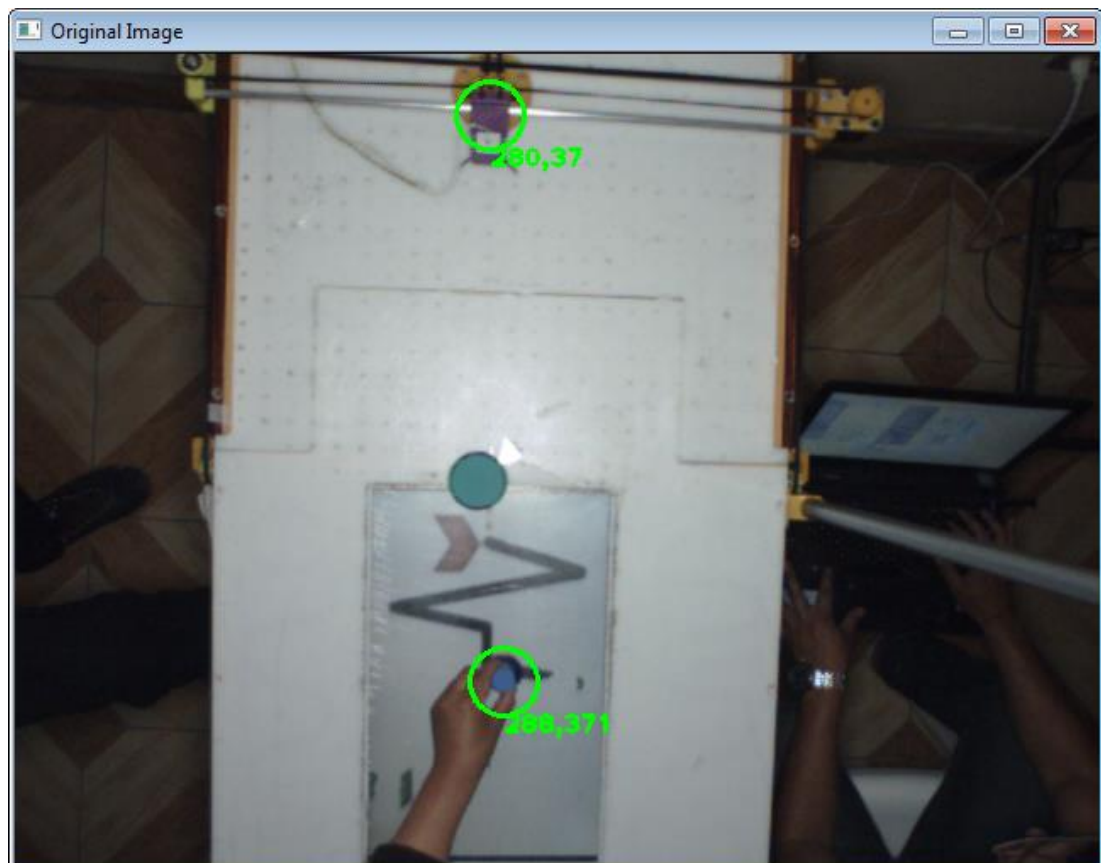


Figura 136 Trayectoria 2, robot recolector en el inicio

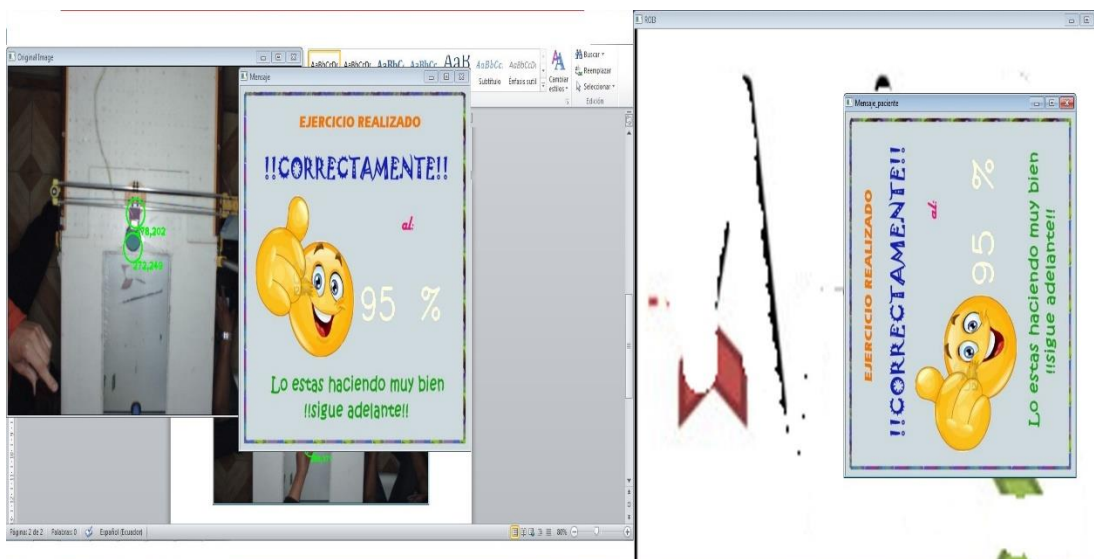


Figura 137 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 2 al especialista y al paciente



Figura 138 Trayectoria 3, robot recolector en el inicio

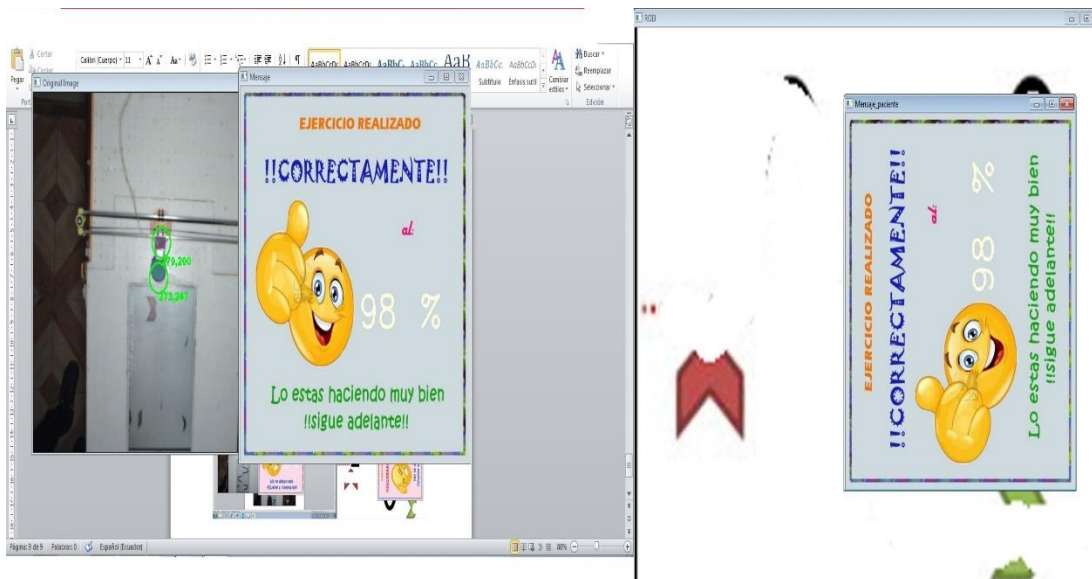


Figura 139 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 3 al especialista y al paciente

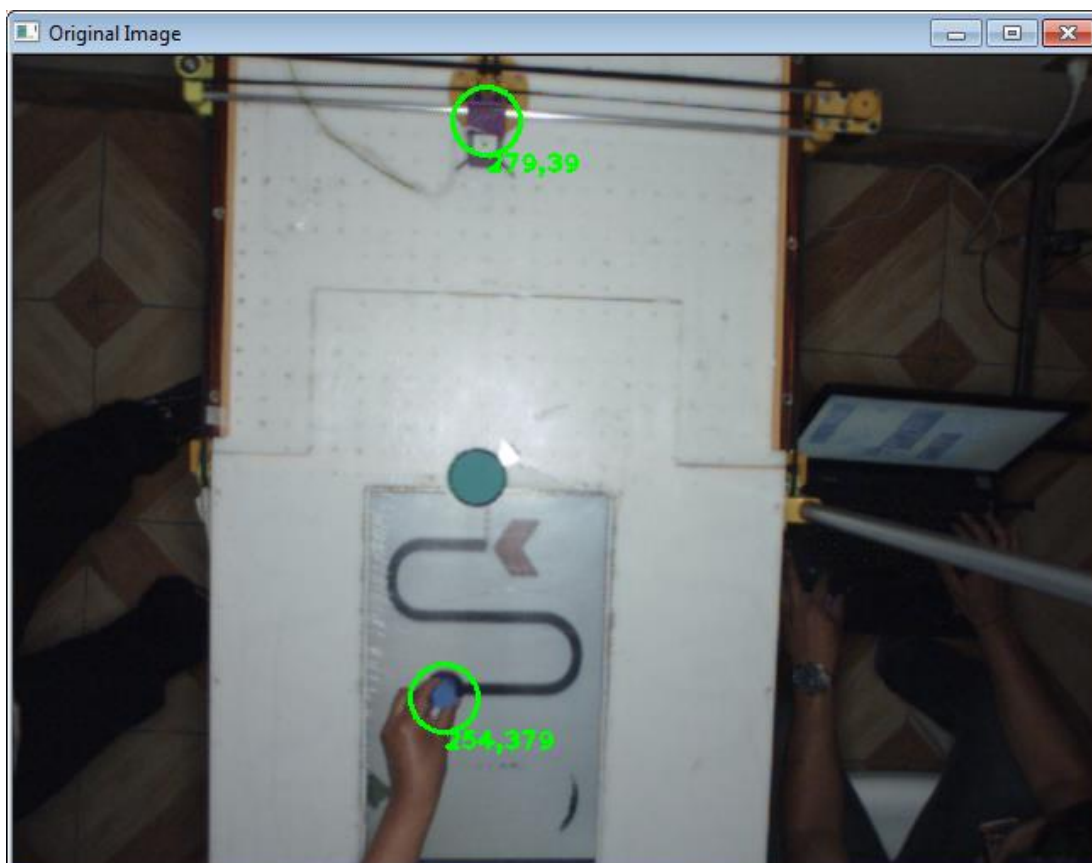


Figura 140 Trayectoria 4, robot recolector en el inicio

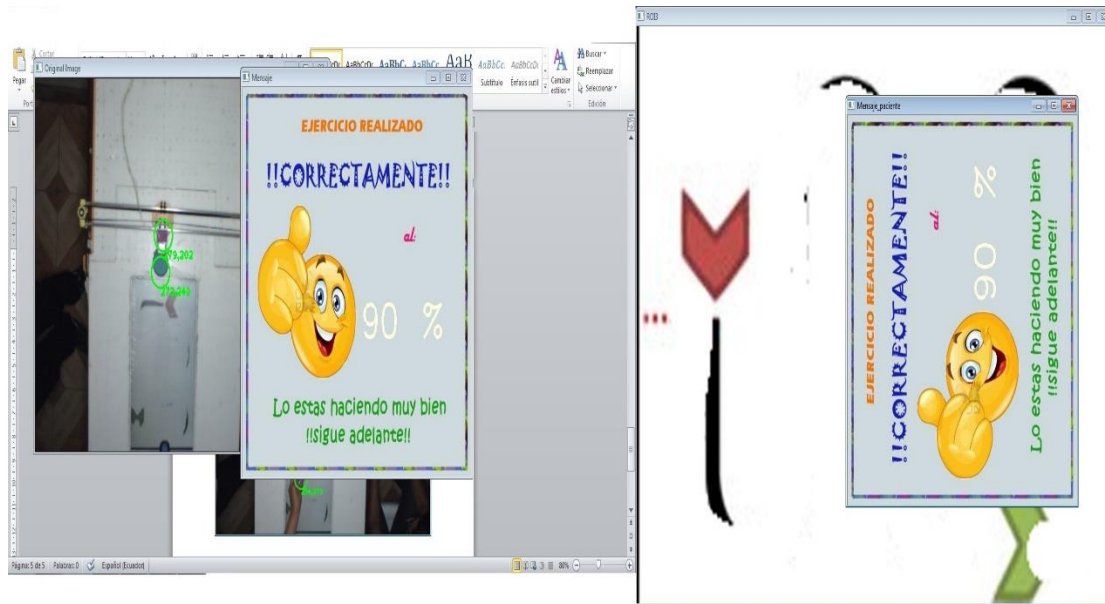


Figura 141 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 4 al especialista y al paciente

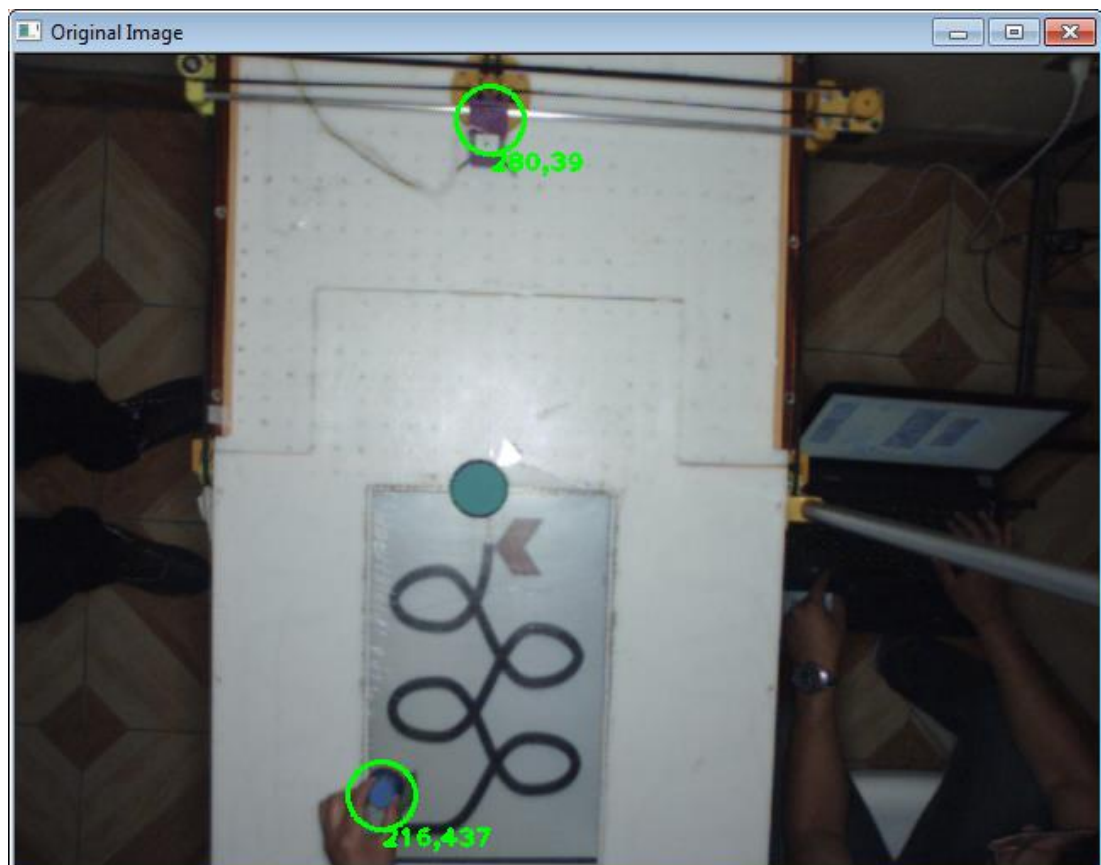


Figura 142 Trayectoria 5, robot recolector en el inicio

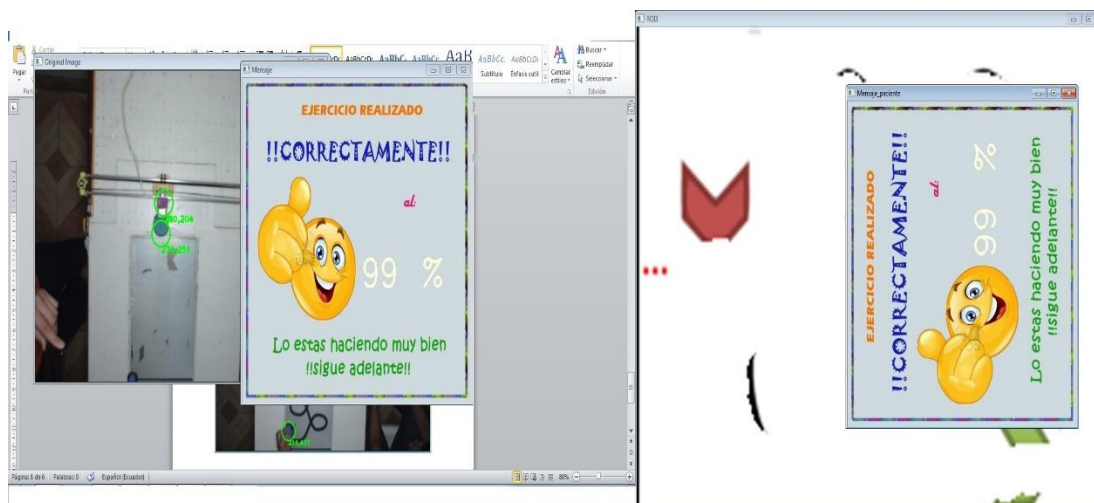


Figura 143 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 5 al especialista y al paciente

**Tabla 29
Resultados de los ejercicios realizados correctamente**

Nº ejercicio	Mostrar trayectoria	Recoger puck	Colocar puck	Mensaje	Cambio trayectoria
1	SI	SI	SI	SI	SI
2	SI	SI	SI	SI	SI
3	SI	SI	SI	SI	SI
4	SI	SI	SI	SI	SI
5	SI	SI	SI	SI	SI

Como se muestra en la tabla 29 al realizar correctamente los ejercicios del 1 al 5 no se han presentado problemas en los parámetros antes mencionados, con lo que se concluye que el equipo reacciona favorablemente en esta etapa del funcionamiento.

b. Ejercicios realizados incorrectamente

Para que un ejercicio sea considerado como incorrecto se debe cumplir la trayectoria en un porcentaje menor al 75% y el equipo debe reaccionar bajo los siguientes requerimientos:

- Ubicar el robot recolector en la posición de inicio
- Mostrar la trayectoria en el monitor
- Recoger el puck impulsado por el paciente
- Mostrar el porcentaje con el cual se ha realizado el ejercicio
- Volver a mostrar la trayectoria que no se cumplió correctamente

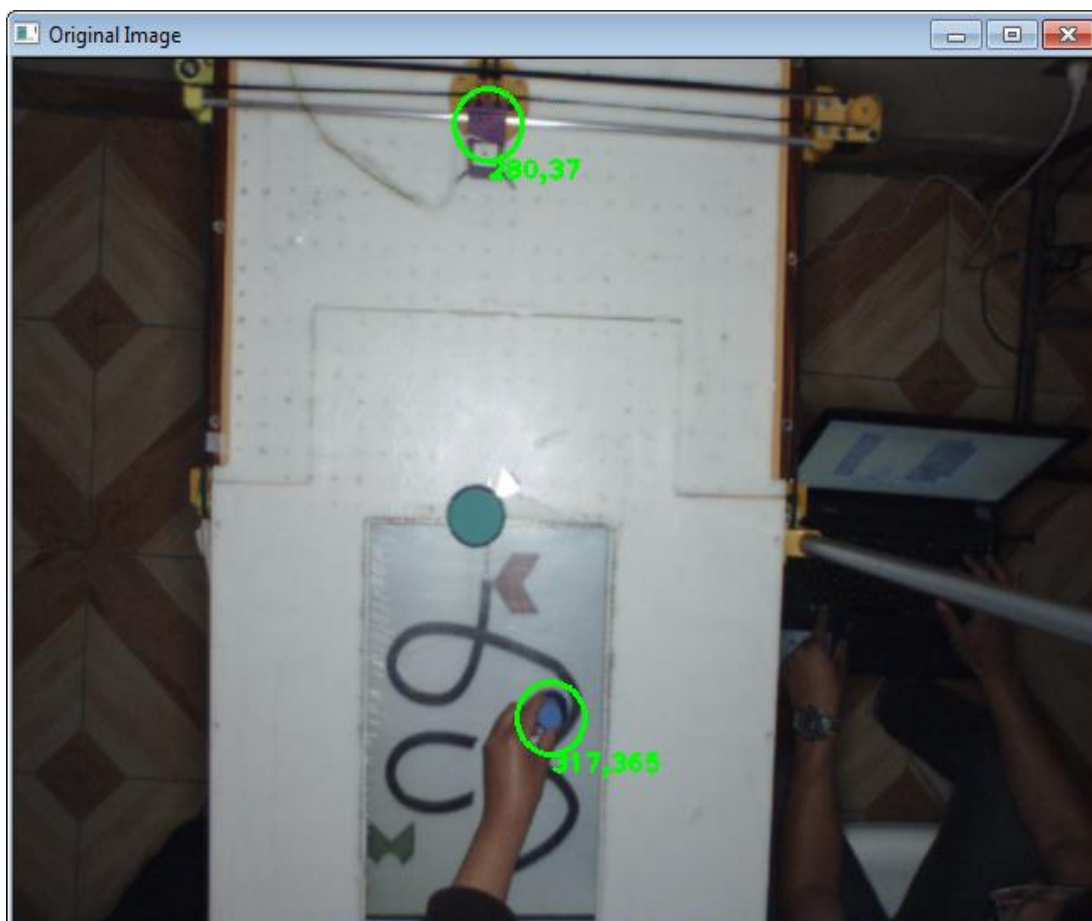


Figura 144 Trayectoria 6, robot recolector en el inicio

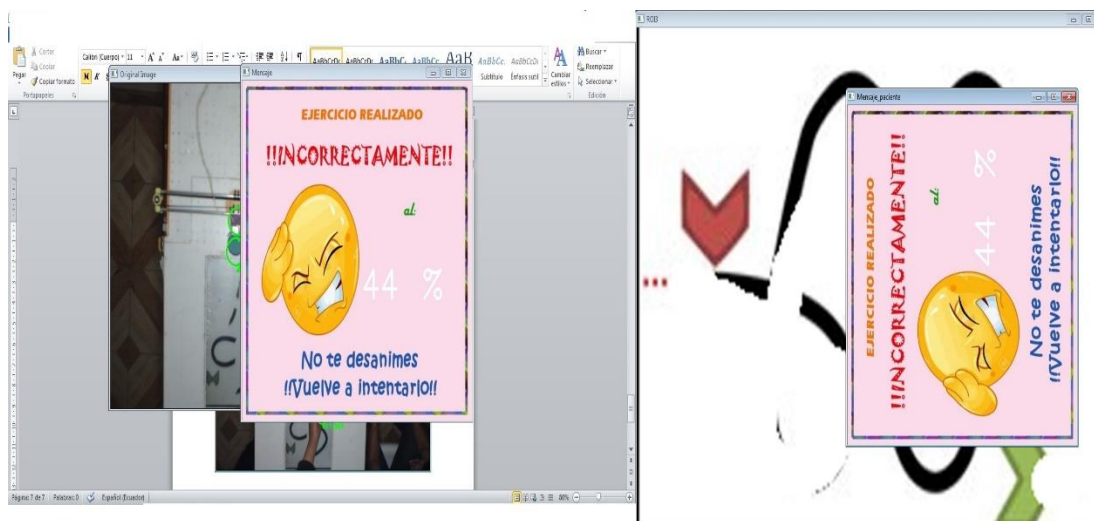


Figura 145 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 6 al especialista y al paciente



Figura 146 Nuevamente Trayectoria 6, robot recolector en el inicio

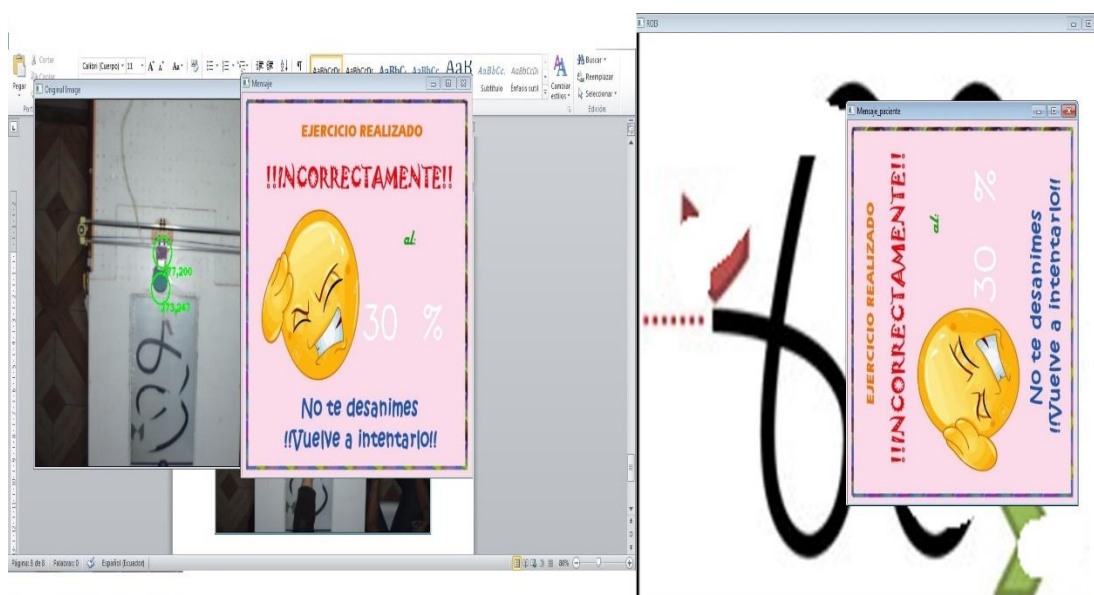


Figura 147 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 6 al especialista y al paciente

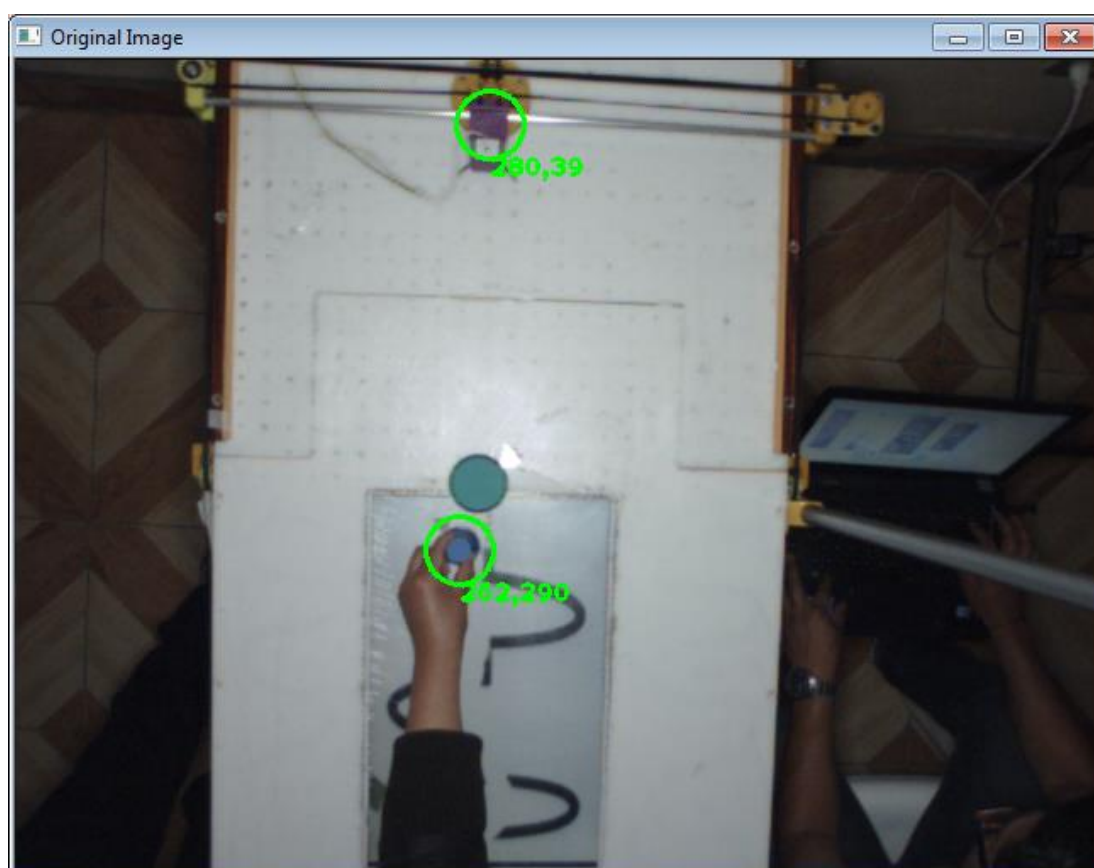


Figura 148 Trayectoria 7, robot recolector en el inicio

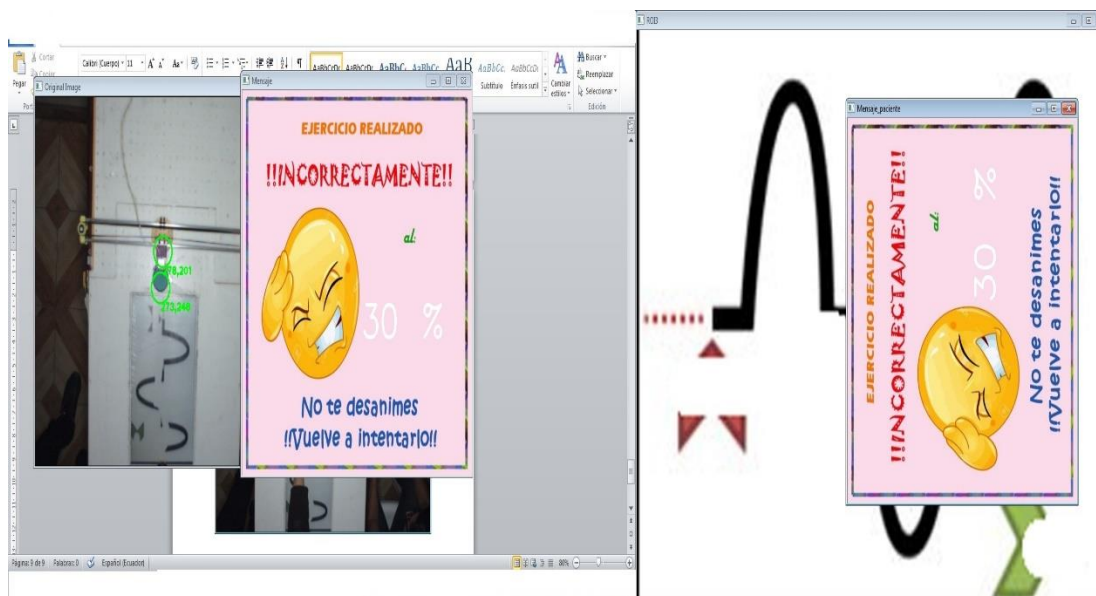


Figura 149 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 7 al especialista y al paciente

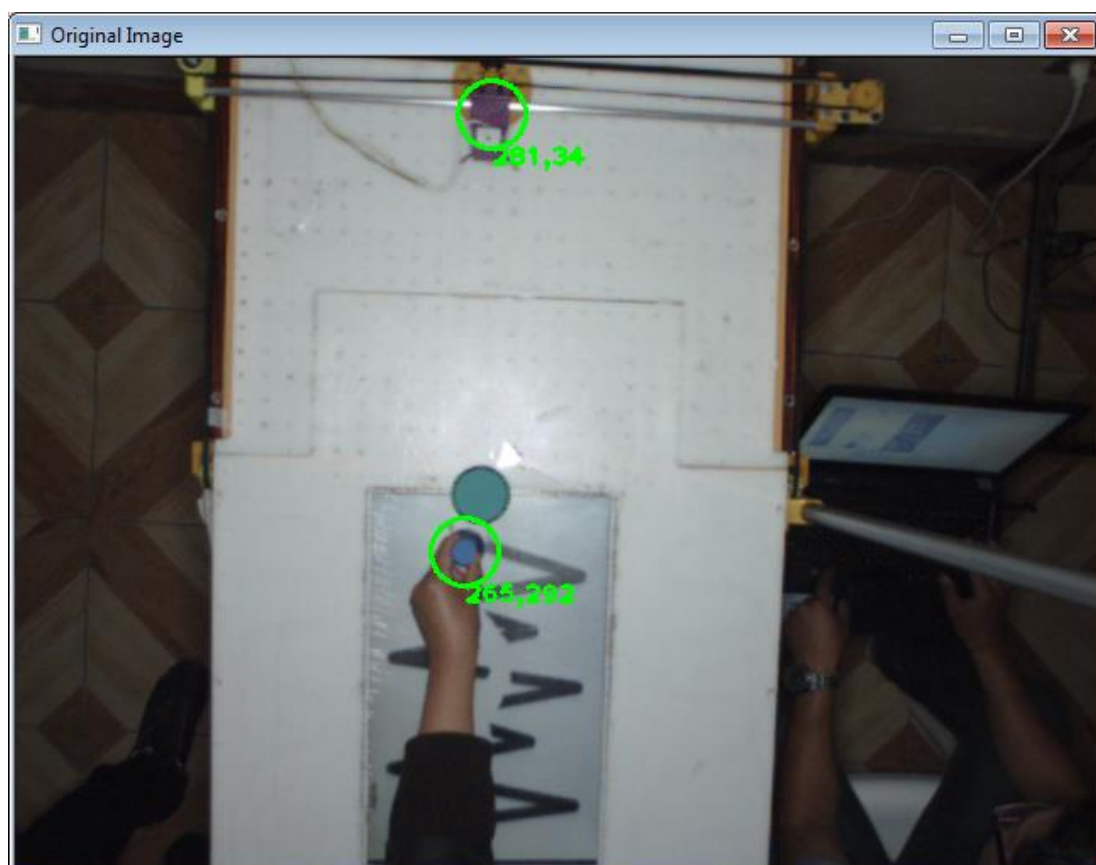


Figura 150 Trayectoria 8, robot recolector en el inicio

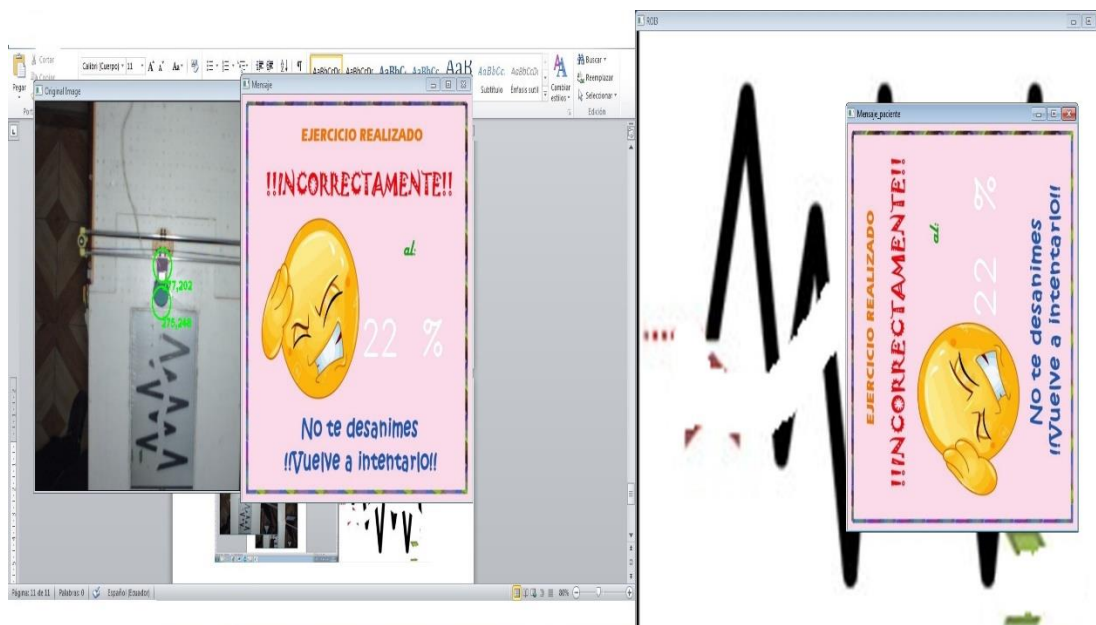


Figura 151 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 8 al especialista y al paciente



Figura 152 Trayectoria 9, robot recolector en el inicio

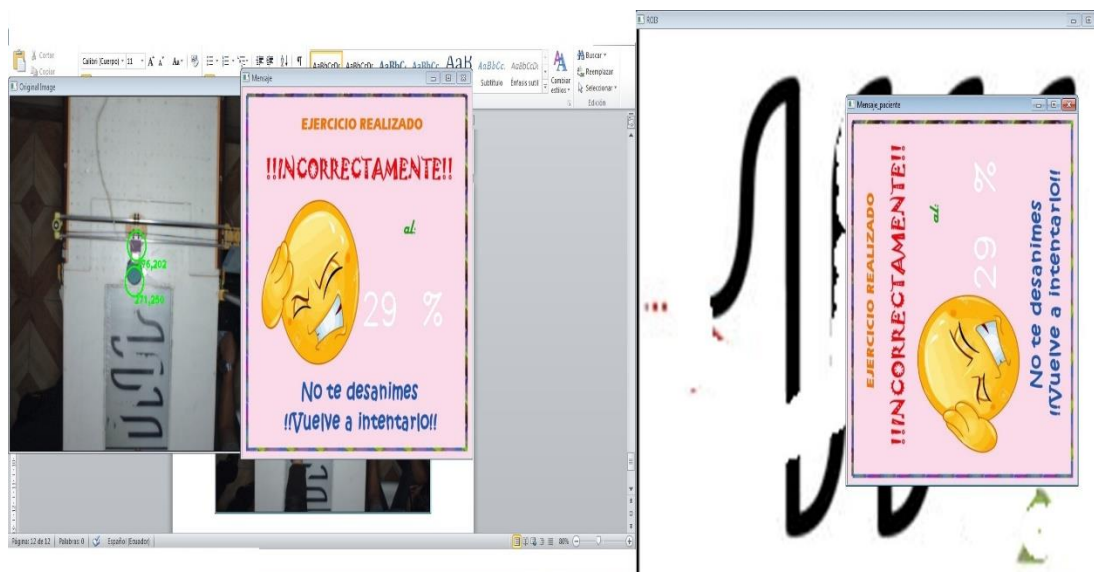


Figura 153 Puck en la posición de espera, Mensajes de aceptación del ejercicio 9 al especialista y al paciente

**Tabla 30
Resultados de los ejercicios realizados incorrectamente**

Nº ejercicio	Mostrar trayectoria	Recoger puck	Colocar puck	Mensaje	Trayectoria anterior
6	SI	SI	SI	SI	SI
6	SI	SI	SI	SI	SI
7	SI	SI	SI	SI	SI
8	SI	SI	SI	SI	SI
9	SI	SI	SI	SI	SI

Como se muestra en la tabla 30 al realizar incorrectamente los ejercicios del 6 al 9 no se han presentado problemas en los parámetros antes mencionados, con lo que se concluye que el equipo reacciona favorablemente en esta etapa del funcionamiento.

4.3.3. Etapa de Despedida

En esta etapa el software debe mostrar un mensaje de despedida y agradecimiento después de haber concluido correctamente el ejercicio, tanto en el monitor del computador del especialista como en el mostrado al paciente (figura 155).

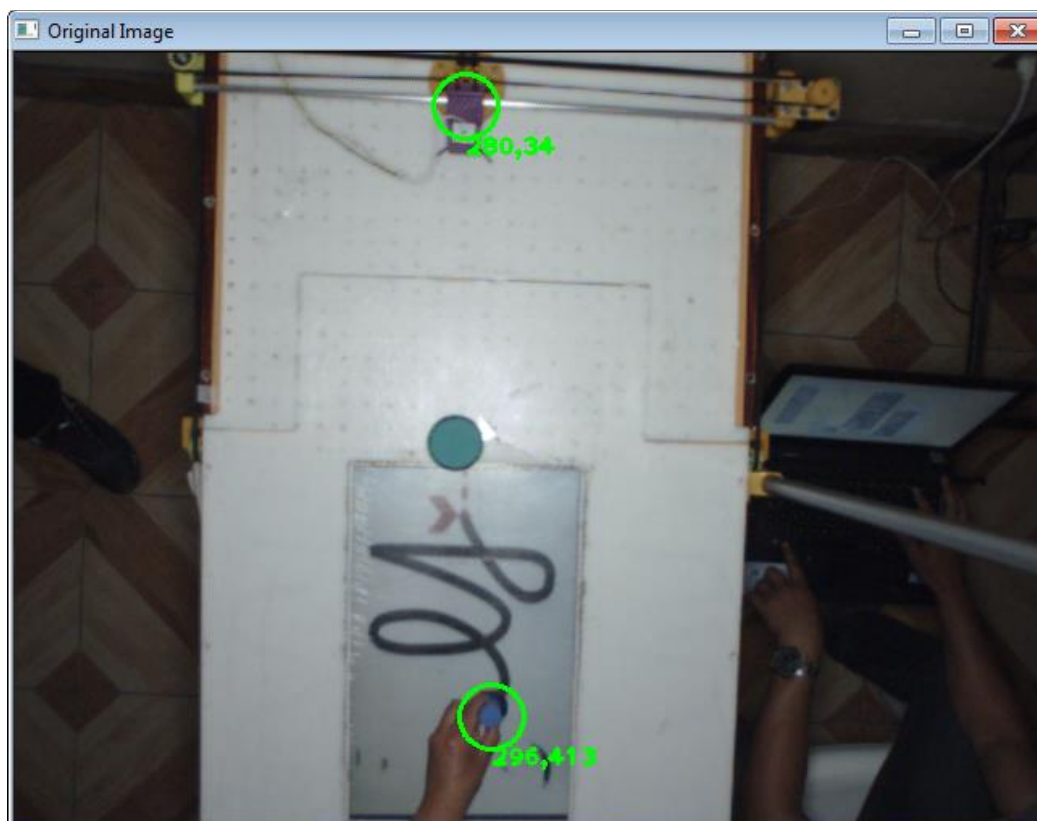


Figura 154 Realización del último ejercicio

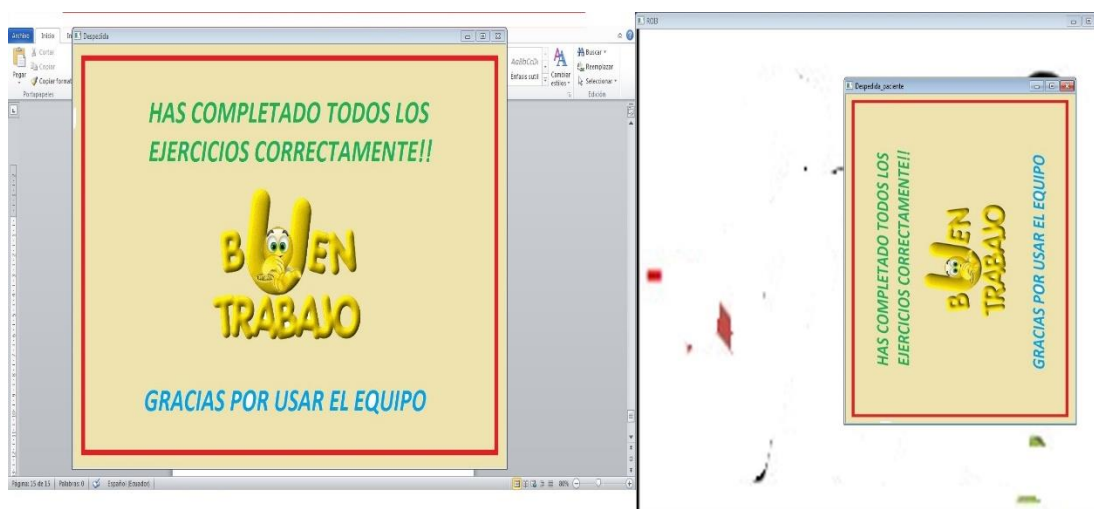


Figura 155 Mensaje de despedida y agradecimiento del equipo

4.4. Cálculo de la muestra de pacientes

Para la realización de las pruebas es necesario tomar una muestra del total de personas con problemas en la motricidad de las manos del Patronato Municipal de Latacunga para esto según (Navidi, 2006) se utiliza la Ec. 22.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{i^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * N * p * q} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

n = Tamaño muestral

Z_{α} = Distribución de Gauss

N = Población

p = Prevalencia esperada del parametro a evaluar

$q = 1 - p$

i = error que se prevé cometer

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

$$n = \frac{1.96_{0.05}^2 * 13 * 0.7 * 0.3}{0.2^2 * (13 - 1) + 1.96_{0.05}^2 * 0.7 * 0.3}$$

$$n = 8,15$$

4.5. Validación de la Hipótesis

La hipótesis planteada es la siguiente:

¿El análisis y diseño del equipo mecatrónico de neurorehabilitación que emplea visión artificial, logrará recuperar la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora?

- **Variables Dependientes**

Recuperar la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora

- **Variables Independientes**

Equipo de neurehabilitación

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

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

- Hipótesis Nula (H_0): El equipo de neurorehabilitación no mejorará la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora
- Hipótesis de Trabajo (H_1): El equipo de neurorehabilitación mejorará la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora

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

Tabla 31
Datos obtenidos de la frecuencia observada

Trayectoria	Muy bien (>76)	bien (50-75)	malo (<50)	Total
1	2	4	2	8
2	3	5	0	8
3	4	4	0	8
4	3	3	2	8
5	0	3	5	8
6	2	4	2	8
7	4	4	0	8
8	3	4	1	8
9	2	6	0	8
10	6	2	0	8
11	1	3	4	8
12	3	4	1	8
13	2	5	1	8
14	5	3	0	8
15	0	3	5	8

Continua 

Total	40	57	23	120
-------	----	----	----	-----

Una vez obtenidos los datos de la frecuencia observada (O_i) se procede al siguiente paso el cual es calcular la frecuencia esperada (E_{ij}). Definido por la Ec. 23. (Navidi, 2006)

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

O_i = Frecuencia Observada

E_{ij} = Frecuencia Esperada

O = Total

Teniendo como resultado los datos presentados en la tabla 32.

Tabla 32
Resultados del cálculo de la frecuencia esperada

Trayectoria	Muy bien (>76)	bien (50-75)	malo (<50)	Total
1	2,66	3,8	1,53	8
2	2,66	3,8	1,53	8
3	2,66	3,8	1,53	8
4	2,66	3,8	1,53	8
5	2,66	3,8	1,53	8
6	2,66	3,8	1,53	8
7	2,66	3,8	1,53	8
8	2,66	3,8	1,53	8
9	2,66	3,8	1,53	8
10	2,66	3,8	1,53	8
11	2,66	3,8	1,53	8
12	2,66	3,8	1,53	8
13	2,66	3,8	1,53	8
14	2,66	3,8	1,53	8
15	2,66	3,8	1,53	8
Total	40	57	23	120

Por último se realiza el cálculo final del chi – cuadrado con ayuda de la Ec. 24. (Navidi, 2006)

$$X_{cal}^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

X_{cal}^2 = Chi cuadrado calculado

i = Número de filas

j = Número de columnas

Con lo cual se obtiene los resultados presentados en la tabla 33.

Tabla 33
Resultados del Chi - Cuadrado

Trayectoria	Muy bien (>76)	bien (50-75)	malo (<50)
1	0,167	0,011	0,142
2	0,042	0,379	1,533
3	0,667	0,011	1,533
4	0,042	0,168	0,142
5	2,667	0,168	7,841
6	0,167	0,011	0,142
7	0,667	0,011	1,533
8	0,042	0,011	0,185
9	0,167	1,274	1,533
10	4,167	0,853	1,533
11	1,042	0,168	3,970
12	0,042	0,011	0,185
13	0,167	0,379	0,185
14	2,042	0,168	1,533
15	2,667	0,168	7,841
Total	14,750	3,789	29,833
Total	48,372		

Es necesario el cálculo del grado de libertad por lo que se recurre a la Ec. 25.

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1)(\text{cantidad de columnas} - 1) \quad \text{Ec. 25}$$

$$v = (15 - 1)(3 - 1)$$

$$v = 28$$

Por lo general se trabaja con un nivel de significancia (riesgo) de $p = 0.05$, lo que indica que se espera un alto grado de funcionalidad del proyecto.

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

$$\text{Chi-Cuadrado tabulado} = 41,337$$

Conclusión:

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

$$48,372 > 41,337$$

Entonces se acepta la hipótesis de trabajo que dice: “El equipo de neurorehabilitación logrará recuperar la motricidad de la mano del paciente de una forma más rápida, entretenida e indolora.”

4.6. Análisis Financiero

La tabla 34 muestra el costo de cada componente o actividad que conlleva una remuneración económica.

Tabla 34
Costos del proyecto

Cant.	Componente	Valor Unitario	Valor Total
3	Motores NEMA 17	35	105
6	Rodamientos LM8UU	5	30
1	Arduino Mega	65	65
3	Drivers A4988	6	18
4	metros correa GT2	5	20
1	Estructura metálica	40	40
1	Monitor	50	50
1	Cable VGA y poder	9	9
1	Tabla triplex	40	40
3	Rodamientos 22mm	2	6
1	Cámara PS3	20	20
1	Lámpara Led	20	20
1	metro tubo aluminio	15	15
1	tubo redondo 22mm	3	3
1	Electroimán	7,5	7,5
1	Extensión activa usb	15	15
1	Impresiones 3d	182,95	182,95

Continua 

2	Planchas de acrílico	55	110
1	Pedazo de acrílico	10	10
1	Corte laser	40	40
1	Impresión PCB	5	5
1	Elementos para PCB	11	11
2	Ventiladores	2	4
1	Gastos transporte	35	35
1	Gastos varios	150	150
	Total		1011,45

Al no existir proyectos relacionados realizados no se puede realizar un análisis financiero comparativo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se realizó una investigación adecuada en fuentes de bibliográficas especializadas en los distintos aspectos y temas que se trataron con la finalidad de escoger y clasificar la información necesaria para el desarrollo del proyecto.
- El sistema de control se realizó mediante un sistema de visión artificial basándose principalmente en el reconocimiento de colores.
- Se diseñaron distintos elementos que conforman la parte mecánica del equipo tomando en cuenta los requerimientos del mismo en cuanto a las cargas que interactúan en el funcionamiento del equipo.
- Se utilizaron varios diseños de componentes disponibles en internet, sin embargo se creó nuevos diseños con la finalidad de cumplir con los requerimientos establecidos.
- Varios de los componentes y dispositivos utilizados son los que conforman una impresora 3d o un robot de tipo cartesiano, sin embargo se encuentran destinados a cumplir una función diferente a la impresión.
- Se utilizó el software SolidWorks con la finalidad de realizar un análisis estático de cada pieza diseñada y comprobar si cumple con los parámetros necesarios antes de implementarlas físicamente.
- La programación del sistema de visión se realizó en Microsoft Visual Studio 2010 con librerías de OpenCv que permiten interactuar en tiempo real con el mundo exterior.
- El accionamiento de los actuadores se lo realizó mediante la tarjeta controladora arduino mega la cual se encarga de recibir los datos enviados desde el sistema de visión.
- Los drivers A4988 brindan una resolución de paso de 1/8 lo cual brinda un movimiento más suave y preciso de cada motor a pasos.

- No se utilizó sensores de posición ya que el sistema de visión se encarga de detener los actuadores cuando el robot alcance una posición máxima en cualquiera de los dos ejes.
- La implementación de los diferentes sistemas no presentó ningún problema con su funcionamiento en conjunto dando como resultado el trabajo adecuado del equipo de Neurorehabilitación.
- Los colores utilizados en el proceso de reconocimiento son raramente usados en vestimenta con la finalidad de evitar posibles interferencias en la detección.
- La máquina puede ser desmontada fácilmente únicamente quitando algunos tornillos de sujeción si existe la necesidad de ser transportada a otro lugar.
- Se implementó un sistema que incorpora una manera didáctica de realizar ejercicios de rehabilitación con el objetivo de evitar el cansancio o aburrimiento del paciente.
- Los componentes y dispositivos utilizados se obtuvieron con gran facilidad debido a que todos se encuentran disponibles en el mercado.
- La extensión USB utilizada para la cámara debe ser activa para evitar pérdidas en la señal lo que ocasionaría problemas a la máquina ya que todo el proceso se lo realiza en tiempo real.

5.2. Recomendaciones

- Las plantillas de color que se utilizan no deben ser brillantes debido a que producen interferencias en la detección del sistema de visión.
- Utilizar una cámara que tenga buena resolución y que abarque toda el área de trabajo.
- Utilizar un sistema de iluminación permanente con la finalidad de que la cámara capte la misma luz ya sea en el día o en la noche.
- Ajustar de manera correcta los parámetros HSV de la imagen a fin de no tener problemas en el reconocimiento del color.

- Programar al robot para que use una velocidad media en su funcionamiento para evitar problemas en su traslado y recolección del puck.
- El cable de la cámara no debe sobrepasar los 3 metros caso contrario la señal se pierde o se distorsiona.
- Regular la corriente proporcionada por los drivers hacia los motores de acuerdo a la especificación del fabricante para evitar recalentamiento o cualquier otro problema de los actuadores.
- De preferencia usar en los drivers la configuración 1/8 de los pasos o más para que el desplazamiento sea más suave.
- Nivelar y alinear correctamente las guías del robot para un correcto desplazamiento del mismo.
- En lo posible evitar mezclar cables de datos con los de poder a fin reducir interferencias en las señales.
- Templar correctamente las bandas de transmisión para evitar pérdida de pasos en el movimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alibaba. (2013). *Alibaba.com*. Recuperado el 12 de abril de 2016, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/transparent-acrylic-sheet-289049342.html>
- Alromar. (19 de Agosto de 2012). Recuperado el 19 de junio de 2016, de <http://www.alromar-energia.es/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-tecnologia-led/>
- ANITAX. (01 de Junio de 2008). *ANITAX*. Recuperado el 05 de febrero de 2016, de <http://anitax.blogia.com/>
- Aprendemos Tecnologia*. (15 de septiembre de 2008). Recuperado el 24 de marzo de 2016, de <https://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transmision-del-movimiento/>
- Archi Expo*. (2016). Recuperado el 18 de marzo de 2016, de <http://www.archiexpo.es/prod/bensen/product-67904-459249.html>
- ArchiExpo*. (2016). Recuperado el 18 de marzo de 2016, de <http://www.archiexpo.es/prod/ibebi-design/product-52127-1567979.html>
- ARDUINO.cl*. (11 de Abril de 2016). Recuperado el 12 de abril de 2016, de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Asociacion Española de Rehabilitación Neurocognitiva Perfetti. (01 de Noviembre de 2012). Recuperado el 15 de marzo de 2016, de <http://fisioterapia.blogspot.com/2012/11/el-metodo-perfetti.html>
- Balone, A. (9 de octubre de 2014). *Que es y como funciona*. Recuperado el 03 de mayo de 2016, de <http://comofunciona.org/que-es-y-como-funciona-un-electroiman/>
- Bonada, M. (28 de Junio de 2016). Recuperado el 02 de julio de 2016, de <http://www.hogarismo.es/2013/05/30/luces-led-ventajas-y-desventajas/#>
- Bonito, J., Martínez, J., & Martínez, R. (2006). El ejercicio terapéutico cognoscitivo: Concepto Perfetti. *Revista de Fisioterapia*, 36-42.

- Budynas, R., & Nisbett, K. (2000). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGrawHill.
- C.I.P. ETI Tudela. (2013). *FORMACIÓN PROFESIONAL DE CALIDAD*. Recuperado el 22 de junio de 2016, de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- Capitán, S. (10 de Febrero de 2000). Recuperado el 14 de abril de 2016, de <http://www.ataxia-y-ataxicos.es/REHA/YNAC21.htm>
- CEJAROSU. (2005). Recuperado el 20 de abril de 2016, de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_tornillo-tuerca.htm
- Cellconexion. (2016). Recuperado el 28 de junio de 2016, de <http://www.cellconexion.com/interior.php>
- Conceptos Básicos de Imagen Digital*. (2016). Recuperado el 31 de marzo de 2016, de <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/107/cd/imagen/pdf/imagen01.pdf>
- Constante, P., & Gordón, A. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA CLASIFICACIÓN DE AL MENOS TRES TIPOS DE FRUTAS*. Quito.
- David, M. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. New York: Freeman.
- Departamento de Neurología de la Clínica Universitaria de Navarra (CUN). (2000). *Rehabilitación en ataxia*. Pamplona.
- Digital Foto Red*. (2016). Recuperado el 31 de marzo de 2016, de <http://www.digitalfotored.com/imagendigital/tiposimagenes.htm>
- Diprax. (2014). *diprax.es*. Recuperado el 29 de abril de 2016, <http://www.diprax.es/vacio-industrial/ventosas/>

- DirectINDUSTRY. (2016). Recuperado el 01 de junio de 2016, de <http://www.directindustry.com/prod/sati/product-20030-47335.html>
- Domingo, M. (2004). *Visión por Computador*. Santiago de Chile: Departamento de Ciencia de la Computación.
- EcuRed. (2016). Recuperado el 28 de junio de 2016, de http://www.ecured.cu/L%C3%A1mpara_fluorescente
- EcuRed. (2016). *EcuRed*. Recuperado el 30 de marzo de 2016, de <http://www.ecured.cu/OpenCV>
- e-ducativa*. (22 de febrero de 2007). Recuperado el 24 de marzo de 2016, de http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1101/html/3_transmisi%C3%B3n_por_poleas_y_correas_o_cadenas.html
- Escobar, C. (19 de junio de 2013). Recuperado el 12 de junio de 2016, de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102837127-abs-y-pla-diferencias-ventajas-y-desventajas>
- Fernández, N. (2012). *Universidad de Córdoba. Escuela Politécnica Superior*. Recuperado el 25 de mayo de 2016, <http://www.uco.es/users/ma1fegan/2011-2012/vision/Temas/Vision-artificial.pdf>
- Fundación Wikimedia, I. (1 de marzo de 2016). *Wikipedia*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso
- Genius. (2016). Recuperado el 02 de mayo de 2016, de <http://www.geniusnet.com/Genius/wSite/ct?xltem=53585&ctNode=1304>
- GENOMA. (2016). Recuperado el 01 de junio de 2016, de <http://genomalab.com.ve/index.php/especialidades-medicas/neurologia>
- Gil-Agudo, A., Dimbwadyo-Terrer, I., Peñasco-Martín, B., Reyes-Guzmán, A. d., Bernal-Sahún, A., & Berbel-García, A. (2012). Clinical experience

regarding the application of the TOyRA virtual reality system in neuro-rehabilitation of patients with spinal cord lesion. *Rehabilitación*, 41-48.

GitHub. (2014). *GitHub*. Recuperado el 12 de junio de 2016, de https://github.com/JJulio/AHRobot/tree/master/3DPrintable_parts

Gracia, M. (09 de Octubre de 2013). *Un poco de java*. Recuperado el 14 de abril de 2016, de <https://unpocodejava.wordpress.com/2013/10/09/que-es-opencv/>

Hardware, E. (2014). *enlacehw*. Recuperado el 06 de junio de 2016, de <http://www.enlacehw.com/2014/11/seasonic-x-1250-ss-1250xm2-1250w-review.html>

info-ab. (2010). Recuperado el 24 de marzo de 2016, de <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>

Interempresas. (2016). *Interempresas*. Recuperado el 30 de marzo de 2016, de <http://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/132920-Bcnvision-presenta-nuevas-soluciones-de-vision-artificial-para-picking-3D.html>

Izurieta, A. (1997). *Manual para la medición de la Eficiencia de Maniejo de un Siatema*. Costa Rica: IICA/CATIE.

Jimenez, C. (2016). <http://www.nebrija.es>. Recuperado el 02 de abril de 2016, de <http://www.nebrija.es/~cjimenez/teoria/herramientas/modos.pdf>

Julio, J. (2014). *jjrobots*. Recuperado el 28 de junio de 2016, de <http://jjrobots.com/air-hockey-robot-a-3d-printer-hack/>

Labajos, M., Pineda, C., Moreno, N., & Sánchez, E. (2004). Reducción Sensitiva de la mano. *Fisioterapia*, 114-122.

laps, p.-f. &. (2011). *pcfix-laps*. Recuperado el 12 de julio de 2016, de <http://pcfix-laps.com.mx/esp/item/11/monitor-led-lg-19-pulgadas-modelo-19m35a-b-widescreen>

LG. (2012). *LG*. Recuperado el 12 de julio de 2016, de <http://www.lg.com/za/monitors/lg-W1934S-BN-widescreen-computer-monitor>

- Lucas, G. (4 de mayo de 2011). *Mecanismos*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de <https://sites.google.com/site/gabrielmecanismos/system/app/pages/recentChanges>
- Mariano. (08 de junio de 2011). Recuperado el 28 de junio de 2016, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html>
- Martinez, E. (01 de Marzo de 2000). Recuperado el 10 de julio de 2016, de <http://www.arturosoria.com/fisioterapia/art/first.asp>
- MIARI, C. S. (2008). *El Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo*. Santorso.
- Moreno, L. (03 de mayo de 2004). *DesarrolloWeb.com*. Recuperado el 12 de abril de 2016, de <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1483.php>
- motion, E. s. (2014). *ebe-gmbh*. Recuperado el 01 de junio de 2016, de <http://www.ebe-gmbh.de/cont/de/ebe/pro/sole/std/TDS-10SL.html>
- Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. México D.F: PEARSON EDUCACIÓN.
- Mozart, A. (2011). *Scrib*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de Tornillos de Potencia: <http://es.scribd.com/doc/74973901/TORNILLOS-DE-POTENCIA>
- Mueble Kit España. (2016). Recuperado el 01 de abril de 2016, de <https://mueblekitespana.es/21-mesas-fijas>
- Mugiwara, J. (14 de junio de 2011). *Clasificación de temporizares*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de <http://clasificaciondetemporizadores.blogspot.com/2011/06/finales-de-carrera.html>
- Murie-Fernández, Irimia, P., Martinez-Vila, E., & Meyer, J. T. (2010). Neurorehabilitation after stroke. *Neurología (English Edition)*, 189-196.
- Neurología Pediátrica*. (2016). Recuperado el 28 de mayo de 2016, de <http://neurologiapediatica.org/neurofisiologia/tomografia-por-emision-de-positrones-pet/>

- Neurorehabilitación, C. C. (2011). *Neurorehabilitación*. Recuperado el 30 de marzo de 2016, de <http://www.neurorehabilitacion.com/neurorehabilitacion.htm>
- Ochoa, D., & Orellana, M. (2014). *BENEFICIOS DEL MÉTODO PERFETTI APLICADO EN MIEMBRO SUPERIOR HEMIPLÉJICO EN PACIENTES CON DIAGNOSTICO DE EVENTO CEREBRO VASCULAR, QUE ASISTEN AL CENTRO DE REHABILITACIÓN INTEGRAL DE ORIENTE, PERÍODO MAYO A JULIO DE 2014*. San Miguel.
- OpenCV, I. a. (2016). Recuperado el 30 de marzo de 2016, de <http://web-sisop.disca.upv.es/imd/cursosAnteriors/2k3-2k4/copiaTreballs/serdelal/trabajoIMD.xml>
- Ordoñez, C. (10 de Mayo de 2005). *Revista Digital Universitaria*. Recuperado el 30 de junio de 2016, de http://www.revista.unam.mx/vol.6/num5/art50/may_art50.pdf
- PCcomponentes.com*. (2016). Recuperado el 04 de mayo de 2016, de http://www.pccomponentes.com/raspberry_pi_2_modelo_b.html
- Perfetti, A. E. (2016). *AERNP*. Recuperado el 17 de febrero de 2016, de http://www.asociacionperfetti.com/a-quien-va-dirigido-metodo-perfetti_11.html
- Perfetti, C. (1997). Cognitive therapeutical exercises: A new treatment concept. *Journal of the Neurological Sciences*, S129.
- Pololu. (2006). *Pololu Robotics & Electronics*. Recuperado el 28 de junio de 2016, de <https://www.pololu.com/product/1182>
- Pololu. (2006). *Pololu Robotics & Electronics*. Recuperado el 28 de junio de 2016, de <https://www.pololu.com/product/2133>
- Pulido, A. (20 de marzo de 2009). *Aprendamos Tecnología*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de <https://aprendemostecnologia.org/2009/03/20/mecanismo-tornillo-tuerca/>

- Quiminet. (24 de abril de 2006). *Quiminet*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de <http://www.quiminet.com/articulos/que-son-los-interruptores-finales-de-carrera-7838.htm>
- QuimiNet. (20 de Marzo de 2012). Recuperado el 28 de marzo de 2016, de <http://www.quiminet.com/articulos/conozca-el-funcionamiento-de-las-luminarias-fluorescentes-2706045.htm>
- Raziel. (07 de septiembre de 2010). Recuperado el 28 de junio de 2016, de <https://at89c52proyect.wordpress.com/2010/09/07/servomotores/>
- Rego, F. J. (31 de Marzo de 2016). *D/S*. Recuperado el 31 de marzo de 2016, de FISIOTERAPIA ESPECIAL: PATOLOGÍAS DEL SISTEMA NERVIOSO:
<http://dis.um.es/~lopezquesada/WEB/WebRego/docs/02P20607/Practica1.pdf>
- RepRap. (3 de marzo de 2016). *RepRap*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de http://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor
- ROBOTICACNC. (2016). Recuperado el 01 de junio de 2016, de http://www.roboticacnc.com.mx/motores_pasos.html
- Rodríguez-Guerrero, C., Fraile, J., Pérez-Turiel, J., & Farina, P. R. (2011). Robot Biocooperativo con Modulación Háptica para Tareas de Neurorehabilitación de los Miembros Superiores. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 63-70.
- Schaeffler. (2016). *Schaeffler*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de http://www.schaeffler.com/content.schaeffler.es/es/products_services/inafagproducts/linear_products/shaftguidance/wellenfuehrungen.jsp
- Seritiummecanismos*. (2009). Recuperado el 25 de marzo de 2016, de <https://seritiummecanismos.wikispaces.com/Pi%C3%B1%C3%B3n++Cremallera>
- Servicio de Neurología Instituto Universitario Quiron Barcelona. (2016). Recuperado el 18 de abril de 2016, de <http://www.neurodexeus.org/enfermedades-neurologicas>

- Servicios de NeuroRehabilitación. Hospitales NISA. (2016). Recuperado el 19 de abril de 2016, de <http://www.neurorhb.com/blog-dano-cerebral/introduccion-al-metodo-perfetti/>
- SFK. (2007). SFK. Recuperado el 25 de marzo de 2016, de <http://www.skf.com/ve/products/linear-motion/linear-guides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbbr/index.html>
- SFK. (2007). Unidades y rodamientos lineales para ejes. *Unidades y rodamientos lineales para ejes*, 52.
- Sociedad Española de Neurología. (2010). Recuperado el 24 de marzo de 2016, de http://www.sen.es/pdf/2010/que_es_la_neurologia.pdf
- Sony Computer Entertainment America . (2014). Recuperado el 28 de junio de 2016, de <http://latam.playstation.com/ps3/accesorios/scph-98047.html>
- Sumiteccr. (2014). Recuperado el 24 de marzo de 2016, de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>
- Tecnologías de la Información Imagen Digital*. (2016). Recuperado el 31 de marzo de 2016, de <http://platea.pntic.mec.es/~lgonzale/tic/imagen/conceptos.html>
- Universidad de Barcelona. (2016). *Materials*. Recuperado el 10 de junio de 2016, de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/acrilonitrilobutadieno-estireno-abs>
- VentajasDesventajas.com*. (2016). Recuperado el 28 de junio de 2016, de <http://www.ventajasdesventajas.com/luz-fluorescente/>
- www.arduino.cc*. (06 de Abril de 2016). Recuperado el 28 de abril de 2016, de <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los señores **JONATHAN PAÚL AIMACAÑA MOLINA** y **DENNIS PAUL MONTERO JIMENEZ**.

En la ciudad de Latacunga, a los 28 días del mes de Octubre del 2016.

Aprobado por.

Ing. Andrés Gordón
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DEL CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO