



Diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica que favorezca al desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina mediante visión por computador en la empresa Artil Robotics.

Tercero Chisaguano, Juan Daniel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

16 de Febrero 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

16/02/23 13:18

JUAN DANIEL TERCERO CHISAGUANO - SU TESIS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO

JUAN DANIEL TERCERO CHISAGUANO

NOMBRE DEL ARCHIVO

JUAN DANIEL TERCERO CHISAGUANO - SU TESIS

SE HA CREADO EL INFORME

16 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	21	3 %
Fragmentos citados o entrecambiados	1	0.1 %
Coincidencias de la Web		
espe.edu.ec	2	0.5 %
laparoscopic.md	2	0.4 %
ujen.es	3	0.3 %
salusplay.com	1	0.2 %
reclut.com	1	0.2 %
guadalupechisaguano.com	2	0.1 %
unarleon.edu.mx	1	0.1 %
formlabs.com	1	0.1 %
python-docs-es.readthedocs.io	1	0.1 %
wordpress.com	2	0.1 %
roble.store	1	0.1 %
opinion-soft.com	1	0.1 %
respuestasrapidos.com.mx	1	0.1 %
docplayer.es	1	0.1 %
pauceldireto.com	1	0.1 %
academia.edu	1	0.1 %



Ing. Constante Pröcel, Patricia Nataly

C.C.:0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica que favorezca al desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina mediante visión por computador en la empresa Artil Robotics." fue realizado por el señor Tercero Chisaguano, Juan Daniel, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 16 de Febrero 2023

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly
C.C.:0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Tercero Chisaguano, Juan Daniel**, con cédula de ciudadanía No. 1805157144 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica que favorezca al desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina mediante visión por computador en la empresa Artil Robotics."** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 16 de Febrero 2023


Juan Tercero Chisaguano
C.C.: 1805157144



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo, **Tercero Chisaguano, Juan Daniel**, con cédula de ciudadanía No. 1805157144 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica que favorezca al desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina mediante visión por computador en la empresa Artil Robotics."** en el repositorio institución, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 16 de Febrero 2023



Juan Tercero Chisaguano
C.C.: 1805157144

Dedicatoria

"A mis queridos padres Juan y María, por su constante apoyo y amor incondicional, que me han brindado la seguridad y motivación necesarias para alcanzar mis metas. Gracias por creer en mí y por ser mi pilar.

A mi hermano Patricio y a mi hermana Marisol, por sus risas, consejos y amistad incondicional. Gracias por ser parte integral de mi vida y por ser mis compañeros de aventuras. Este logro también es suyo.

Este trabajo es un homenaje a mi familia, quienes han sido la fuente de mi inspiración y motivación. Les dedico esta tesis con todo mi amor."

Agradecimiento

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mis compañeros Edgar, Fercho, Yumiceba y Ronny, quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y colaboración. Asimismo, mi agradecimiento a todo el equipo de Artil Robotics, Edu y Marce, quienes siempre estuvieron dispuestos a brindar su ayuda y apoyo incondicional en todo momento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido	8
Índice de tablas.....	15
Índice de figuras	18
Resumen.....	22
Abstract	23
Capítulo I: Fundamentación Teórica.....	24
Introducción.....	24
Objetivos.....	25
<i>Objetivo General</i>	25
<i>Objetivo Específico</i>	25
Hipótesis	25
Variables de la Investigación.....	26
<i>Variable independiente</i>	26

<i>Variable dependiente</i>	26
Cirugía Laparoscópica.....	26
Instrumentos laparoscópicos.....	27
<i>Laparoscopia</i>	27
<i>Trocar</i>	28
<i>Pinzas</i>	29
<i>Cámara de video y pantalla</i>	29
Simulación médica.....	30
Entrenamiento basado en simulación.....	31
Entrenador laparoscópico.....	31
<i>Entrenador laparoscópico casero</i>	32
<i>Entrenador laparoscópico clásico</i>	32
<i>Entrenador laparoscópico háptico</i>	33
Curva de aprendizaje.....	34
<i>Medición de la curva de aprendizaje</i>	35
Visión por computadora.....	35
OpenCV.....	35
Espacio de color RBG.....	36
Espacio de color HSV.....	37
Python.....	38
<i>NumPy</i>	39
<i>Matplotlib</i>	40
PyQt.....	40
Firestore.....	41

Flutter	42
Capítulo II: Diseño Mecatrónico del Entrenador Laparoscópico.....	43
Necesidades del cliente	43
<i>Métricas</i>	44
Requerimientos técnicos	44
Propuesta.....	45
<i>Propuesta subsistema aplicación de escritorio</i>	45
<i>Propuesta subsistema aplicación móvil</i>	49
<i>Propuesta del subsistema electrónico</i>	51
<i>Propuesta del subsistema mecánico</i>	52
Selección de componentes del sistema	53
<i>Selección de componentes del subsistema electrónico</i>	54
<i>Selección de Iluminación</i>	54
<i>Selección regulador de voltaje</i>	56
<i>Selección Adaptador</i>	58
<i>Conectores para alimentación DC hembra</i>	60
<i>Cable</i>	61
Selección de componentes del subsistema mecánico.....	61
<i>Selección material de la estructura</i>	62
<i>Selección del material para elementos rígidos</i>	64
<i>Selección del material para elementos flexibles</i>	66
Selección lenguaje de programación para aplicación de escritorio.....	68
<i>Selección del lenguaje para algoritmo de visión por computador</i>	68

<i>Selección de la librería para interfaz gráfica</i>	70
Selección de la base de datos	72
Selección del framework para aplicación móvil.....	73
Diseño del sistema mecánico.....	75
<i>Diseño de la estructura</i>	76
<i>Orificios de inserción</i>	78
<i>Soporte para la cámara</i>	79
<i>Carcasa</i>	80
Análisis CAE del Entrenador Laparoscópico	81
<i>Análisis estático de la estructura</i>	81
Diseño electrónico	85
Capítulo III: Construcción y programación	87
Construcción del entrenador laparoscópico mediante visión por computador	87
<i>Impresión 3D</i>	87
<i>Corte láser estructura</i>	89
Ensamble del entrenador laparoscópico	89
<i>Ensamble del sistema electrónico</i>	91
<i>Ensamble de la estructura</i>	92
<i>Entrenador laparoscópico</i>	93
Desarrollo del algoritmo de visión por computadora	93
<i>Detección de los instrumentos laparoscópicos</i>	94
<i>Detección del área de trabajo</i>	95
<i>Cálculo de la altura</i>	97

<i>Tracking instrumentos laparoscópicos</i>	98
<i>Posición de los instrumentos laparoscópicos</i>	99
<i>Velocidad de los instrumentos laparoscópicos</i>	100
<i>Aceleración de los instrumentos laparoscópicos</i>	101
<i>Trayectoria 3D instrumentos laparoscópicos</i>	102
Desarrollo de la aplicación escritorio	103
<i>Venta uno inicio de sesión</i>	103
<i>Ventana dos pestaña “Trainer”</i>	105
<i>Ventana dos pestaña “Data”</i>	107
Base de datos	108
<i>Estructura de los datos</i>	108
Desarrollo aplicación móvil	109
<i>Ventana uno inicio de sesión</i>	109
<i>Ventana dos menús</i>	110
Capítulo IV: Pruebas y resultados	112
Pruebas medición por visión por computadora	112
<i>Precisión y exactitud de la medición por visión por computador</i>	114
Pruebas y resultados entrenador laparoscópico mediante visión por computador	116
<i>Ejercicios realizados</i>	118
Curva de aprendizaje	119
<i>Resultados y análisis del ejercicio 1</i>	119
<i>Resultados y análisis del ejercicio 2</i>	120
<i>Resultados y análisis destreza bi-manual y percepción de profundidad</i>	122

<i>Resultados y análisis del ejercicio 1</i>	122
<i>Resultados y análisis del ejercicio 2</i>	123
<i>Distancia recorrida</i>	125
<i>Análisis de acuerdo a la escala GOALS</i>	126
Satisfacción del entrenador laparoscópico mediante visión por computador	127
<i>La pregunta 1: ¿Ha utilizado algún tipo entrenadores laparoscópico?</i>	127
<i>La pregunta 2 es ¿Ha utilizado algún tipo de entrenador laparoscópico mediante visión por computador?</i>	128
<i>La pregunta 3: ¿Es fácil de transportar en entrenador laparoscópico desarrollado?</i>	128
<i>La pregunta 4: ¿Le pareció buen la calidad del video?</i>	129
<i>La pregunta 5: ¿La iluminación le parece correcta?</i>	129
<i>La pregunta 6: ¿Cuál de los siguientes datos que le indican el entrenador laparoscópico mediante visión por computador son de utilidad, Posición, Velocidad Aceleración o Tiempo?</i>	130
<i>La pregunta 7: ¿Qué gráfica presenta le llamo más la atención, Posición Velocidad Aceleración o Trayectoria 3D?</i>	131
<i>La pregunta 8: ¿Tuvo algún inconveniente al introducir y manipular los instrumentos laparoscópicos a través de los orificios de inserción?</i>	131
<i>La pregunta 9: ¿Si estuviese en el mercado el entrenador mediante visión por computador lo compraría?</i>	132
<i>La pregunta 10: ¿La aplicación móvil le pareció fácil de utilizar?</i>	132
<i>Satisfacción por parte del experto</i>	132
Validación hipótesis	133

<i>Planteamiento de la Hipótesis</i>	133
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	137
Conclusiones	137
Recomendaciones	138
Bibliografía	139
Anexos	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Necesidades del Cliente</i>	43
Tabla 2 <i>Métricas</i>	44
Tabla 3 <i>Elemento y numeración propuesta subsistema mecánico</i>	53
Tabla 4 <i>Características técnicas iluminación</i>	54
Tabla 5 <i>Criterio de selección iluminación</i>	55
Tabla 6 <i>Calificación de alternativa de iluminación</i>	55
Tabla 7 <i>Características técnicas regulador de voltaje</i>	56
Tabla 8 <i>Criterio de selección regulador de voltaje</i>	57
Tabla 9 <i>Calificación de alternativa regulador de voltaje</i>	57
Tabla 10 <i>Consumo circuito electrónico</i>	58
Tabla 11 <i>Características técnicas del adaptador</i>	59
Tabla 12 <i>Criterio de selección regulador de voltaje</i>	59
Tabla 13 <i>Calificación de alternativa regulador de voltaje</i>	60
Tabla 14 <i>Conector hembra para alimentación DC</i>	61
Tabla 15 <i>Características del cable según la norma AWG</i>	61
Tabla 16 <i>Características de materiales para la estructura</i>	62
Tabla 17 <i>Criterio de selección material de la estructura</i>	63
Tabla 18 <i>Calificación de alternativa material de la estructura</i>	64
Tabla 19 <i>Características materiales para impresión 3D</i>	65
Tabla 20 <i>Criterio de selección material para elementos rígidos</i>	65
Tabla 21 <i>Calificación de alternativa material para elementos rígidos</i>	66
Tabla 22 <i>Ponderación de selección material para elementos rígidos</i>	66
Tabla 23 <i>Criterio de selección material para elementos flexibles</i>	67

Tabla 24 <i>Calificación de alternativa para material elementos flexibles</i>	67
Tabla 25 <i>Lenguajes de programación para visión por computador</i>	68
Tabla 26 <i>Criterio de selección para lenguaje de programación</i>	69
Tabla 27 <i>Calificación de alternativa para lenguaje de programación</i>	69
Tabla 28 <i>Librerías para interfaz gráfica con Python</i>	70
Tabla 29 <i>Criterio de selección de la librería para interfaz gráfica</i>	71
Tabla 30 <i>Calificación de alternativa de la librería para interfaz gráfica</i>	71
Tabla 31 <i>Programas para bases de datos</i>	72
Tabla 32 <i>Criterio de selección de la base de datos</i>	72
Tabla 33 <i>Calificación de alternativa de la base de datos</i>	73
Tabla 34 <i>Framework para desarrollo aplicación móvil</i>	74
Tabla 35 <i>Criterio de selección del framework</i>	74
Tabla 36 <i>Calificación de alternativa de framework</i>	75
Tabla 37 <i>Medidas de la estructura</i>	77
Tabla 38 <i>Fuerzas externas</i>	82
Tabla 39 <i>Parámetros de impresión para elementos 3D</i>	88
Tabla 40 <i>Elemento para ensamble del entrenador laparoscópico</i>	90
Tabla 41 <i>Elemento de la ventana uno inicio de sesión</i>	104
Tabla 42 <i>Elementos de la venta dos pestaña “Trainer”</i>	106
Tabla 43 <i>Elementos de la venta dos pestaña “Data”</i>	108
Tabla 44 <i>Elemento de la ventana uno inicio de sesión</i>	110
Tabla 45 <i>Ventana dos menús</i>	111
Tabla 46 <i>Resultados obtenidos por visión por computador</i>	114
Tabla 47 <i>Resultados de exactitud y precisión</i>	116

Tabla 48 <i>Escala GOALS</i>	117
Tabla 49 <i>Pasos para la adquirir datos</i>	117
Tabla 50 <i>Ejercicios realizados</i>	118
Tabla 51 <i>Calificación destreza bi-manual</i>	127
Tabla 52 <i>Calificación percepción de profundidad</i>	127
Tabla 53 <i>Validación de hipótesis</i>	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Cirugía laparoscópica</i>	26
Figura 2 <i>Laparoscopios quirúrgicos</i>	28
Figura 3 <i>Trocar</i>	28
Figura 4 <i>Pinza de laparoscopia y sus partes</i>	29
Figura 5 <i>Cámara de video para cirugía mínimamente invasiva</i>	30
Figura 6 <i>Dimensiones y características de la caja de entrenamiento</i>	32
Figura 7 <i>Entrenador de Cirugía Laparoscópica</i>	33
Figura 8 <i>Simulador para cirugía mínimamente invasiva LAP MENTOR</i>	34
Figura 9 <i>Logo de OpencV</i>	36
Figura 10 <i>Espacios de color RGB</i>	37
Figura 11 <i>Espacio de color HSV</i>	38
Figura 12 <i>Logo de Python</i>	39
Figura 13 <i>Logo de Numpy</i>	39
Figura 14 <i>Logo de Matplotlib</i>	40
Figura 15 <i>Logo PyQt</i>	41
Figura 16 <i>Logo de Firebase</i>	42
Figura 17 <i>Logo de Flutter</i>	42
Figura 18 <i>Diagrama de flujo subsistema aplicación de escritorio</i>	46
Figura 19 <i>Propuesta aplicación de escritorio, ventana uno</i>	47
Figura 20 <i>Propuesta aplicación de escritorio, ventana dos, pestaña "Trainer"</i>	47
Figura 21 <i>Propuesta aplicación de escritorio, ventana dos, pestaña "Data"</i>	48
Figura 22 <i>Diagrama de flujo aplicación móvil</i>	49
Figura 23 <i>Propuesta aplicación móvil, ventana uno</i>	50

Figura 24 <i>Propuesta aplicación móvil, ventana dos</i>	51
Figura 25 <i>Propuesta subsistema electrónico</i>	52
Figura 26 <i>Propuesta del subsistema mecánico</i>	53
Figura 27 <i>Ponderación de selección iluminación</i>	56
Figura 28 <i>Ponderación de selección regulador de voltaje</i>	58
Figura 29 <i>Ponderación de selección del adaptador</i>	60
Figura 30 <i>Ponderación de selección material de la estructura</i>	64
Figura 31 <i>Ponderación de selección material para elementos flexibles</i>	68
Figura 32 <i>Ponderación de selección material para lenguaje de programación</i>	70
Figura 33 <i>Ponderación de selección de la librería para interfaz gráfica</i>	71
Figura 34 <i>Ponderación de selección de la base de datos</i>	73
Figura 35 <i>Ponderación de selección del framework</i>	75
Figura 36 <i>Esquema sistema mecánico</i>	76
Figura 37 <i>Dimensiones de le estructura</i>	77
Figura 38 <i>Vista superior estructura incluyendo sus subsistemas</i>	78
Figura 39 <i>Orificios de inserción</i>	79
Figura 40 <i>Soporte para la cámara</i>	80
Figura 41 <i>Carcasa para fijar el circuito eléctrico a la estructura</i>	80
Figura 42 <i>Elementos en un entrenamiento</i>	81
Figura 43 <i>Condiciones de contorno en la estructura</i>	82
Figura 44 <i>Vista frontal isométrica de la estructura</i>	83
Figura 45 <i>Vista frontal isométrica de la estructura</i>	84
Figura 46 <i>Esfuerzo en la estructura</i>	85
Figura 47 <i>Esquema general del diseño electrónico</i>	86

Figura 48 <i>Ubicación iluminación LED</i>	86
Figura 49 <i>Elemento Impreso en 3D</i>	88
Figura 50 <i>Elementos de la estructura elaborado por corte láser</i>	89
Figura 51 <i>Ensamble del sistema electrónico</i>	91
Figura 52 <i>Ensamble de la estructura</i>	92
Figura 53 <i>Entrenador laparoscópico</i>	93
Figura 54 <i>Detección de instrumento laparoscópico izquierdo (Cinta naranja)</i>	94
Figura 55 <i>Detección de los instrumento laparoscópico derecho (Cinta azul)</i>	95
Figura 56 <i>Detección del área de trabajo</i>	96
Figura 57 <i>Transformación de perspectiva</i>	96
Figura 58 <i>Medición de la altura</i>	97
Figura 59 <i>Gráfica área de la cinta del instrumento vs ubicación en el eje z</i>	97
Figura 60 <i>Grafica de los polinomios calculados</i>	98
Figura 61 <i>Tracking instrumentos laparoscópicos</i>	99
Figura 62 <i>Posición de los instrumentos</i>	100
Figura 63 <i>Velocidad de los instrumentos</i>	101
Figura 64 <i>Aceleración de los instrumentos</i>	102
Figura 65 <i>Trayectoria 3D instrumentos</i>	103
Figura 66 <i>Ventana uno inicio de sesión</i>	104
Figura 67 <i>Ventana dos pestaña “Trainer”</i>	105
Figura 68 <i>Ventana dos pestaña “Trainer” entrenamiento iniciado</i>	106
Figura 69 <i>Ventana dos pestaña “Data”</i>	107
Figura 70 <i>Estructura de los datos</i>	109
Figura 71 <i>Ventana uno inicio de sesión</i>	110

Figura 72 <i>Ventana dos menús</i>	111
Figura 73 <i>Prueba en impresora 3D tipo delta</i>	112
Figura 74 <i>Código G para trayectoria de un cubo</i>	113
Figura 75 <i>Trayectoria obtenida por visión por computador</i>	113
Figura 76 <i>Elementos para desarrollar ejercicios</i>	119
Figura 77 <i>Ejercicio 1</i>	120
Figura 78 <i>Ejercicio 2</i>	121
Figura 79 <i>Primera práctica Ejercicio 1</i>	122
Figura 80 <i>Tercera práctica Ejercicio 1</i>	123
Figura 81 <i>Primera práctica Ejercicio 2</i>	124
Figura 82 <i>Tercera práctica Ejercicio 2</i>	125
Figura 83 <i>Distancia recorrida</i>	126
Figura 84 <i>Respuesta pregunta 1</i>	128
Figura 85 <i>Respuesta pregunta 2</i>	128
Figura 86 <i>Respuesta pregunta 3</i>	129
Figura 87 <i>Respuesta pregunta 4</i>	129
Figura 88 <i>Respuesta pregunta 5</i>	130
Figura 89 <i>Respuesta pregunta 6</i>	130
Figura 90 <i>Respuesta pregunta 7</i>	131
Figura 91 <i>Respuesta pregunta 8</i>	131
Figura 92 <i>Respuesta pregunta 9</i>	132
Figura 93 <i>Respuesta pregunta 10</i>	132
Figura 94 <i>T- Student</i>	134

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica mediante visión por computadora, con el objetivo de favorecer el desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina. Se parte de la investigación de simuladores laparoscópicos existentes en el mercado, sus componentes y prestaciones, y se toman en cuenta las necesidades específicas que requiere un experto en cirugía laparoscópica. Se desarrolla un modelo de entrenador laparoscópico que cuenta con una estructura plegable que facilita su transporte, un circuito que permite variar la intensidad de las luces LED, una aplicación de escritorio que trabaja con un algoritmo de visión por computadora que realiza el tracking de instrumentos laparoscópicos, lo que permite calcular la distancia recorrida, velocidad, aceleración, tiempo, si se sale del área de trabajo y cuánto tiempo se mantuvo fuera. Además, permite al estudiante interactuar con el entrenador a través de una interfaz gráfica, almacenar los datos en una base de datos, guardar el video del entrenamiento realizado y brinda la opción de visualizar las gráficas de posición, velocidad, aceleración, trayectoria en 3D, tanto del instrumento derecho como del izquierdo y una aplicación móvil que permite ver los datos de entrenamientos realizados. El entrenador ayuda a mejorar habilidades como la percepción de la profundidad, destreza bi-manual y a reducir los tiempos de ejecución al realizar los entrenamientos.

Palabras clave: laparoscopia, visión por computador, tracking, tiempo.

Abstract

In this degree work, the design and implementation of a laparoscopic surgery trainer through computer vision is presented, with the aim of promoting the development of motor skills in medical students. It is based on the investigation of existing laparoscopic simulators on the market, their components and benefits, and the specific needs required by an expert in laparoscopic surgery are taken into account. A laparoscopic trainer model is developed that has a folding structure that facilitates its transport, a circuit that allows to vary the intensity of the LED lights, a desktop application that works with a computer vision algorithm that tracking laparoscopic instruments. , which allows calculating the distance traveled, speed, acceleration, time, if you leave the work area and how long you stayed outside. In addition, it allows the student to interact with the trainer through a graphical interface, store the data in a database, save the video of the training carried out and offers the option of viewing the position, velocity, acceleration and trajectory graphs in 3D, both the right and left instrument and a mobile application that allows you to see the data of training carried out. The trainer helps improve skills such as depth perception, bi-manual dexterity, and reduce execution times when performing workouts.

Key words: laparoscopy, computer vision, tracking, time.

Capítulo I

Fundamentación Teórica

Introducción

La Mecatrónica ha experimentado un gran avance en su integración a la medicina en los últimos años, tanto en la creación de equipo médico tradicional como avanzados los cuales permiten realizar diferentes prácticas médicas, como la cirugía laparoscópica. La laparoscopia es un tipo de cirugía mínimamente invasiva, que lo realiza un médico cirujano, para prepararse utilizan entrenadores y simuladores, que les permiten realizar diferentes prácticas y ejercicios, adquiriendo así destrezas y mejorando sus habilidades motrices. Entrenarse y practicar en simuladores mejora y perfecciona las habilidades y destrezas laparoscópicas, se estandarizan las tareas y procedimientos de entrenamiento, los objetivos se protocolizan, su uso es seguro, las tareas son de repetición ilimitada, hay autoaprendizaje y el costo del equipo, sumamente bajo, hace de este ejercicio un costo-beneficio invaluable (Menchaca & Méndez, 2014). La sinergia de los entrenadores básicos con las prestaciones de que poseen los entrenadores avanzados, reduciría su costo y facilitaría el acceso a los estudiantes y docentes de medicina, permitiéndoles tener un aprendizaje óptimo, que su curva de aprendizaje sea rápida y que favorezca el desarrollo de sus habilidades motrices, esto se puede lograr implementando algoritmos de visión por computador que calculen datos como posición, velocidad, aceleración y tiempo, pues el software es escalable y se puede utilizar en cualquier computadora y en conjunción con un entrenador clásico o tradicional obtener los mismo resultados que hacer uso de entrenadores avanzados.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un entrenador para cirugía laparoscópica que favorezca al desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina mediante visión por computador en la empresa Artil Robotics

Objetivo Específico

- Diseñar la estructura CAD con un soporte para la cámara y orificios de inserción para la introducción de los instrumentos laparoscópicos.
- Desarrollar el algoritmo de visión por computador para obtener la posición, velocidad y aceleración de los instrumentos laparoscópicos.
- Desarrollar una interfaz gráfica para visualizar los datos de los entrenamientos obtenidos por visión por computador.
- Desarrollar la aplicación móvil para visualizar el historial de los entrenamientos realizados.
- Realizar pruebas y verificar los resultados del entrenador para cirugía laparoscópica que favorezca al desarrollo de las habilidades motrices.

Hipótesis

El diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica mediante visión por computador favorecerá el desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina en la empresa Artil Robotics.

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Variable independiente

Entrenador para cirugía laparoscópica mediante visión por computador.

Variable dependiente

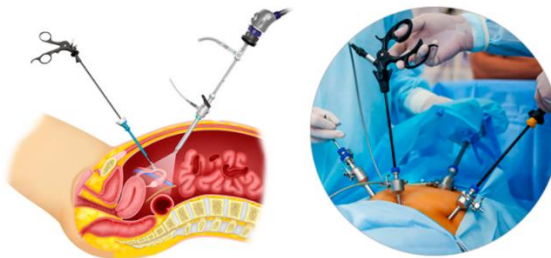
Favorecerá el desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina Ambato.

Cirugía Laparoscópica

La técnica de cirugía "mínimamente invasiva" o laparoscópica es una forma especializada de realizar cirugía, como se puede observar en la Figura 1. Antes, se utilizaba principalmente para la cirugía ginecológica y de vesícula biliar, pero en los últimos años su uso se ha ampliado a incluir la cirugía intestinal. En comparación con la cirugía abierta, que requiere una sola incisión en el abdomen, la cirugía laparoscópica se realiza a través de varias incisiones de 0.5 a 1 cm, conocidas como "puertos", por donde se insertan instrumentos tubulares llamados trocares.

Figura 1

Cirugía laparoscópica



Nota. Tomado de (Higgins, 2021).

Durante el procedimiento, se utiliza una cámara especial llamada laparoscopio para transmitir imágenes de la cavidad abdominal a los monitores de video de alta resolución del quirófano. El abdomen se inflama con dióxido de carbono para proporcionar visibilidad y espacio de trabajo. El cirujano puede realizar las mismas operaciones que en la cirugía abierta, pero con incisiones más pequeñas, observando las imágenes detalladas del abdomen en el monitor (Rueda, 2018).

Con esta tecnología, se pueden extirpar el colon o el riñón de manera mínimamente invasiva (en caso de donantes vivos de trasplante de riñón) y realizar procedimientos para perder peso como el bypass gástrico y la gastroplastia vertical en banda o anillada. Por último, procedimientos más grandes como la extracción del hígado y el páncreas pueden empezar con cirugía laparoscópica para determinar si existen tumores adicionales que dificultan la curación de la enfermedad mediante una cirugía abierta (Barberán, s.f).

Instrumentos laparoscópicos

En la cirugía laparoscópica, se utilizan herramientas compuestas por materiales duraderos y de alta calidad, como acero inoxidable. Estos instrumentos tienen un eje estrecho para caber en los puertos laparoscópicos y su tamaño varía entre 3 mm, 5 mm y 10 mm, según la figura 2. Se usan junto con un laparoscopio, un dispositivo que cuenta con una luz fría y una cámara de vídeo. Para ampliar la área de operación, se inflama la región abdominal con gases inertes, como el dióxido de carbono, lo que aumenta la separación entre los órganos y la pared abdominal (Laparoscopia.MD, s.f.).

Laparoscopio

Los laparoscopios modernos como se aprecia en la Figura 2, utilizados en procedimientos mínimamente invasivos han evolucionado a lo largo del tiempo. Ya no se trata

de simples tubos huecos, sino de dispositivos avanzados que incluyen una cámara CCD, un sistema de visualización, un limpiador de lentes y un suministro de energía (Laparoscopia.MD, s.f.).

Figura 2

Laparoscopios quirúrgicos



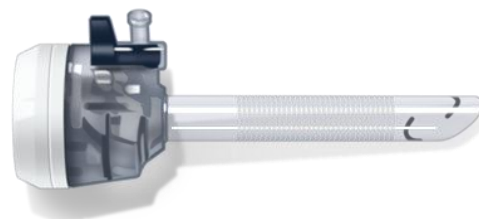
Nota. Tomado de (Laparoscopia.MD, s.f.).

Trocar

Un trocar tiene la forma de un bolígrafo y tiene una punta triangular aguda, como se ve en la Figura 3. Los trocares generalmente se colocan dentro de cánulas huecas y se introducen dentro de las cavidades corporales para ayudar a drenar los fluidos. Los trocares ahora se conocen como el dispositivo de entrada inicial y la cánula hueca utilizada durante la operación. Estos instrumentos juegan un papel importante en la cirugía laparoscópica. Instrumentos como tijeras y pinzas se introducen usando trocares quirúrgicos.

Figura 3

Trocar



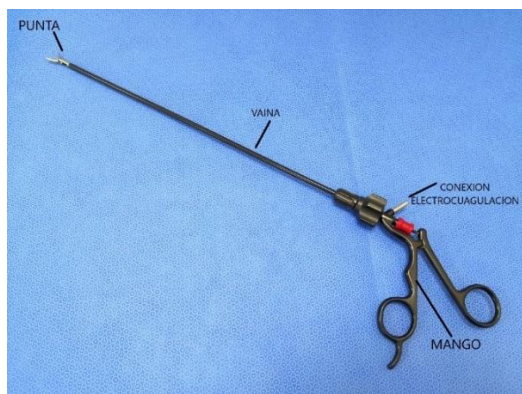
Nota. Tomado de (Laparoscopia.MD, s.f.).

Pinzas

Pinza de laparoscopia, están compuestos por tres partes, como se observa en la Figura 4, aunque también existen algunos que son de una sola pieza no desmontable. Los mangos son ergonómicos y permiten a los cirujanos actuar con poca fuerza. Además, suelen tener un sistema de anclaje para mantener la pinza cerrada en el tejido sin necesidad de apretar constantemente. Algunos mangos también pueden tener un macho metálico para conectar la electrocoagulación, y estas pinzas están recubiertas de un material que impide la conducción eléctrica para coagular solo con la punta. Las vainas de algunos instrumentos laparoscópicos también pueden tener una ruleta que permite girar la punta de la pinza 360 grados sin mover el mango (SalusPlay, 2021).

Figura 4

Pinza de laparoscopia y sus partes



Nota. Tomado de (SalusPlay, 2021).

Cámara de video y pantalla

La cámara y el monitor deben tener una conexión estable para evitar interrupciones en la transmisión de la señal y una calidad de imagen pobre. También es posible utilizar

dispositivos adicionales como splitter o grabadores para distribuir la señal a varios monitores simultáneamente y permitir una mayor visibilidad para los miembros del equipo quirúrgico, como se observa en la Figura 5. La resolución y el formato de la cámara y el monitor deben ser compatibles para preservar la calidad de la imagen y tener una transmisión fluida. Además, es importante que la distancia y la conexión entre la cámara y el monitor sean adecuadas.

Figura 5

Cámara de video para cirugía mínimamente invasiva



Nota. Tomado de (SalusPlay, 2021).

Simulación médica

La simulación médica es una herramienta valiosa que permite a los profesionales de la salud mejorar sus habilidades y conocimientos antes de realizar procedimientos en pacientes reales. Esto no solo mejora la seguridad de los pacientes, sino que también permite a los profesionales de la salud mejorar su confianza y habilidades en situaciones complejas. La simulación médica puede incluir una variedad de técnicas, como modelos de simulación en vivo, simuladores de procedimientos y tecnologías de realidad virtual. La utilización de la

simulación en la formación médica es cada vez más común y se considera esencial para garantizar una atención médica de alta calidad y segura. (Vela, Contreras, Jarry, Varas, & Corvetto, 2020).

Entrenamiento basado en simulación

Siempre se ha trabajado bajo el método maestro-aprendiz, el cual no garantiza que los cirujanos en formación reciban una formación exhaustiva y equilibrada en todas las técnicas y habilidades necesarias para desempeñarse con éxito en su profesión. Por esta razón, la simulación en cirugía se ha vuelto un complemento valioso al entrenamiento tradicional, ya que permite a los cirujanos en formación practicar habilidades y técnicas en un ambiente controlado y seguro, sin riesgo para pacientes ni profesionales. La simulación también permite a los formadores evaluar el desempeño y el conocimiento de los cirujanos en formación de una manera más objetiva y sistemática (García, Arias , & Valencia, 2011).

Entrenador laparoscópico

Los entrenadores laparoscópicos o endotrainers han sido diseñados para mejorar las habilidades de los cirujanos en cirugía laparoscópica avanzada. Estos simuladores imitan los movimientos y habilidades necesarias para realizar una operación, desde niveles simples hasta complejos. Incluyen coordinación visual y movimiento, así como la capacidad de realizar técnicas difíciles como atar nudos, coser o hacer disecciones complejas. Estas habilidades son esenciales para un cirujano laparoscópico y se pueden mejorar con la práctica en el entrenamiento laparoscópico. Además de ser útiles para cirujanos, también son valiosos para ginecólogos y urólogos que realizan cirugías laparoscópicas avanzadas. Muchos centros médicos incluyen estos artefactos en sus programas de formación y muchos cirujanos ya formados tienen un simulador personal para mejorar sus habilidades y mantenerse

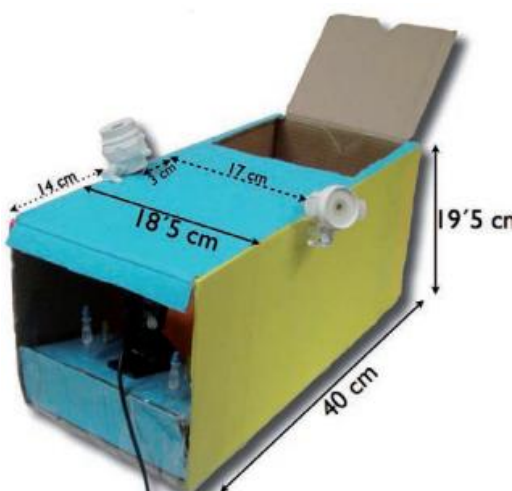
actualizados. (Guía del Cirujano, 2019), existen diferentes tipos, desde los llamados tradicionales hasta los más avanzados como solo los hápticos.

Entrenador laparoscópico casero

Es posible crear un simulador de cirugía laparoscópica en el hogar como el que se observa en la Figura 6, con un costo mínimo, usando una caja con orificios donde se pueden insertar pinzas laparoscópicas descartadas. Este es útil para mejorar la coordinación de las manos y para empezar a practicar la elaboración de nudos, pero no ofrece una experiencia laparoscópica realista y puede ser difícil conseguir las pinzas y otros instrumentos necesarios (Guía del Cirujano, 2019).

Figura 6

Dimensiones y características de la caja de entrenamiento



Nota. Tomado de (Pietricica, et al., 2012).

Entrenador laparoscópico clásico

El entrenador laparoscópico clásico es un simulador de cirugía elaborado por empresas con un armado profesional, como el que se observa en la Figura 7. Se asemeja a la posición de

los trocares en la cirugía y suele incluir pinzas y una cámara, permitiendo a los cirujanos ver los ejercicios en una pantalla similar a la cirugía real. Es recomendado para cirujanos en formación o para mejorar habilidades. Permite practicar nudos y suturas laparoscópicas, así como coordinación y visión en pantalla. Algunos modelos incluyen una cámara con USB para conectar al ordenador y otros incluyen una pantalla incorporada. El precio ronda los 400-500 dólares (Guía del Cirujano, 2019).

Figura 7

Entrenador de Cirugía Laparoscópica

Geyi



Nota. Tomado de (geyimedicals, 2022).

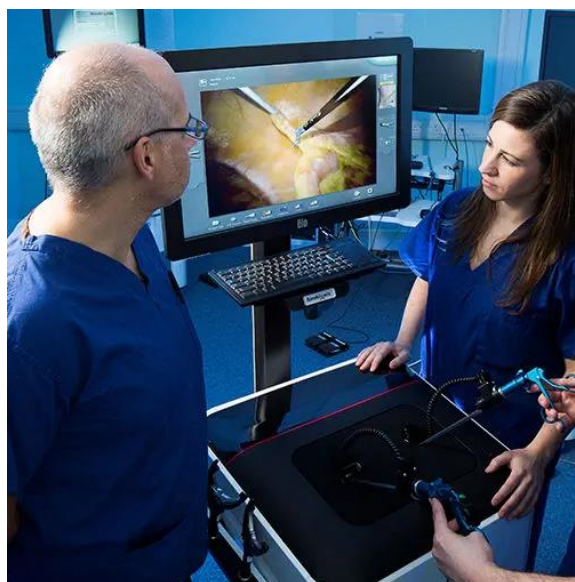
Entrenador laparoscópico háptico

Los entrenadores laparoscópicos de mayor complejidad son simuladores diseñados por empresas tecnológicas que utilizan un sistema de computadora para crear ejercicios de cirugía, como el que se observa en la Figura 8. Son recomendados para cirujanos ya formados en laparoscopia que buscan expandir sus habilidades hacia operaciones más complejas. Su costo puede variar entre 2000 y 5000 dólares, aunque algunos pueden ser más caros. Adquirir uno

puede ser una gran ventaja para mejorar las habilidades en solucionar casos quirúrgicos más complejos (Guía del Cirujano, 2019).

Figura 8

Simulador para cirugía mínimamente invasiva LAP MENTOR



Nota. Tomado de (Medical EXPO, 2015).

Curva de aprendizaje

La curva de aprendizaje se refiere a la mejora en el tiempo y la eficiencia de un individuo al realizar una tarea. Se aplica en ámbitos como medicina, educación y administración de proyectos, y se usa para evaluar la eficacia de los programas de entrenamiento. En medicina, la curva de aprendizaje se aplica a la habilidad de un cirujano para realizar una operación con mayor eficiencia y precisión. A medida que un cirujano realiza más operaciones similares, su tiempo y eficiencia mejoran, lo que se debe a la combinación de experiencia y habilidad. La identificación de un cirujano "término medio" permite comparar el progreso de diferentes cirujanos y establecer una línea base para la evaluación del rendimiento. La curva de

aprendizaje describe el proceso de adquisición de habilidades a lo largo del tiempo a través de la práctica y la repetición (Latiff, 2005).

Medición de la curva de aprendizaje

En una revisión de curvas de aprendizaje en tecnologías de la salud, Ramsay describió dos tipos de variables para evaluar el aprendizaje: la medición de los resultados obtenidos en el paciente y la medición del proceso clínico o eficiencia de la tarea. Algunas de las mediciones comúnmente utilizadas del resultado incluyen la incidencia de complicaciones y la sobrevida, sin embargo, el análisis estadístico de estas mediciones puede ser más complicado. Por lo tanto, otros estudios utilizan mediciones como el tiempo quirúrgico o el período de hospitalización. Además, se han reportado diferentes métodos estadísticos en la evaluación de la curva de aprendizaje (Latiff, 2005).

Visión por computadora

La visión por computadora es una tecnología que permite a los equipos capturar, procesar y generar información a partir de imágenes del mundo real. Esto les da la capacidad de "ver" y tomar decisiones inteligentes en base a su entorno, lo que ha permitido el diseño de maquinaria industrial y colaborativa altamente flexible (EDS Robotics, 2022).

Es el proceso que consiste en tomar una imagen y crear una versión modificada de ella, esto según lo que se desee encontrar en la imagen (Mery, 2004).

OpenCV

OpenCV es una biblioteca de software de aprendizaje automático y visión artificial de código abierto que se creó para proporcionar una infraestructura común para las aplicaciones de visión por computadora y acelerar el uso de la percepción de la máquina en los productos comerciales, su logo se puede observar en la Figura 9. Con una licencia de Apache 2, facilita

que las empresas utilicen y modifiquen el código. La biblioteca cuenta con más de 2500 algoritmos optimizados que incluyen un conjunto completo de algoritmos clásicos y de última generación de aprendizaje automático y visión por computadora, permitiendo detectar y reconocer rostros, identificar objetos, clasificar acciones humanas en videos, rastrear movimientos, producir modelos 3D, unir imágenes para producir imágenes de alta resolución, encontrar imágenes similares, eliminar ojos rojos, seguir movimientos de ojos, reconocer escenarios y superponer realidad aumentada. OpenCV cuenta con una amplia comunidad de usuarios con más de 47 mil personas y un número estimado de descargas que superan los 18 millones, siendo ampliamente utilizada en empresas, grupos de investigación y organismos gubernamentales (OpenCV, 2020).

Figura 9

Logo de OpencV



Nota. Tomado de (OpenCV, 2020).

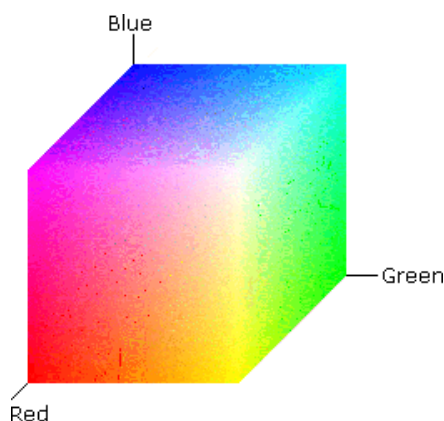
Espacio de color RBG

La creación de un espacio de color RGB se lleva a cabo mediante la asignación de los colores rojo, verde y azul en un sistema de coordenadas cartesianas 3D, como se observa en la Figura 10, formando un cubo 3D que puede ser visto desde diferentes ángulos. El origen del

sistema de coordenadas es negro (donde todos los componentes RGB son 0), mientras que la esquina opuesta del cubo es blanca (donde los componentes RGB están en su máximo valor). Para normalizar el espacio de color RGB, los valores de color están restringidos en un intervalo de cero a uno, con negro representado por (0.0, 0.0, 0.0) y blanco representado por (1.0, 1.0, 1.0). Los colores primarios en el espacio RGB son rojo, verde y azul, mientras que los secundarios son cian, amarillo y magenta. Finalmente, los espacios de color RGB pueden ser dependientes o independientes del dispositivo (Microsoft, 2022).

Figura 10

Espacios de color RGB



Nota. Tomado de (Microsoft, 2022).

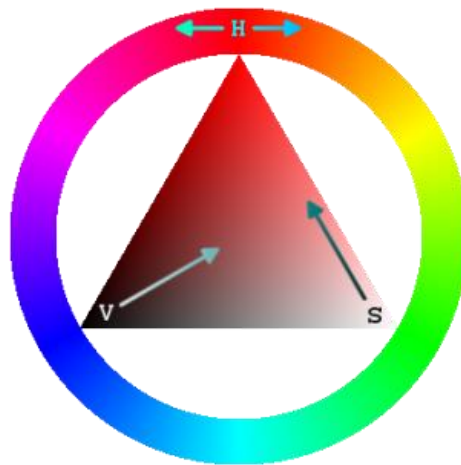
Espacio de color HSV

El espacio de color HSV (Hue, Saturation, Value / Matiz, Saturación, Brillo) es un sistema de color que también posee tres componentes, como se puede apreciar en la Figura 11. Este espacio de color es útil porque permite determinar de manera más sencilla los rangos de los colores que se desean detectar. El componente principal que se utiliza para determinar un color es el matiz, representado por el canal H. La figura muestra cómo este componente

cambia desde rojo hasta violeta y regresa a rojo. Además, es importante tener en cuenta los valores que pueden tomar cada uno de los canales en OpenCV: H puede tener valores entre 0 y 179, mientras que S y V pueden tener valores entre 0 y 255 (OMES, 2019).

Figura 11

Espacio de color HSV



Nota. Tomado de (OMES, 2019).

Python

Python fue creado por Guido van Rossum en la década de 1990 en Stichting Mathematisch Centrum en los Países Bajos y fue un sucesor de un lenguaje llamado ABC. Guido continuó trabajando en Python en la Corporación para Iniciativas Nacionales de Investigación en Reston, Virginia, donde lanzó varias versiones del software, su logo se observa en la Figura 12. En 2000, Guido y el equipo de desarrollo de Python se mudaron a BeOpen.com y luego a Digital Creations. En 2001, se fundó la Python Software Foundation, una organización sin fines de lucro para poseer propiedad intelectual relacionada con Python,

su logo se puede observar en la figura 12. Todos los lanzamientos de Python son de código abierto y históricamente han sido compatibles con GPL (Python, 2023).

Figura 12

Logo de Python



Nota. Tomado de (Python, 2023).

NumPy

NumPy es un proyecto de código abierto destinado a permitir el cálculo numérico en Python, su logo se puede apreciar en la Figura 13. Creado en 2005, basado en el trabajo original de las bibliotecas Numeric y Numarray. NumPy siempre ha sido un software 100 % de código abierto, gratuito para todos y publicado bajo los términos gratuitos de la licencia BSD modificada. NumPy es de código abierto en GitHub, gracias al consenso de NumPy y la comunidad científica de Python en general (numpy, 2015).

Figura 13

Logo de Numpy



Nota. Figura tomada de (numpy, 2015).

Matplotlib

Matplotlib es una biblioteca para crear diagramas de matriz 2D en Python. Se deriva de la emulación de comandos gráficos de MATLAB, pero es independiente de MATLAB y se puede utilizar de forma orientada a objetos Pythonic. Matplotlib está escrito principalmente en Python puro, pero hace un uso intensivo de NumPy y otros códigos extensos para proporcionar un rendimiento excelente incluso para arreglos grandes. Matplotlib está diseñado en torno a la filosofía de que se pueden crear gráficos simples con unos pocos comandos o solo con un comando, su logo se puede apreciar en la Figura 14. No necesita crear instancias de objetos, llamar a métodos o establecer propiedades cuando desea mostrar un gráfico de sus datos (matplotlib , 2015).

Figura 14

Logo de Matplotlib



Nota. Tomado de (matplotlib , 2015).

PyQt

PyQt es una biblioteca de Python para crear aplicaciones gráficas utilizando el kit de herramientas Qt, su logo se puede apreciar en la Figura 15. Creado por Riverbank Computing, PyQt es un software de código abierto (con licencia GPL) y ha estado en continuo desarrollo desde 1999. PyQt5 se lanzó en 2016 y se actualizó por última vez en octubre de 2021, requiere un conocimiento básico de Python, pero no un conocimiento previo de los conceptos de GUI.

PyQt5 es una versión basada en Qt5 de la biblioteca Python GUI PyQt de Riverbank Computing (pythonguis, 2023).

Figura 15

Logo PyQt



Nota. Tomado de (Logotyp, 2021).

Firestore

Firestore es una plataforma móvil creada por Google, cuya función principal es desarrollar y crear rápidamente aplicaciones de alta calidad para hacer crecer su base de usuarios, su logo se observa en la Figura 16. Las plataformas se suben a la nube y están disponibles en diferentes plataformas como iOS, Android y web. Incluye varias características que permiten a los desarrolladores mezclar y adaptar la plataforma a sus necesidades.

Firestore ayuda a crear mejores aplicaciones con una optimización y un tiempo de desarrollo mínimos gracias a varias funciones, como la detección y verificación de errores, que pueden mejorar en gran medida la calidad de su aplicación. Poder alojar todo en la nube, probar sus aplicaciones y configurarlas de forma remota es una característica notable de la plataforma (PÉREZ, 2016).

Figura 16

Logo de Firebase



Nota. Tomado de (PÉREZ, 2016).

Flutter

Flutter es el conjunto de herramientas de interfaz de usuario desarrollada por Google para crear hermosas aplicaciones compiladas de forma nativa para dispositivos móviles, web y de escritorio desde una única base de código, su logo se puede apreciar en la Figura 17. Cree una apariencia nativa en minutos con un conjunto completo de widgets totalmente personalizables. Escale rápidamente la funcionalidad con un enfoque en la experiencia del usuario nativo. La arquitectura en capas permite una personalización completa, lo que da como resultado un renderizado ultrarrápido y diseños flexibles y expresivos. El widget vibrante combina todas las diferencias importantes entre plataformas, como el desplazamiento, la navegación, los íconos, las fuentes, etc. para brindar un rendimiento completamente nativo en iOS y Android (Esflutter, 2023).

Figura 17

Logo de Flutter



Nota. Tomado de (Esflutter, 2023).

Capítulo II.

Diseño Mecatrónico del Entrenador Laparoscópico

En este capítulo se describe el proceso para diseñar y construir un entrenador laparoscópico mediante visión por computador. Se seguirá la metodología de (Ulrich, 2013), que abarca todos los aspectos necesarios para el desarrollo del proyecto. Primero, se identificarán las necesidades del cliente para diseñar conceptos que satisfagan sus requerimientos. Luego, se elegirán los componentes electrónicos y mecánicos adecuados. Se llevará a cabo una simulación CAD y CAE para verificar la estructura mecánica y corregir cualquier posible problema antes de la construcción final del equipo.

Necesidades del cliente

Las necesidades del cliente son planteadas por la empresa Artil Robotics, que se encuentra en la Tabla 1, esto se debe tener en cuenta durante el proceso de diseño y construcción de entrenador laparoscópico.

Tabla 1

Necesidades del Cliente

N°	Necesidad	Importancia
1	Dispositivo portable	5
2	Calidad de video	4
3	Buen acabado	3
4	Agradable a la vista	3
5	Datos de práctica	5
6	Buena iluminación	5
7	Orificios de inserción flexibles	5
8	Controlar brillo de iluminación	4
9	Gráficas de datos	3
10	Dispositivo liviano	2
11	Almacenar datos en la nube	3
12	Aplicación móvil multiplataforma	5

N°	Necesidad	Importancia
13	Acepte diferentes juegos	4
14	Historial de entrenamiento	5
15	Fácil de usar	5

Nota. Las necesidades tienen una calificación, 1 menor importancia y 5 de mayor importancia.

Métricas

Las métricas más importantes para satisfacer las necesidades del cliente se definen junto con las unidades de medida en la Tabla 2. Debido a que algunas necesidades son similares, se unificaron en una métrica general para abarcarlas todas.

Tabla 2

Métricas

N°	Métrica	Importancia	Unidades
1	Dispositivo portable	5	m^3
2	Calidad de video	4	PPI
3	Buena iluminación	3	LM
4	Datos de práctica	5	mm, s, mm/s
5	Gráficas de datos	3	mm, s, mm/s
6	Almacenar datos en la nube	3	Bits
7	Aplicación móvil multiplataforma	5	Android/iOS
8	Orificios de inserción flexibles	3	Mpa

Nota. Existe una reducción de las necesidades ya convirtiéndolas en métricas medibles, donde 1 es menos importante y 5 es de importancia mayor.

Requerimientos técnicos

Partiendo de las métricas que corresponde a las necesidades del cliente, se tiene los siguientes requisitos técnicos:

- La estructura portable para facilitar su transporte, materiales livianos y dimensiones correctas para construir el entrenador laparoscópico.

- Transmisión de video de alta calidad y en tiempo real sin interrupciones.
- Buena iluminación, para tener una imagen clara y de calidad
- Visualizar tiempos, distancias, velocidades y aceleraciones, tanto sus valores escalares como sus gráficas,
- Aplicación de escritorio con una interfaz gráfica que permita interactuar con el entrenador.
- Aplicación móvil, multiplataforma.
- Una plataforma en línea para el almacenamiento de datos.

Propuesta

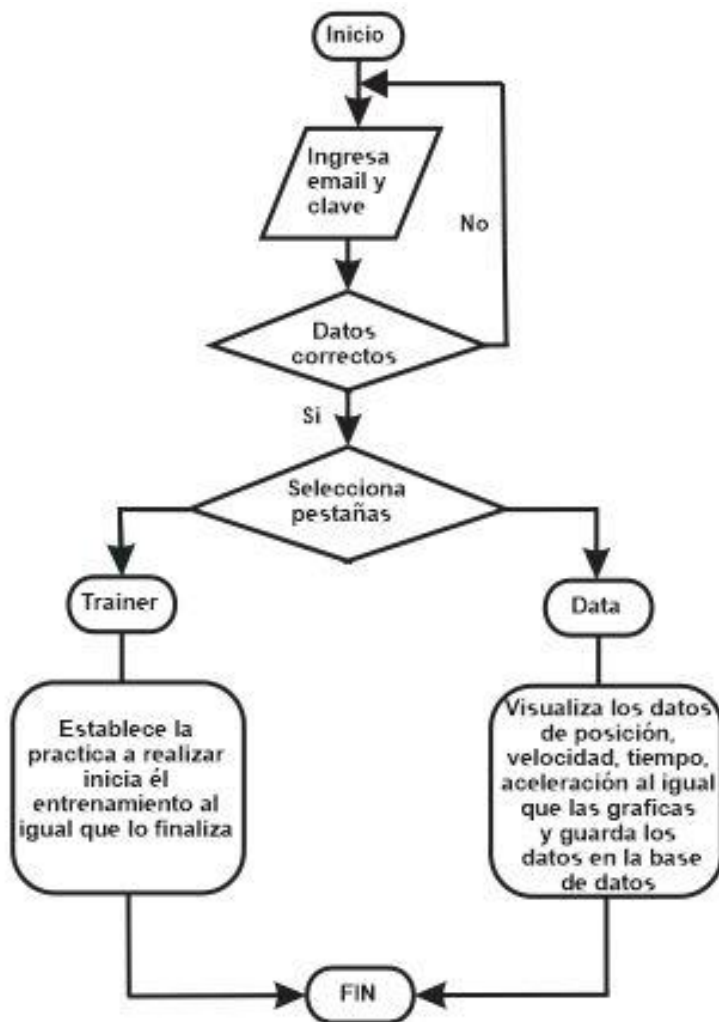
Se propone la creación de un sistema de entrenador laparoscópico mediante visión por computador. Se ha considerado la combinación del desarrollo de una aplicación de escritorio, una móvil y dos subsistemas, el electrónico y el mecánico. Esta decisión se tomó debido a la complejidad que conlleva cumplir con las exigencias del cliente, las cuales requieren tanto de un dispositivo portable así como una visualización de los datos y almacenamiento de los mismos al terminar el entrenamiento.

Propuesta subsistema aplicación de escritorio

La propuesta para aplicación de escritorio contará con dos ventanas, una pantalla de inicio de sesión y otra que contiene dos pestañas: "Trainer" y "Data", el diagrama de flujo se ilustra en la Figura 18.

Figura 18

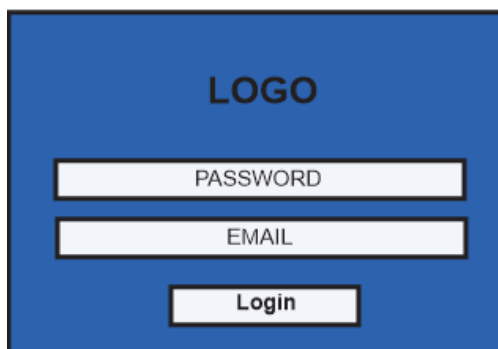
Diagrama de flujo subsistema aplicación de escritorio



La ventana uno como se observa en la Figura 19 incluye el logo de la empresa en la parte superior y una caja de texto donde el usuario debe ingresar su dirección de correo electrónico y contraseña. Después de hacer clic en el botón de inicio de sesión, marcado como login, si los datos son correctos, el usuario accederá a la siguiente ventana. Si los datos son incorrectos, se mostrará un mensaje en la parte inferior de la pantalla indicando que los datos son incorrectos.

Figura 19

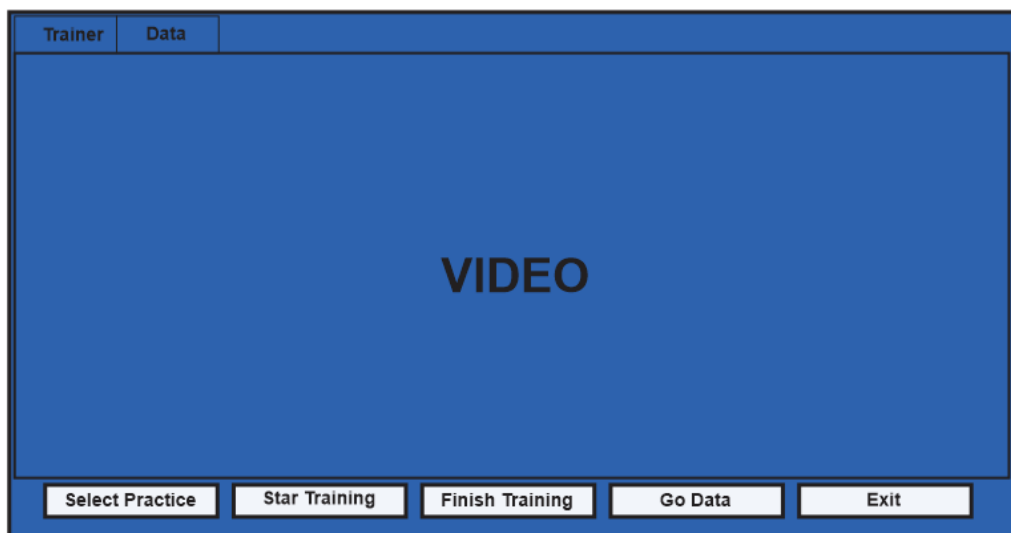
Propuesta aplicación de escritorio, ventana uno



La segunda ventana incluirá dos pestañas: "Trainer" y "Data". En la pestaña "Trainer", en el centro de la ventana, habrá un espacio para visualizar un el video que transmita la cámara y así iniciar con la práctica y entrenamiento. En la parte inferior, habrá cinco botones que permitirán al usuario seleccionar la práctica, iniciar el entrenamiento, finalizar el entrenamiento, ver los datos y salir, tal como se muestra en la Figura 20.

Figura 20

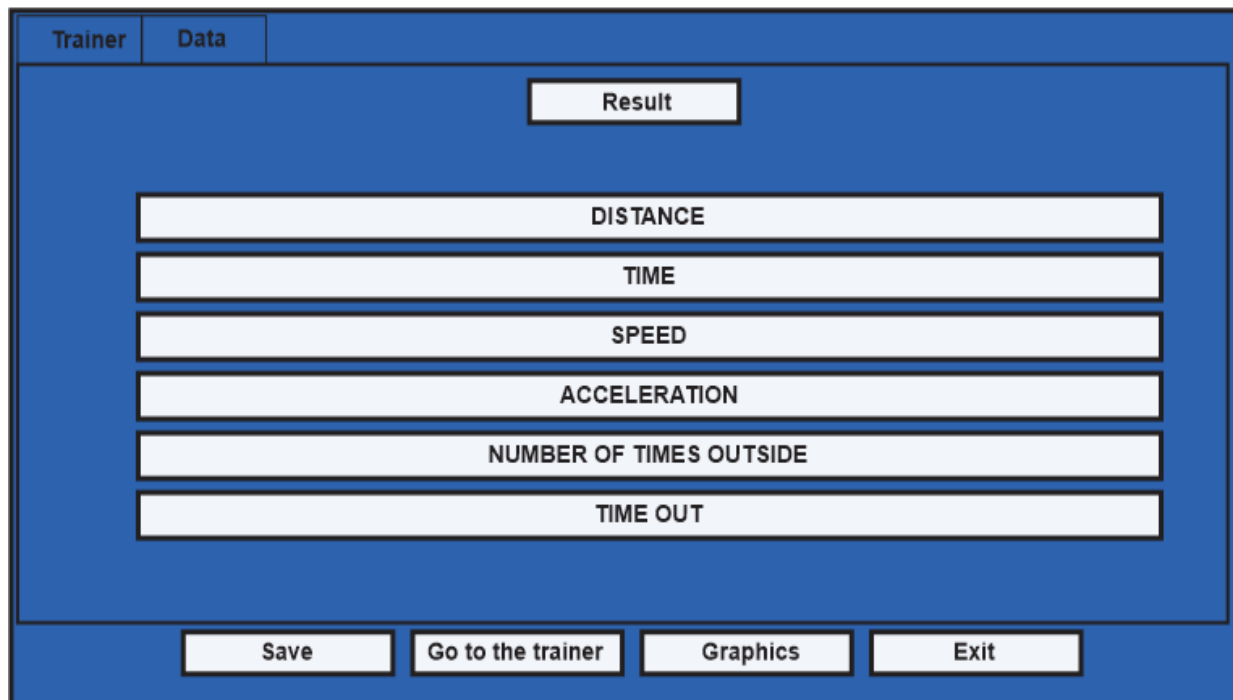
Propuesta aplicacion de escritorio, ventana dos, pestaña "Trainer"



En la pestaña "Data", en la parte superior existirá un botón para ver los resultados, que cuando se presione, se visualizarán los datos de los instrumentos: distancia, tiempo, velocidad, aceleración, incluyendo información sobre si el usuario salió del área de trabajo y durante cuánto tiempo, todo esto será mostrado en el centro de la ventana. Además, habrá cuatro botones en la parte inferior que permitirán al usuario guardar los resultados del entrenamiento, visualizar gráficas de la posición, velocidad, aceleración y trayectoria en 3D, regresar a la pestaña "Trainer" para realizar un nuevo entrenamiento, y finalmente un botón para salir, tal como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Propuesta aplicación de escritorio, ventana dos, pestaña "Data"

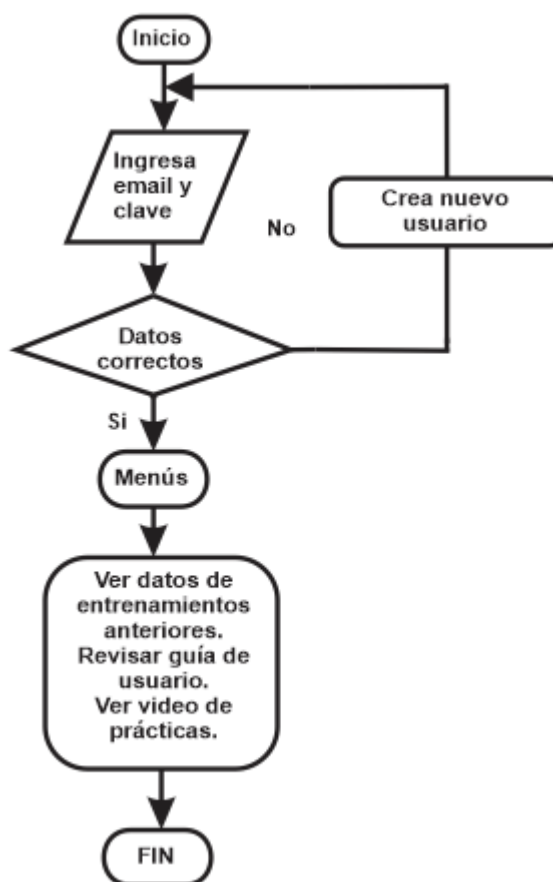


Propuesta subsistema aplicación móvil

La propuesta para la aplicación móvil contara con dos ventanas, una ventana de inicio de sesión y otra que contiene una lista de menús, el diagrama de flujo se puede ver en la Figura 22.

Figura 22

Diagrama de flujo aplicación móvil



La pantalla de inicio de sesión incluye cajas de texto donde el usuario debe ingresar su dirección de correo electrónico y contraseña que se ilustra en la Figura 23. Cuenta con dos botones uno para registrarse y otro botón de inicio de sesión, si los datos son correctos, el

usuario accede a la siguiente ventana. Si los datos son incorrectos, se mostrará un mensaje en la parte inferior de la pantalla indicando que los datos son incorrectos, también cuenta con un botón para restablecer la contraseña.

Figura 23

Propuesta aplicación móvil, ventana uno



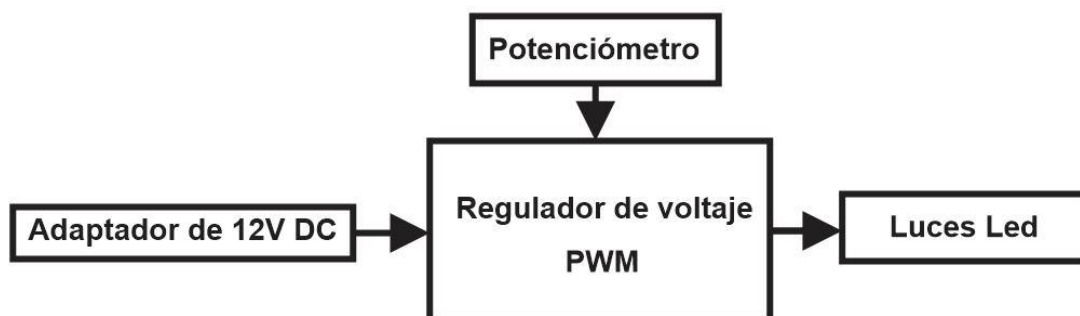
La segunda ventana de una aplicación móvil, incluirá tres botones que permitirán al usuario ver los entrenamientos realizados, acceder a configuraciones y salir de la aplicación. Se presenta la información de los entrenamientos, que incluirán datos como velocidad, posición y tiempo. También en la sección de configuraciones, se podrá ingresar a otra cuenta o cambiar la contraseña. La Figura 24 ilustra la funcionalidad descrita.

Figura 24

Propuesta aplicación móvil, ventana dos

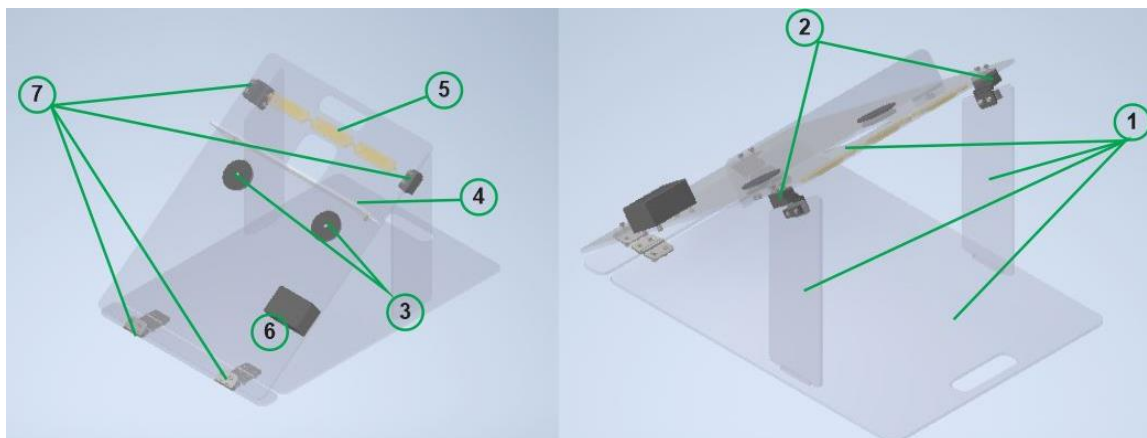
***Propuesta del subsistema electrónico***

La propuesta del subsistema electrónico se presenta en la Figura 25. Este subsistema está compuesto por los siguientes componentes, un adaptador de 12 voltios DC, regulador de voltaje PWM y luces led. El adaptador de 12 voltios DC actúa como la fuente de alimentación del sistema, el regulador de voltaje PWM, controlado por un potenciómetro que actúa como interruptor y regulador, permite regular la intensidad de las luces LED a través de una señal PWM. La interacción entre los componentes del subsistema electrónico está claramente definida en las flechas de la Figura 23.

Figura 25*Propuesta subsistema electrónico****Propuesta del subsistema mecánico***

La propuesta del subsistema mecánico se encuentra en la Figura 26, en donde se incluye los componentes que cumplen con los requeridos del el cliente, además se puede ver la numeración y el elemento en la Tabla 3.

- El número uno corresponde a la estructura, está compuesta por dos columnas, dos bases y la parte frontal.
- El número siete corresponde a las bisagras que permiten plegar la estructura, haciéndola portátil.
- El número dos son dos alzas que evitan que las columnas choquen con las luces led al momento de plegar la estructura.
- Los orificios de inserción identificados con el número tres, simulan los trocares y es por donde se introducen los instrumentos laparoscópicos para los entrenamientos.
- El número cuatro corresponde al soporte para la cámara web o dispositivos móviles.
- El número cinco hace referencia a la iluminación por medio de luces LED.
- El número seis se refiere a la carcasa donde se almacenarán los componentes electrónicos.

Figura 26*Propuesta del subsistema mecánico***Tabla 3***Elemento y numeración propuesta subsistema mecánico*

Elemento y numeración propuesta subsistema mecánico	
Número	Elemento
1	Estructura
2	Alzas
3	Orificios de inserción
4	Soporte cámara
5	Iluminación
6	Carcasa para circuito electrónico
7	Bisagras

Selección de componentes del sistema

En esta sección se presenta la elección de cada elemento que compone el sistema. Hay una amplia variedad de opciones disponibles en el mercado que satisfacen las necesidades y cumplen con los requerimientos establecidos por el cliente, pero es esencial elegir aquel que cumpla los requerimientos y no resulte en un elemento sobrante y no cumpla ninguna función.

Además es importante tener en cuenta el costo de cada componente y elegir aquel que ofrezca una buena relación calidad-precio, sin sacrificar las prestaciones. También es relevante tener en cuenta la disponibilidad y accesibilidad de cada componente. En resumen, la selección de componentes es un proceso crítico para garantizar la mejor elección.

Selección de componentes del subsistema electrónico

En el proceso de selección de los componentes electrónicos que conforman este subsistema, se evaluaron cuidadosamente sus características técnicas relevantes, con el fin de asegurar que cumplieran con las exigencias del usuario. Además, se consideraron que se cumplieran las necesidades del cliente.

Selección de Iluminación

La iluminación es un aspecto crítico en el funcionamiento del dispositivo, ya que la calidad de la imagen capturada por la cámara depende directamente de ella.

Para la iluminación se debe seleccionar una existente en el mercado, características de estas se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4

Características técnicas iluminación

	Modulo luces	Tira de luces	Bombilla
Tipo	Led	Led	Led
Voltaje de alimentación	12 [VDC]	12 [VDC]	12 [VDC]
Intensidad	100 [mA]	3 [mA]	4 [A]
Protección IP	IP 65	IP 65	IP 65
Potencia	1.5 [W]	0.03 [W]	50 [W]
Luminosidad	200 [LM]	200/360 [LM]	650 [LM]
Vida útil	30000 [H]	3000 [H]	2000 [H]

Nota. Tomado de (moviltronics, 2022)

Debido a que la iluminación es un requisito es esencial para el cliente, se selecciona según el criterio de selección Tabla 5.

Tabla 5

Criterio de selección iluminación

Criterio	Tipo	Voltaje entrada	Luminosidad	Vida útil	$\Sigma +1$	Ponderación
Tipo	-	1	1	0	3	30%
Voltaje entrada	1	-	0	0	2	20%
Luminosidad	1	0	-	1	3	30%
Vida útil	0	0	0	-	2	20%
Total					10	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección de la iluminación que se evidencia en la Tabla 6 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 27 la elección un módulo de luces led.

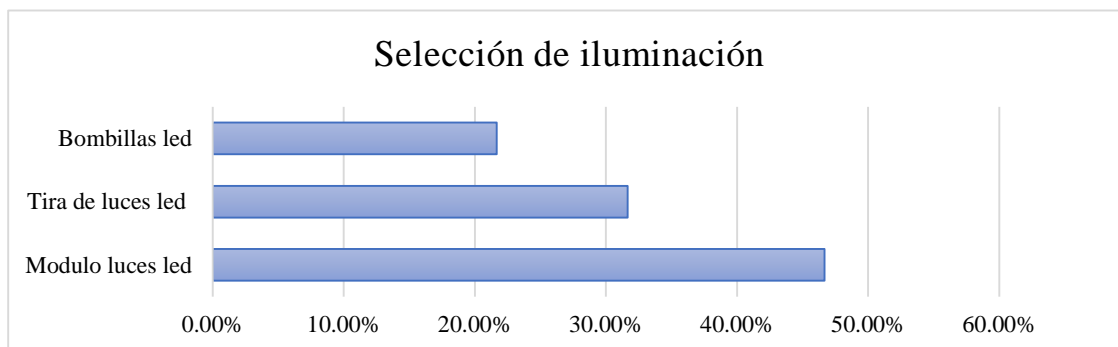
Tabla 6

Calificación de alternativa de iluminación

Alternativa	Tipo	Voltaje entrada	Luminosidad	Vida útil
Modulo luces led	3	3	3	2
Tira de luces led	1	2	2	3
Bombillas led	2	1	1	1
Σ	6	6	6	6

Figura 27

Ponderación de selección iluminación

**Selección regulador de voltaje**

El regulador de voltaje debe permite variar el brillo. Se debe seleccionar un módulo comercial debido a sus dimensiones y mejor acabado, que son necesidades que requiere que requiere el cliente, además deben tener un voltaje de salida de 12 VDC, para alimentar el módulo de luces led.

Existen en el mercado algunos tipos de regulador de voltaje, características de estas se puede ver en la Tabla 7.

Tabla 7*Características técnicas regulador de voltaje*

	Regulador de voltaje PWM	Regulador de voltaje Booster Step Up	Regulador de voltaje STEP DOW
Voltaje de alimentación	6 - 28 [V DC]	3 - 32 [V DC]	0 - 30 [V DC]
Voltaje de salida	0 - 28 [V DC]	5 - 35 [V DC]	1 - 28 [V DC]
Intensidad de salida	3 [A]	3 [A]	2 [A]
Intensidad estática	5 [mA]	3 [mA]	3 [mA]
Peso	73 [gr]	83 [gr]	42 [gr]

Nota. Tomado de (Haitronic, 2023)

El regulador de voltaje es seleccionado según el criterio de selección Tabla 8.

Tabla 8

Criterio de selección regulador de voltaje

Criterio	Voltaje de alimentación	Voltaje a la salida	Intensidad	Intensidad estática	Σ +1	Ponderación
Voltaje de alimentación	-	1	1	0	3	30%
Voltaje de salida	1	-	1	0	3	30%
Intensidad de salida	1	1	-	0	3	30%
Intensidad estática	0	0	0	-	1	10%
Total					10	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección de del regulador de voltaje que se evidencia en la Tabla 9 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 28 la elección es el regulador de voltaje PWM

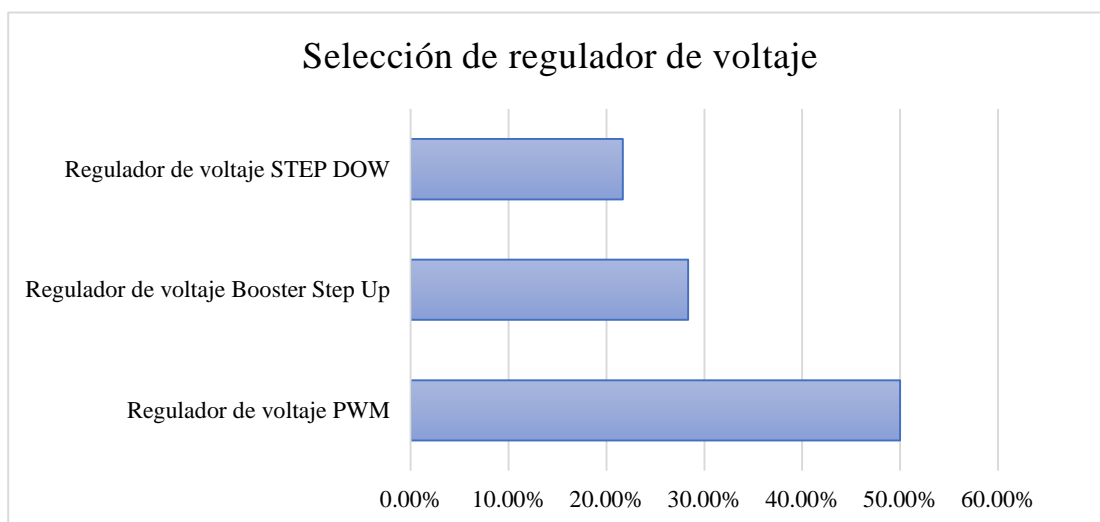
Tabla 9

Calificación de alternativa regulador de voltaje

Alternativa	Voltaje de alimentación	Voltaje a la salida	Intensidad	Intensidad estática
Regulador de voltaje PWM	3	3	3	3
Regulador de voltaje Booster Step Up	1	2	2	2
Regulador de voltaje STEP DOW	2	1	1	1
Σ	6	6	6	6

Figura 28

Ponderación de selección regulador de voltaje



Selección Adaptador

Con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de las luces LED y el regulador de voltaje, se realizó una evaluación del consumo de estos componentes, basada en la información proporcionada en la Tabla 10.

Tabla 10

Consumo circuito electrónico

Elemento	Cantidad	Intensidad	Consumo
Regulador PWM	1	5 [mA]	5 [mA]
Luces led	3	100 [mA]	300 [mA]
Total			305 [mA]

Existen en el mercado algunos tipos de regulador de voltaje, las características se puede ver en la Tabla 11, hay que tomar en cuenta el consumo total registrado en la Tabla 10.

Tabla 11**Características técnicas del adaptador**

	Adaptador 1	Adaptador 2	Adaptador 3
Voltaje de alimentación	100 - 240 [V]	100 - 240 [V]	100 - 240 [V]
Voltaje a la salida	12 [V DC]	12 [V DC]	12 [V DC]
Intensidad	2 [A]	5 [A]	1 [A]
Potencia	24 [W]	60 [W]	12 [W]
Diámetro externo	5.5 [mm]	5.5 [mm]	5.5 [mm]
Diámetro interno	2.1 [mm]	2.5 [mm]	2.1 [mm]
Interior	Positivo	Positivo	Positivo
Exterior	Negativo	Negativo	Negativo

Nota. Tomado de (Grupoelectrostore, 2019)

Tabla 12*Criterio de selección regulador de voltaje*

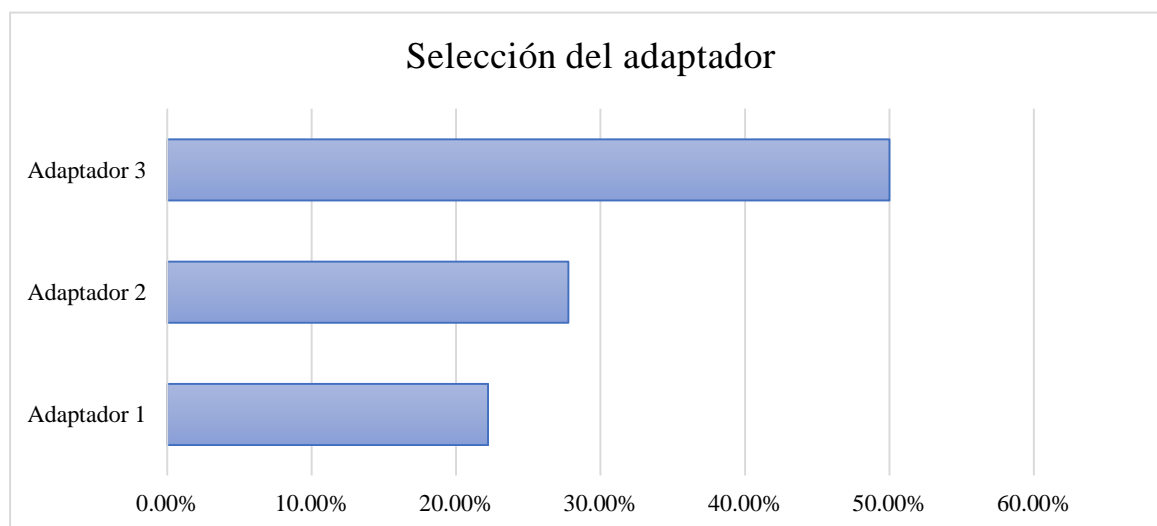
Criterio	Voltaje de alimentación	Voltaje a la salida	Intensidad	Potencia	$\Sigma +1$	Ponderación
Voltaje de alimentación	-	1	1	1	4	33%
Voltaje a la salida	1	-	1	0	3	25%
Intensidad	1	1	-	0	3	25%
Potencia	1	0	0	-	2	17%
Total					12	100%

El adaptador es seleccionado según el criterio de selección Tabla 12.

Calificando las diferentes alternativas en la selección del adaptador que se evidencia en la Tabla 13 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 29 la elección es el adaptador 3. Dimensionamiento adaptador

Tabla 13*Calificación de alternativa regulador de voltaje*

Alternativa	Voltaje de alimentación	Voltaje de salida	Intensidad	Potencia
Adaptador 1	2	1	1	1
Adaptador 2	1	2	2	2
Adaptador 3	3	3	3	3
Σ	6	6	6	6

Figura 29*Ponderación de selección del adaptador***Conectores para alimentación DC hembra**

Para conectar el terminal del adaptador de 12 voltios, se requiere un conector hembra para alimentación DC con las mismas características que el adaptador. Estas características técnicas se pueden ver en la Tabla 14.

Tabla 14

Conector hembra para alimentación DC

Conectores alimentación DC hembra	
Diámetro externo	5.5 [mm]
Diámetro interno	2.1 [mm]
Interior	Positivo
Exterior	Negativo

Nota. Tomado de (Novatronicec, 2020)

Cable

Para garantizar una correcta transmisión de energía eléctrica y evitar cualquier tipo de sobrecalentamiento o cortocircuito, se seleccionó un cable adecuado según la norma AWG, en base al consumo de los elementos del circuito indicado en la Tabla 10. Las características técnicas del cable se pueden encontrar en la Tabla 15.

Tabla 15

Características del cable según la norma AWG

Cable	
AWG	25
Intensidad máxima	460 [mA]
Diámetro	0.455 [mm]
Área de sección transversal	0.162 [mm ²]
Resistencia	106.2 [Ω /km]

Nota. Tomado de (shopdelta, 2002)

Selección de componentes del subsistema mecánico

El subsistema mecánico consiste en la estructura. Esta corresponde a la parte frontal, las columnas y las bases a la que se fijan elementos como: orificios de inserción, soporte para ubicar la cámara o teléfono móvil, los mecanismos de bisagras, alzas y la caja que alberga los

componentes electrónicos. Todos estos aspectos son cruciales para garantizar la estabilidad y funcionamiento adecuado del sistema en su conjunto.

Selección material de la estructura

La estructura es susceptible a esfuerzos, esto al soportar el peso de los instrumentos laparoscópicos y soportar el peso de la cámara por lo tanto, se requiere un material que proporcione resistencia y que sea liviano para mejorar su portabilidad. La estructura está compuesta por tres componentes clave: la parte frontal, las columnas y las bases, todos ellos deben ser resistentes para garantizar un funcionamiento adecuado y todo esto depende del material.

Para seleccionar el material adecuado para la estructura del entrenador, se evaluaron los materiales disponibles en la Tabla 16. Esto es esencial para garantizar la durabilidad y robustez de la estructura.

Tabla 16

Características de materiales para la estructura

Característica	Acrílico	Madera	MDF
Resistencia a la tensión	72 [Mpa]	7.2 [Mpa]	0.55 [N/mm^2]
Resistencia a la flexión	110 [Mpa]	12.1 [Mpa]	21 [N/mm^2]
Acabado superficial	Bueno – lizo	Regular – rugoso	Bueno – lizo
Características físicas	Buena resistencia a la intemperie y resistencia al impacto	La resistencia depende si caiga perpendicular o paralelamente al grano.	La resistencia depende de si caiga perpendicular o paralelamente al grano.
Peso	Es 50% más liviano que el vidrio y 43% más liviano que el aluminio.	Más liviano que el MDF, debido a porosidades.	MDF es tan pesado que la instalación del gabinete se vuelve varias veces más difíciles que montar gabinetes normales de madera.

Característica	Acrílico	Madera	MDF
Maquinado	Similar a la madera dura y metales blandos en equipos y métodos. Acepta Corte láser.	Fácil, teniendo en cuenta la resistencia que ofrece su dureza y densidad y la necesidad de emplear maquinaria potente. Acepta Corte láser.	Fácil, en ocasiones puede romperse la unión entre fibras y provocar pérdidas de material si no hay pre taladros. Acepta Corte láser.

Nota. Tomado de (Mott, 2009), (Manzano, 2013), (acrilicosonline, 2015)

El material de la estructura es seleccionado según el criterio de selección Tabla 8.

Tabla 17

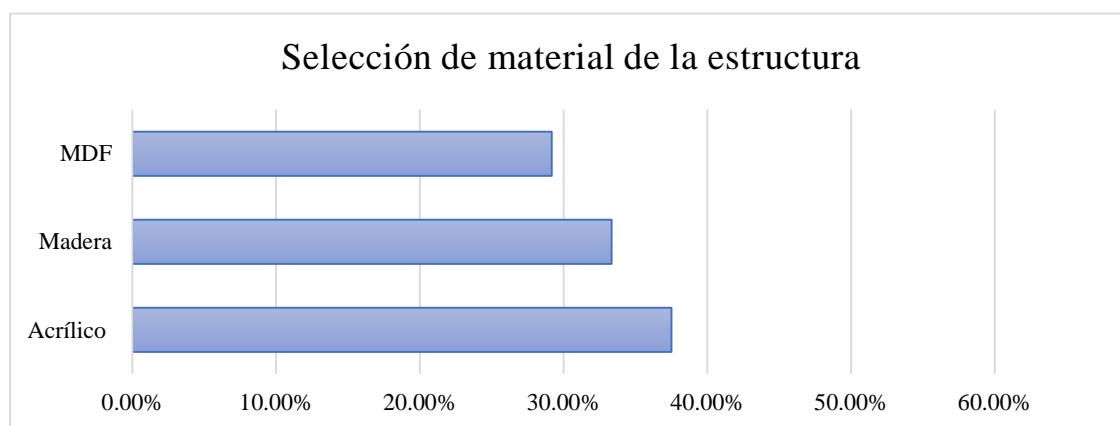
Criterio de selección material de la estructura

Criterio	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Peso	Acabado superficial	$\Sigma +1$	Ponderación
Resistencia a la tensión	-	0	1	0	2	25%
Resistencia a la flexión	0	-	1	0	2	25%
Peso	1	1	-	0	3	38%
Acabado superficial	0	0	0	-	1	13%
Total					8	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección del material de la estructura se evidencia en la Tabla 18 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 30 la elección es Acrílico.

Tabla 18*Calificación de alternativa material de la estructura*

Alternativa	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Peso	Acabado superficial
Acrílico	3	3	1	3
Madera	2	1	3	1
MDF	1	2	2	2
Σ	6	6	6	6

Figura 30*Ponderación de selección material de la estructura****Selección del material para elementos rígidos***

Para determinar el material ideal para los elementos rígidos como: alzas, soporte de cámara y carcasa del circuito, se revisaron los materiales disponibles en la Tabla 19. Estos materiales fueron evaluados debido a que serán fabricados mediante impresión 3D, es por eso que es importante tener en cuenta sus propiedades y características.

Tabla 19*Características materiales para impresión 3D*

Característica	ABS	PLA	TPU
Propiedades físicas	Tenaz y duradero Resistente a impactos y al calor Necesita una plataforma caliente para imprimirse Necesita ventilación	Los materiales de modelado por deposición fundida más fáciles de imprimir Rígidos, fuertes pero frágiles Menos resistentes al calor y a los productos químicos Biodegradables Inodoros	Flexible y estirable Resistente a impactos Excelente amortiguación de vibraciones
Aplicaciones	Prototipos funcionales	Modelos conceptuales Prototipos estéticos	Prototipos flexibles
Manufactura	Impresión 3D FDM	Impresión 3D FDM	Impresión 3D FDM
Resistencia a la tensión	23.21 [Mpa]	26.19 [Mpa]	8.6 [Mpa]
Resistencia a la flexión	13.38 [Mpa]	22.90 [Mpa]	39 [Mpa]

Nota. Tomado de (Montoya & Hernandez, 2019), (Nebot Montagud, 2016), (formlabs, 2023)

Se selecciona el material para elementos rígidos según el criterio de selección **Tabla 20**

Tabla 20*Criterio de selección material para elementos rígidos*

Criterio	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Propiedades físicas	Aplicaciones	Σ +1	Ponderación
Resistencia a la tensión	-	0	1	1	3	23%
Resistencia a la flexión	0	-	1	1	3	23%
Propiedades físicas	1	1	-	1	4	31%
Aplicaciones	1	1	0	-	3	23%
				Total	13	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección del material para elementos rígidos se evidencia en la Tabla 21 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 30, la elección es PLA.

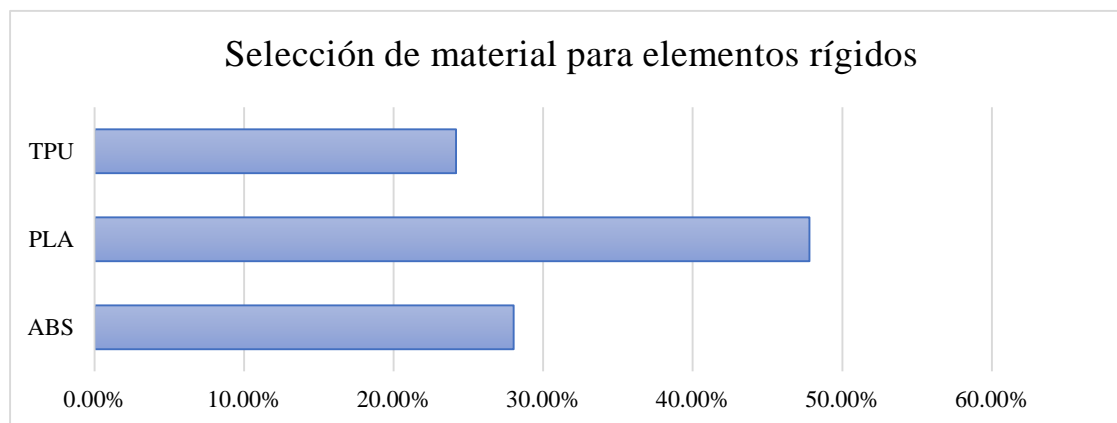
Tabla 21

Calificación de alternativa material para elementos rígidos

Alternativa	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Propiedades físicas	Aplicaciones
ABS	2	1	2	1
PLA	3	2	3	3
TPU	1	3	1	2
Σ	6	6	6	6

Tabla 22

Ponderación de selección material para elementos rígidos



Selección del material para elementos flexibles

Los materiales para los orificios de inserción, que son elementos flexibles, se analizan en la Tabla 19, la selección del material para elementos flexibles se la hace según el criterio de selección Tabla 23.

Tabla 23*Criterio de selección material para elementos flexibles*

Criterio	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Propiedades físicas	Aplicaciones	Σ +1	Ponderación
Resistencia a la tensión	-	0	1	1	3	23%
Resistencia a la flexión	0	-	1	1	3	23%
Propiedades físicas	1	1	-	1	4	31%
Aplicaciones	1	1	0	-	3	23%
Total					13	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección del material para elementos rígidos se evidencia en la Tabla 24 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la

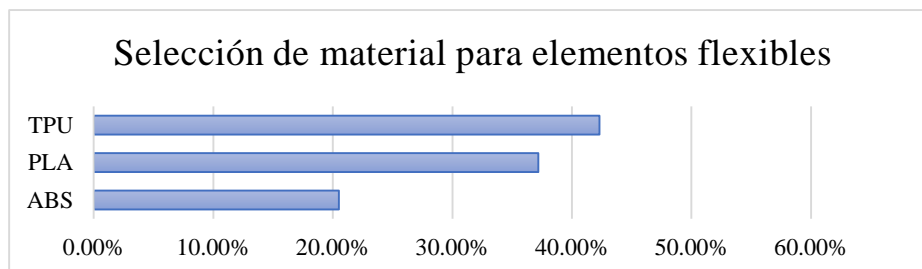
Figura 31, la elección es TPU.

Tabla 24*Calificación de alternativa para material elementos flexibles*

Alternativa	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Propiedades físicas	Aplicaciones
ABS	2	1	1	1
PLA	3	2	2	2
TPU	1	3	3	3
Σ	6	6	6	6

Figura 31

Ponderación de selección material para elementos flexibles



Selección lenguaje de programación para aplicación de escritorio

Para la creación de la aplicación de escritorio es fundamental contar con un lenguaje de programación que tenga la capacidad de manejar librerías específicas para visión por computador. Además, se requiere que tenga librerías para la creación de una interfaz gráfica eficiente y atractiva.

Selección del lenguaje para algoritmo de visión por computador

Para determinar el lenguaje de programación para desarrollar el algoritmo de visión por computador se revisaron los lenguajes de la Tabla 25, se consideró el uso de un lenguaje de programación compatible con la librería OpenCV.

Tabla 25

Lenguajes de programación para visión por computador

Característica	C	Python	Java
Tipo lenguaje	Lenguaje de bajo nivel	Lenguaje de alto nivel	Lenguaje de alto nivel
Velocidad	Permite ejecutar algoritmos de Visión Artificial con máxima celeridad	Permite ejecutar algoritmos de Visión Artificial con celeridad media	Permite ejecutar algoritmos de Visión Artificial con celeridad media

Característica	C	Python	Java
Plataforma	Multiplataforma	Multiplataforma pueda ser usado en diferentes sistemas operativos	Aplicaciones Androi especialmente
Conocimiento	Conocimientos muy avanzados (y mucha paciencia)	Fácil y sencillo de aprender	Conocimiento medio, similar a aprender C
Librerías	OpenCV	OpenCV,	OpenCV
Licencia	Open source	Open source	Open source

Nota. Tomado de (OpenWebinars, 2020), (Vélez, 2023)

Se selecciona el lenguaje de programación según el criterio de selección de la Tabla 26.

Tabla 26

Criterio de selección para lenguaje de programación

Criterio	Licencia	Librerías	Plataforma	Tipo lenguaje	$\Sigma +1$	Ponderación
Licencia	-	1	1	1	4	29%
Librerías	1	-	0	1	3	21%
Plataforma	0	1	-	1	3	21%
Tipo lenguaje	1	1	1	-	4	29%
Total					14	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección del lenguaje de programación se evidencia en la Tabla 27 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 32, la elección es Python.

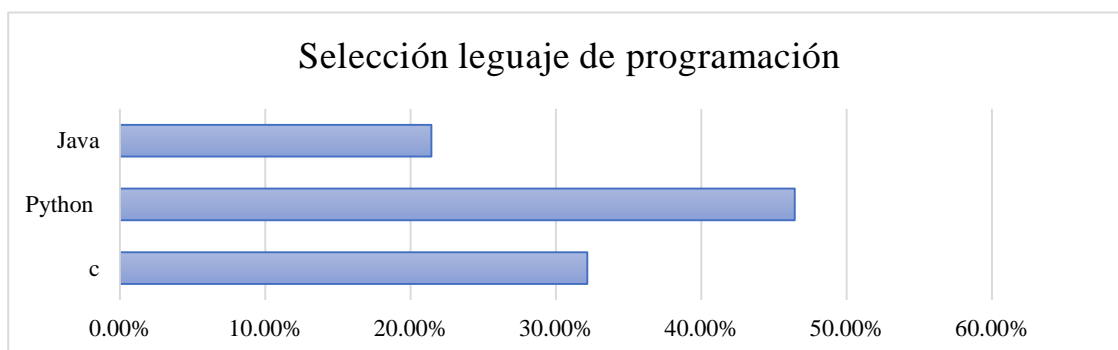
Tabla 27

Calificación de alternativa para lenguaje de programación

Alternativa	Licencia	Librerías	Plataforma	Tipo lenguaje
c	2	2	3	1
Python	3	3	2	3
Java	1	1	1	2
Σ	6	6	6	6

Figura 32

Ponderación de selección material para lenguaje de programación



Selección de la librería para interfaz gráfica

Para determinar la librería que se utilizara para realizar la interfaz gráfica se revisaron las librerías de la Tabla 28, se buscó librerías que trabajen con el lenguaje de programación Python.

Tabla 28

Librerías para interfaz gráfica con Python

Característica	Tkinter	Kivy	PyQT
Tipo	Integrado con Python	Librería	Librería
Plataforma	Computadoras y no es compatible para aplicaciones móvil	Windows, Mac, Linux, Android, ios y Raspberry Pi	Windows, Mac, Linux, Android y Zaurus.
Widgets	Limitados y básicos	Interesantes que pueden hacer que la aplicación se vea más hermosa	Gran cantidad de Widgets
Licencia	Open source	Open source	Open source

Nota. Tomado de (blog.facialix, 2020)

Se selecciona la librería para interfaz gráfica según el criterio de selección Tabla 29.

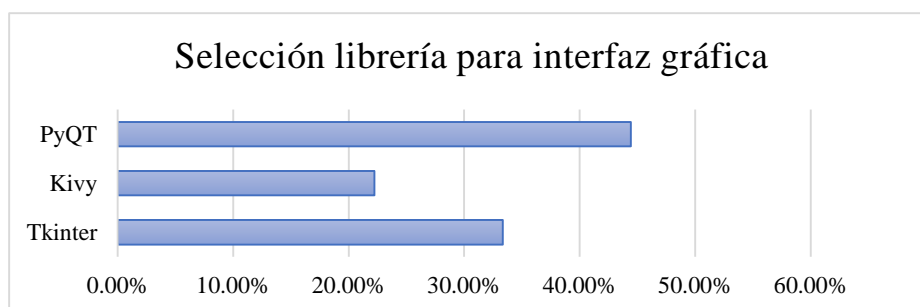
Tabla 29*Criterio de selección de la librería para interfaz gráfica*

Criterio	Tipo	Plataforma	Widgets	Licencia	$\Sigma +1$	Ponderación
Tipo		0	1	1	3	33%
Plataforma	0		0	1	2	22%
Widgets	0	0		0	1	11%
Licencia	1	1	0		3	33%
Total					9	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección de la librería para interfaz gráfica se evidencia en la Tabla 24 siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 33, la elección es PyQt.

Tabla 30*Calificación de alternativa de la librería para interfaz gráfica*

Alternativa	Tipo	Plataforma	Widgets	Licencia
Tkinter	3	1	1	2
Kivy	1	2	2	1
PyQT	2	3	3	3
Σ	6	6	6	6

Figura 33*Ponderación de selección de la librería para interfaz gráfica*

Selección de la base de datos

Para seleccionar la base de datos adecuada, se evaluaron las opciones disponibles en la Tabla 31. Se consideró que la base de datos debe ser capaz de realizar consultas desde la aplicación móvil y permitir la escritura de datos desde la aplicación de escritorio.

Tabla 31

Programas para bases de datos

Característica	MySQL	PostgreSQL	Firestore
Tipo de estructura	Lenguaje de Consulta Estructurada (SQL)	Lenguaje de Consulta No Estructurada (NoSQL)	Lenguaje de Consulta No Estructurada (NoSQL)
Prestaciones	Herramienta sólida, rápida y fiable	Almacenamiento JSON, de valores clave y XML.	Almacenamiento en la nube, soporte por Google Android, iOS, Web(Linux, Mac, Windows), Flutter, Python
Plataforma	Linux, UNIX y Windows	Windows, Mac, Linux, Android y Zaurus.	Web(Linux, Mac, Windows), Flutter, Python
Licencia	Licencia pública general GNU (GPL),	Open source	Gratuito

Nota. Tomado de (kinsta, 2022), (nts-solutions, 2022), (computerweekly, 2021)

Se selecciona la base de datos según el criterio de selección Tabla 32.

Tabla 32

Criterio de selección de la base de datos

Criterio	Tipo de estructura	Prestación	Plataforma	Licencia	Σ +1	Ponderación
Tipo de estructura	-	1	0	0	2	22%
Prestaciones	0	-	1	0	2	22%
Plataforma	0	0	-	1	2	22%
Licencia	0	1	1	-	3	33%
Total					9	100%

Calificando las diferentes alternativas en la selección de la base de datos se evidencia en la Tabla 33, siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la Figura 34, la elección es Firebase.

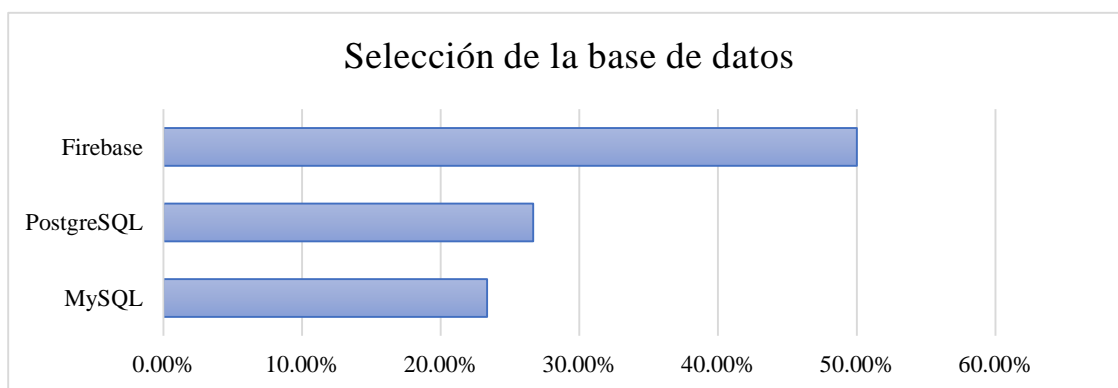
Tabla 33

Calificación de alternativa de la base de datos

Alternativa	Tipo de estructura	Prestación	Plataforma	Licencia
MySQL	1	1	1	2
PostgreSQL	2	2	2	1
Firestore	3	3	3	3
Σ	6	6	6	6

Figura 34

Ponderación de selección de la base de datos



Selección del framework para aplicación móvil

Para garantizar la compatibilidad de la aplicación móvil tanto en sistemas operativos Android como iOS, se evaluaron los distintos frameworks disponibles en la Tabla 34.

Tabla 34

Framework para desarrollo aplicación móvil

Característica	Flutter	React Native	Xaramin
Plataformas	Multiplataforma (Android, iOS, Windows y Mac)	Android e iOS.	Multiplataforma (Windows, Mac, iOS y Android)
Prestaciones	Aplicaciones nativas	Aplicaciones nativas	Aplicaciones no nativas
Lenguaje de programación	Dart, desarrollado por Google	JavaScript	Programación C#
Licencia	Open source	Open source	Open source

Nota. Tomado de (tokioschool, 2022), (bambu-mobile, 2022)

Se selecciona el framework según el criterio de selección Tabla 35.

Tabla 35

Criterio de selección del framework

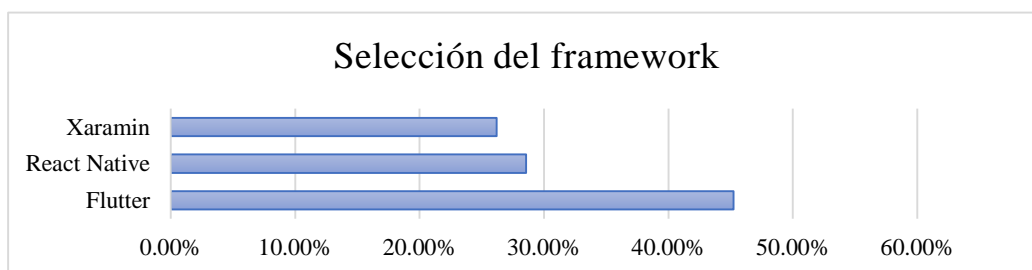
Criterio	Plataformas	Prestación	Lenguaje de programación	Licencia	Σ +1	Ponderación
Plataformas	-	1	1	1	4	29%
Prestación	0	-	1	0	2	14%
Lenguaje de programación	1	1	-	1	4	29%
Licencia	1	1	1	-	4	29%
Total					14	100%

Calificando las diferentes alternativas en del framework se evidencia en la Tabla 36, siendo 3 su calificación más alta y de acuerdo con la

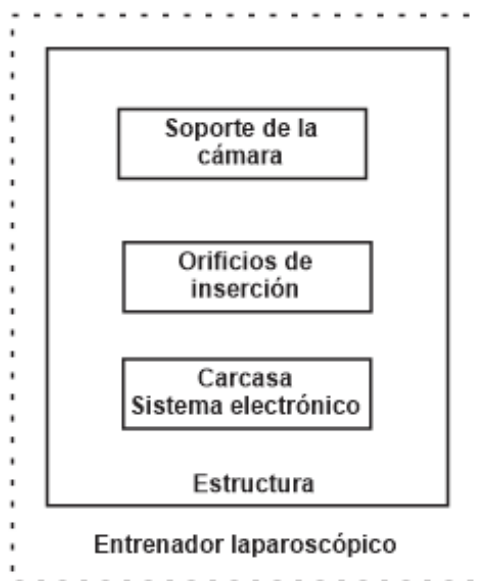
Figura 35, la elección es Flutter.

Tabla 36*Calificación de alternativa de framework*

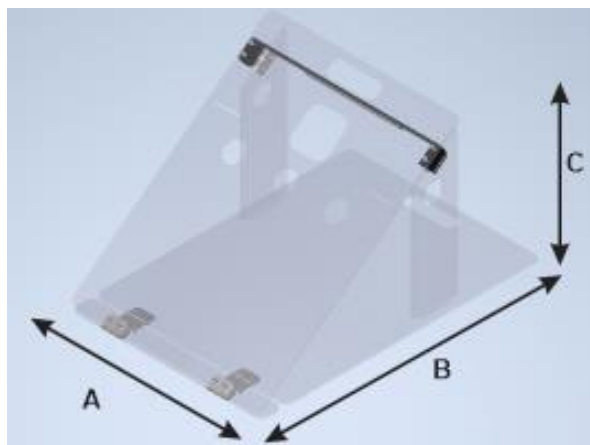
Alternativa	Plataformas	Prestación	Lenguaje de programación	Licencia
Flutter	3	3	2	3
React Native	1	2	3	1
Xaramin	2	1	1	2
Σ	6	6	6	6

Figura 35*Ponderación de selección del framework***Diseño del sistema mecánico**

En la Figura 36 se muestra un esquema general del sistema mecánico que comprende tres subsistemas clave: el soporte para la cámara, los orificios de inserción flexibles, el área de entrenamiento y la carcasa que protege el circuito eléctrico que protege los componentes. En conjunto, estos subsistemas forman un sistema mecánico completo y eficiente.

Figura 36*Esquema sistema mecánico****Diseño de la estructura***

Para el diseño de la estructura mecánica, se parte de una propuesta en la Figura 26, que incluye los componentes necesarios para satisfacer los requisitos del cliente. La estructura consta de dos columnas, dos bases, una parte frontal y una visera que evita que el brillo de las luces LED salga de la zona de entrenamiento. Además, se han incorporado alzas para prevenir impactos entre las columnas durante el transporte y bisagras que permiten plegar la estructura, aumentando su portabilidad y reduciendo su volumen. Se han tenido en cuenta las medidas específicas indicadas por el cliente, detalladas en la Tabla 37 y la Figura 37, el material para la estructura es acrílico como determino en la selección del material de la estructura.

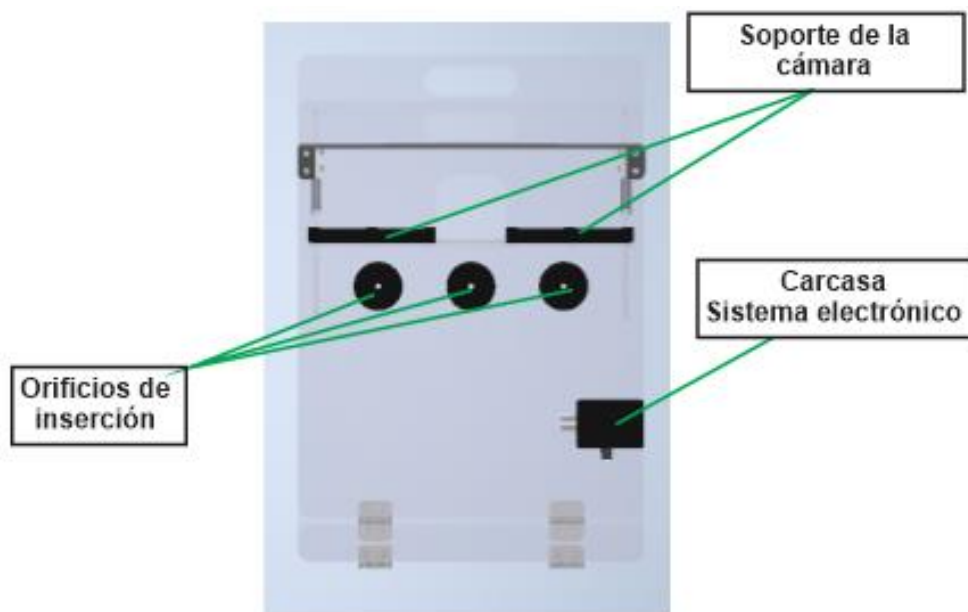
Figura 37*Dimensiones de la estructura***Tabla 37***Medidas de la estructura*

	Medida	Símbolo
Ancho	300 [mm]	A
Largo	436 [mm]	B
Altura	250 [mm]	C

La Figura 38 presenta una vista superior detallada de la estructura completa que incluye los tres subsistemas críticos, que son el soporte para la cámara, los orificios de inserción y la carcasa que aloja el sistema eléctrico. Esta perspectiva superior ofrece una imagen clara y concisa de la integración de los diferentes subsistemas en un solo dispositivo compacto y eficiente.

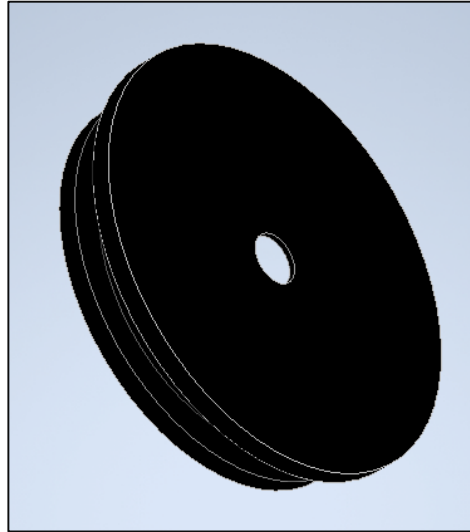
Figura 38

Vista superior estructura incluyendo sus subsistemas



Orificios de inserción

El diseño de los orificios de inserción, representado en la Figura 39, se realiza con el objetivo de sostener y permitir la movilidad de los instrumentos laparoscópicos.

Figura 39*Orificios de inserción*

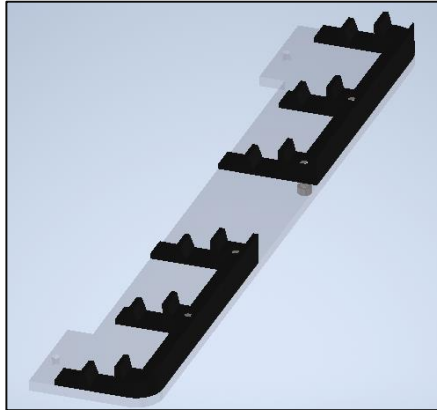
Para ello, se seleccionó el TPU, un material flexible y resistente, como se describió en el apartado de selección del material para elementos flexibles. Este material será producido mediante la tecnología de impresión 3D, garantizando así una fabricación precisa y de alta calidad.

Soporte para la cámara

El soporte de la cámara, como se puede apreciar en la Figura 40, permite colocar dispositivos móviles para utilizar su cámara y realizar los entrenamientos. Este soporte cuenta con una base fabricada con acrílico, mismo material a la estructura, y cuenta con gradas para ajustar los dispositivos móviles de acuerdo a su tamaño.

Figura 40

Soporte para la cámara

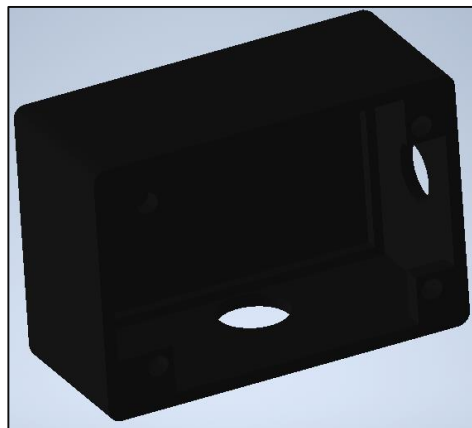


Carcasa

La carcasa es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema, ya que permite alojar y fijar el circuito electrónico de manera segura a la estructura. Como se puede ver en la Figura 41, la carcasa cuenta con unas orejas que le permiten ser fijada a la estructura mediante pernos, lo que garantiza su estabilidad y seguridad.

Figura 41

Carcasa para fijar el circuito eléctrico a la estructura



Análisis CAE del Entrenador Laparoscópico

Análisis estático de la estructura

Un elemento mecánico bien diseñado es aquel que no sufre fallas debido a tracción, flexión, torsión o deformación excesiva (Mott, 2009). La estructura puede experimentar fallas por flexión en la parte frontal y por compresión en las columnas. Para prevenir estas posibles fallas, se llevó a cabo un análisis CAE para descartar cualquier falla ante la aplicación de fuerzas externas.

Las fuerzas externas que afectan la estructura incluyen el peso de los instrumentos laparoscópicos y dispositivo móvil, estos interactúan con la estructura al realizar los entrenamientos, estos elementos físicos y su ubicación se pueden ver en la Figura 42.

Figura 42

Elementos en un entrenamiento

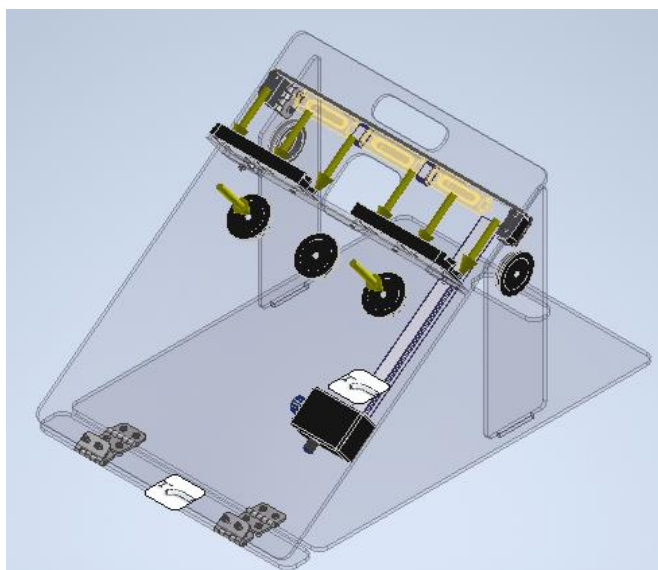


Los valores pueden ser consultados en la Tabla 38 y se presentan en unidades del Sistema Internacional.

Tabla 38*Fuerzas externas*

Elemento	Masa	Peso
Instrumento Laparoscópico	0.200 [Kg]	1.96 [N]
Dispositivo móvil	0.500 [Kg]	4.9 [N]

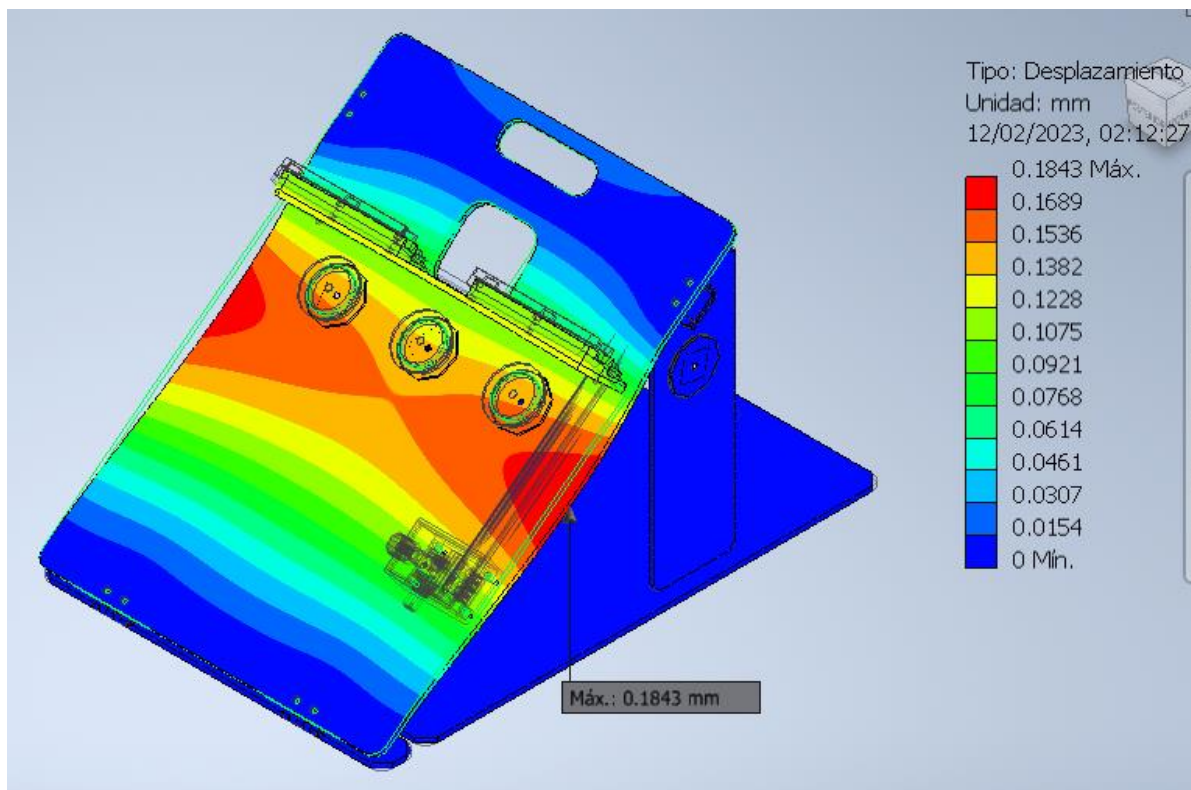
En el análisis CAE, se consideraron las condiciones de contorno en forma de fuerzas externas que actúan sobre la estructura. Estos valores se encuentran detallados en la Tabla 38, donde se especifican las magnitudes y direcciones de las fuerzas consideradas. Además, en la Figura 43 se presenta una representación gráfica de la localización de estas fuerzas en la estructura, lo que permite una visualización clara y sencilla de los puntos de aplicación de cada una de ellas.

Figura 43*Condiciones de contorno en la estructura*

La Figura 44 presenta una vista isométrica frontal que muestra el desplazamiento de la estructura después de haber sido sometida a las fuerzas consideradas en el análisis. Se puede apreciar que la parte frontal sufre una deformación de 0.1843 mm. Este valor es considerado despreciable y, por lo tanto, no representa una amenaza para la integridad de la estructura en términos de falla por flexión.

Figura 44

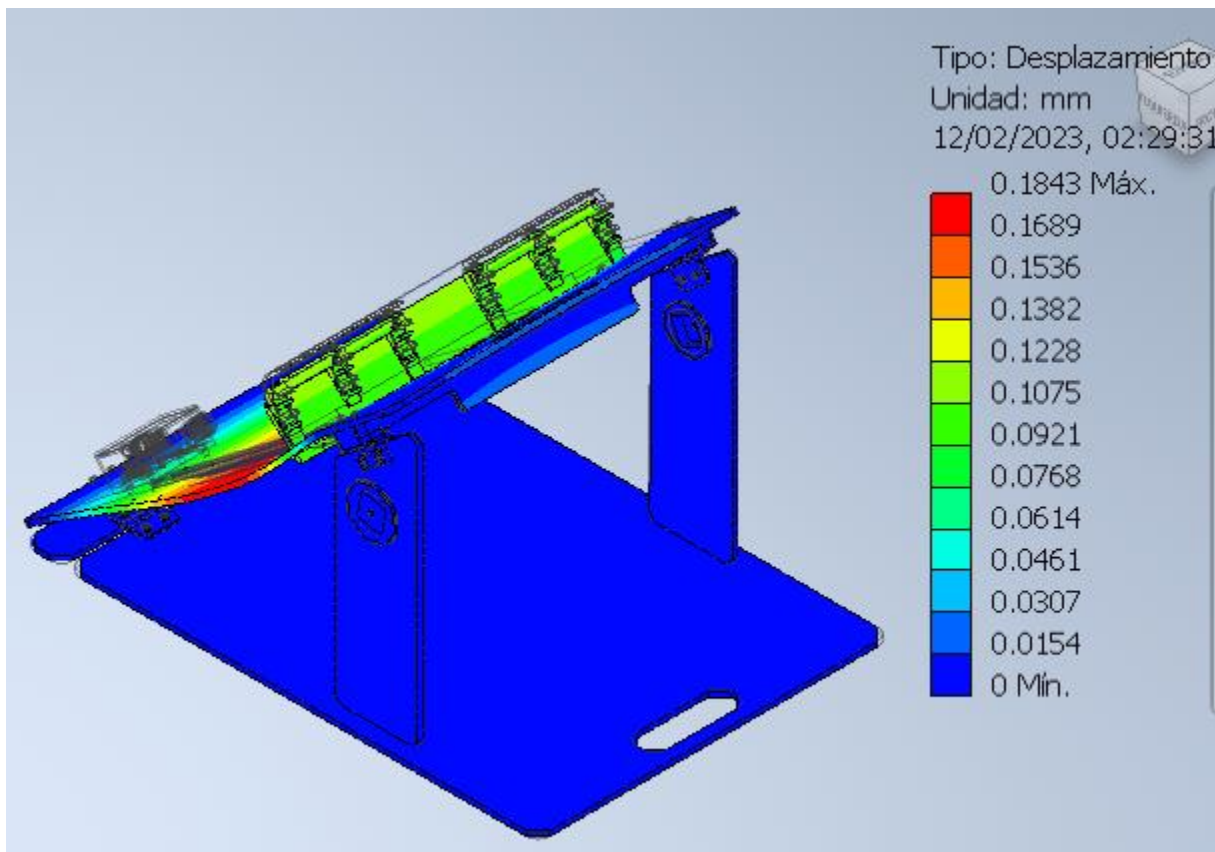
Vista frontal isométrica de la estructura



En la Figura 45 se muestra la vista posterior isométrica al el análisis CAE, donde se observa que las columnas no sufren ninguna deformación. Esto significa que las columnas están diseñadas adecuadamente para soportar las cargas que se les aplican y, por lo tanto, no existe riesgo de falla por compresión

Figura 45

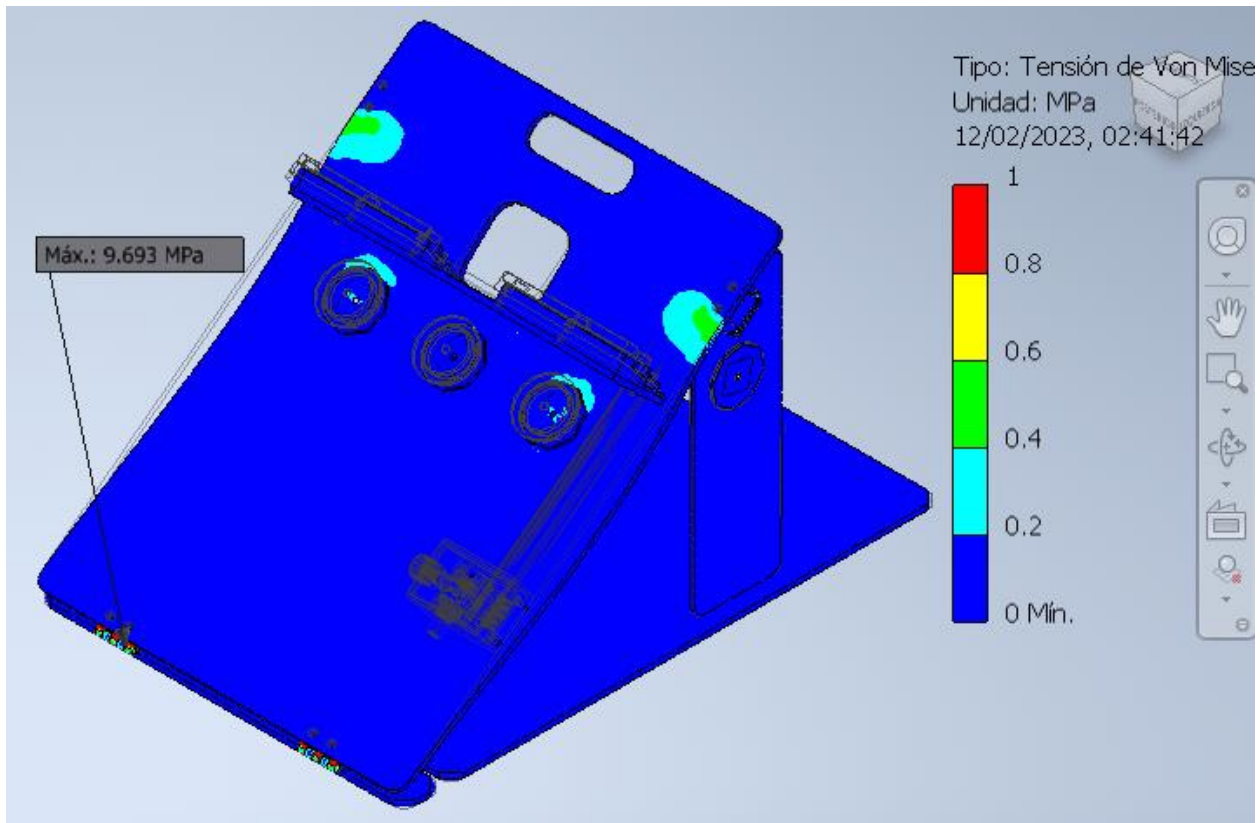
Vista frontal isométrica de la estructura



En la Figura 46 se muestran los esfuerzos generados por las fuerzas externas en la estructura. Se puede apreciar que existe un esfuerzo de 0.4 Mpa en la parte frontal, sin embargo, la Tabla 8 indica que el acrílico utilizado posee una resistencia a la flexión de 110 Mpa, lo que significa que la estructura no sufrirá fallas debido a la flexión. Además, se puede ver que el esfuerzo máximo generado es de 9.693 Mpa en las bisagras, que son de acero al carbono y tienen una resistencia a la rotura de 296 Mpa, por lo que también se considera que estas no sufrirán fallas.

Figura 46

Esfuerzo en la estructura

**Diseño electrónico**

El esquema general del diseño electrónico se tiene en la Figura 47, los elementos a utilizar corresponden a los seleccionados en la Selección de componentes del subsistema electrónico, todos estos elementos son comerciales por lo cual solo se necesita realizar la conexión de acuerdo al esquema general

Figura 47

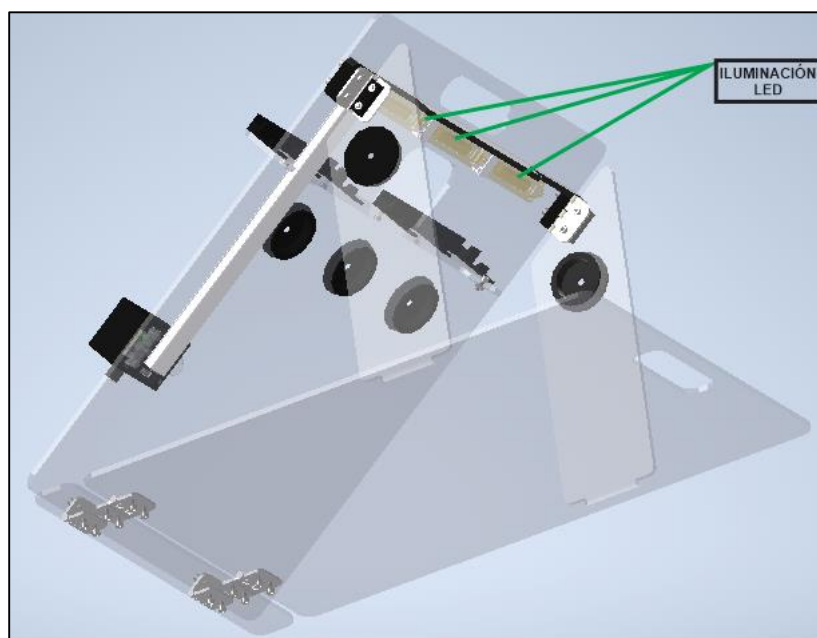
Esquema general del diseño electrónico



La iluminación es un elemento clave del entrenador, por lo que es importante que esté ubicada correctamente. En la Figura 48 se puede apreciar la posición de la iluminación en la estructura, lo que asegura una buena iluminación en la zona de entrenamiento. Además, las luces LED seleccionadas tienen una luminosidad de 200 LM y una vida útil de 30000 horas, lo que garantiza su correcto funcionamiento.

Figura 48

Ubicación iluminación LED



Capítulo III.

Construcción y programación

En este capítulo se describen los procesos para la elaboración del entrenador laparoscópico mediante visión por computador. Se inicia con la construcción de la estructura física y se prosigue con la integración de todos los componentes electrónicos que conforman el sistema. Finalmente, se lleva a cabo la programación del algoritmo de visión por computador, se crea la interfaz gráfica de escritorio y la aplicación móvil, que son elementos clave para el correcto funcionamiento del entrenador laparoscópico.

Construcción del entrenador laparoscópico mediante visión por computador



Para la construcción del entrenador, se combinaron diferentes técnicas de fabricación, incluyendo la impresión 3D para la creación de los elementos rígidos (alzas, soporte de cámara y carcasa del circuito) y flexibles (orificios de inserción). Además, el corte láser fue utilizado para fabricar la estructura (bases, columnas y frontal).

Impresión 3D

Se empleó la tecnología de impresión en 3D de fabricación de filamento fundido (FDM), para fabricar las piezas sólidas y flexibles del entrenador, que tienen una geometría compleja, tales como los soportes, la carcasa para la cámara, la carcasa del circuito y los orificios de inserción, los materiales utilizados fueron seleccionados previamente en la Selección de componentes del subsistema mecánico. La configuración utilizada en la impresión está detallada en la Tabla 39.

Tabla 39

Parámetros de impresión para elementos 3D

Elemento	Figura	Material	Velocidad de impresión	Temperatura del extrusor	Altura de capa
Alzas, soporte de cámara y carcasa del circuito		PLA	30 mm/s	150 °C	0.3 mm
Orificios de inserción		TPU	20 mm/s	130 °C	0.2 mm

En la Figura 49 se muestra la impresión 3D en curso y los elementos ya impresos. Se puede apreciar un acabado de buena calidad.

Figura 49*Elemento Impreso en 3D*

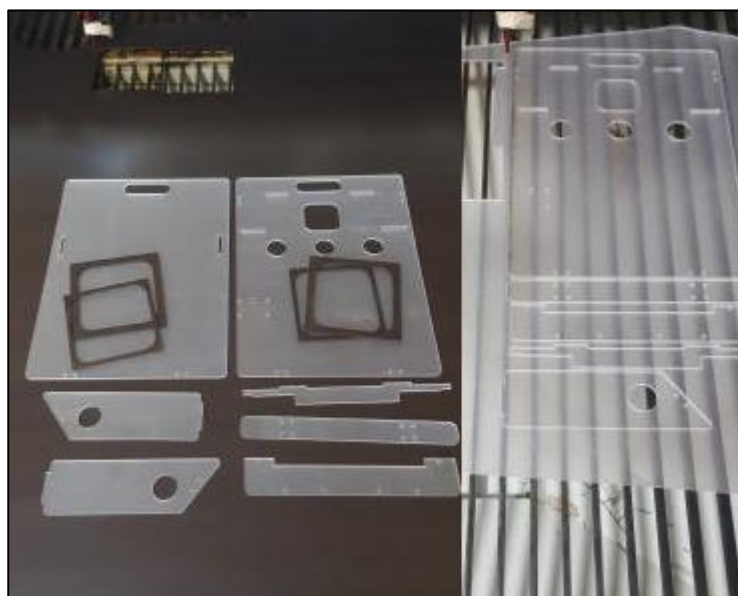
Corte láser estructura

Para la elaboración de la estructura (bases, frontal y columnas), se utilizó el proceso de corte por láser. El material es acrílico como se seleccionó en el apartado Selección material de la estructura, el espesor es de 4mm, este es un dato importante para la asignar la potencia adecuada del láser.

En la Figura 50, se pueden ver los elementos de la estructura después de ser cortados con láser, se puede observar que los elementos tienen un corte preciso y sin rebabas, resultando en un acabado excelente.

Figura 50

Elementos de la estructura elaborado por corte láser




Ensamble del entrenador laparoscópico

Para el ensamble del entrenador, se utilizaron pernos y tuercas M3 y los elementos previamente elaborados y seleccionados. Estos elementos se pueden visualizar en la Tabla 40.

Tabla 40

Elemento para ensamble del entrenador laparoscópico

Elemento	Descripción	Gráfica
Bases, columnas, frontal.	Estructura del entrenador	
Bisagras	Distancia entre centros 30 mm	
Pernos y tuercas	Kit de diferentes longitudes M3	
Alzas, soporte de cámara y carcasa del circuito	Elementos rígidos impresos en 3D	
Orificios de inserción	Elementos flexibles impresos en 3D	
Modulo luces led	Voltaje de alimentación 12 VDC	
Adaptador	Voltaje de salida 12V DC	
Regulador de voltaje PWM	Voltaje de alimentación 6 - 28 [V]	
Conectores alimentación DC hembra	Diámetro externo 5.5 [mm]	

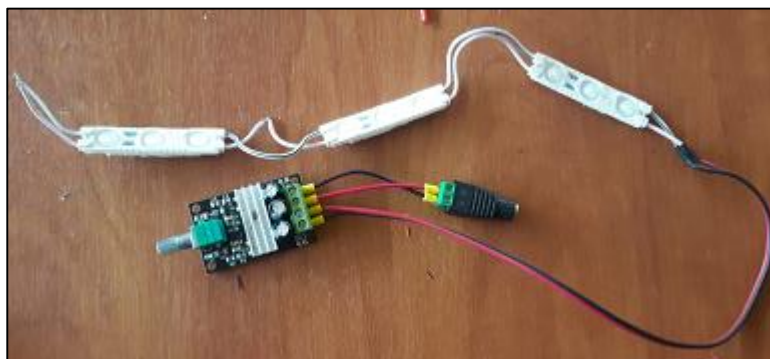
Elemento	Descripción	Gráfica
Cautín	Voltaje de alimentación 110 -220 VAV 60 watts,	
Pasta para soldar y estaño	60% de estaño por un 40% de plomo	
Cable	Cable flexible AWG 25	
Termo contraíble	Aísla las uniones de los cables	
Terminal	Terminal puntera hueca para cable AWG 18 -26	

Ensamble del sistema electrónico

Los componentes electrónicos, como el regulador de voltaje PWM, el conector hembra DC y el módulo de luces LED, se unen según el esquema general del diseño electrónico, ilustrado en la Figura 47. Para unir los cables, se utiliza estaño, pasta de soldadura y se protegen con material termo contraíble. Las conexiones entre terminales tipo bloque se hacen con terminales punta hueca, según se muestra en la Figura 42.

Figura 51

Ensamble del sistema electrónico



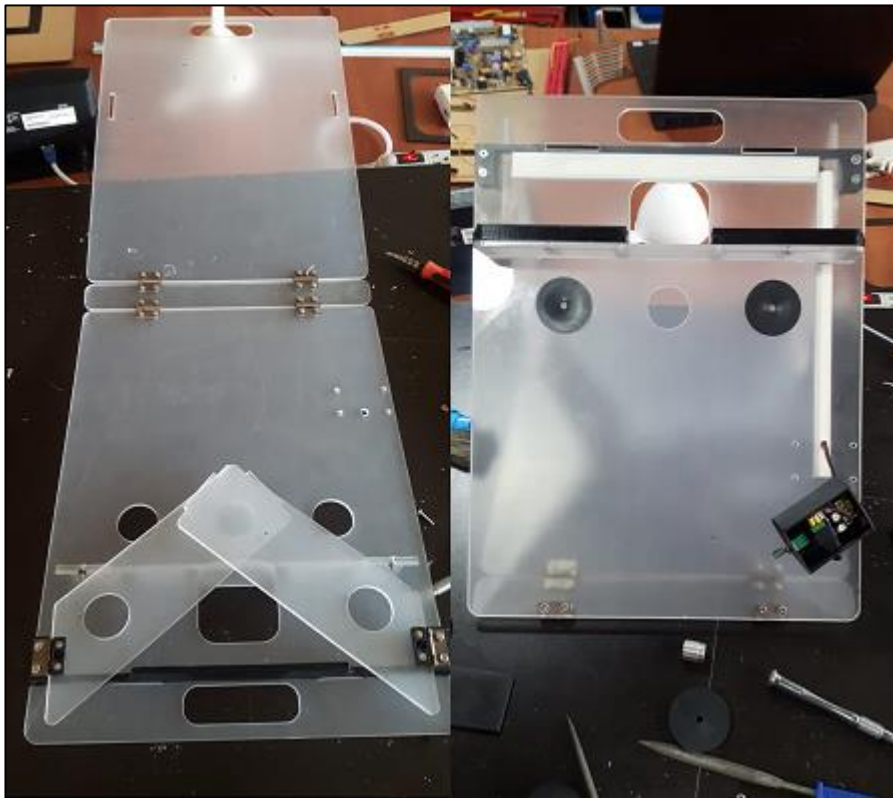
En la Figura 39 se puede ver el ensamble final con todos los componentes producidos con este proceso.

Ensamble de la estructura

La estructura se ensambla mediante el uso de bisagras, pernos y tuercas M3. Mientras que los elementos flexibles, como los orificios de inserción, se insertan a presión en los orificios de la estructura, se coloca el sistema eléctrico dentro de la carcasa para fijarlo en la estructura, los cables van dentro de canales que se fijan a la estructura con cinta doble faz. Todo este proceso de ensamblaje se puede ver en la Figura 52.

Figura 52

Ensamble de la estructura

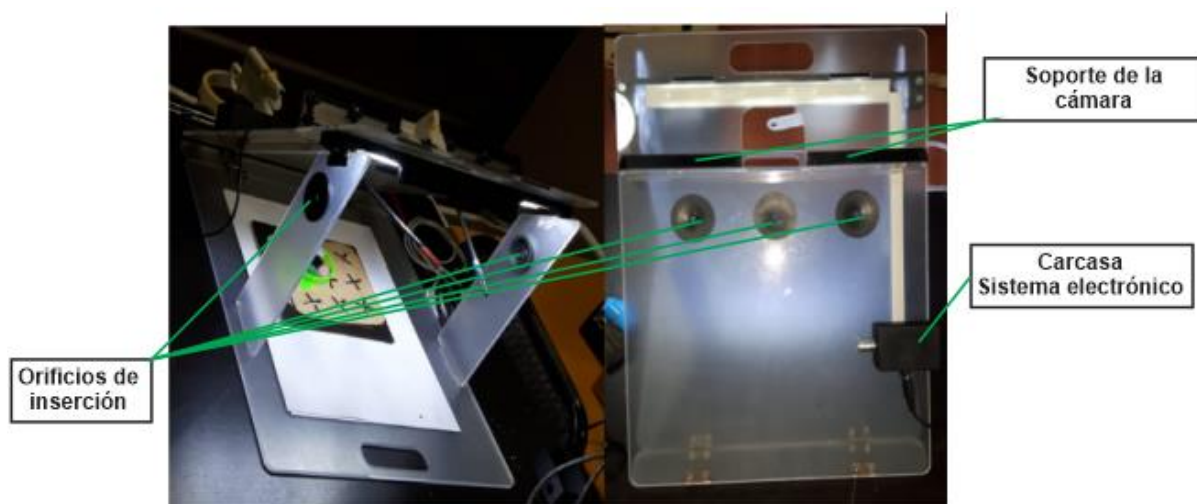


Entrenador laparoscópico

Se puede apreciar en la Figura 53 el entrenador laparoscópico, donde se ha logrado unir los componentes mecánicos y eléctricos en un solo dispositivo. La combinación de tecnología de impresión 3D y el uso de materiales seleccionados cuidadosamente, permite una construcción duradera y confiable,

Figura 53

Entrenador laparoscópico



Desarrollo del algoritmo de visión por computadora

Para desarrollar el algoritmo de visión por computadora, se colocó una cámara en un soporte en la estructura y se capturó la imagen. Luego, esta imagen fue procesada mediante el uso del lenguaje de programación Python y la librería OpenCV. Se detectaron los instrumentos laparoscópicos utilizando cintas de colores azul y naranja en las puntas de los instrumentos, y luego se calcularon las alturas de los mismos. Finalmente, se realizó el seguimiento de los instrumentos, permitiendo determinar su posición, velocidad y aceleración.

Detección de los instrumentos laparoscópicos

Para identificar las cintas de colores en los instrumentos laparoscópicos y diferenciarlas del fondo, se utiliza una imagen BGR y se la procesa en el espacio de color HSV. Luego, se crea una máscara que permite detectar los colores en diferentes alturas. Esto es necesario debido a que las cintas pueden oscurecerse o aclararse dependiendo de la distancia de la iluminación. Finalmente, al sumar las marcas detectadas se logra identificar con precisión los instrumentos laparoscópicos, como se puede ver en la Figura 54 y Figura 55.

Figura 54

Detección de instrumento laparoscópico izquierdo (Cinta naranja)

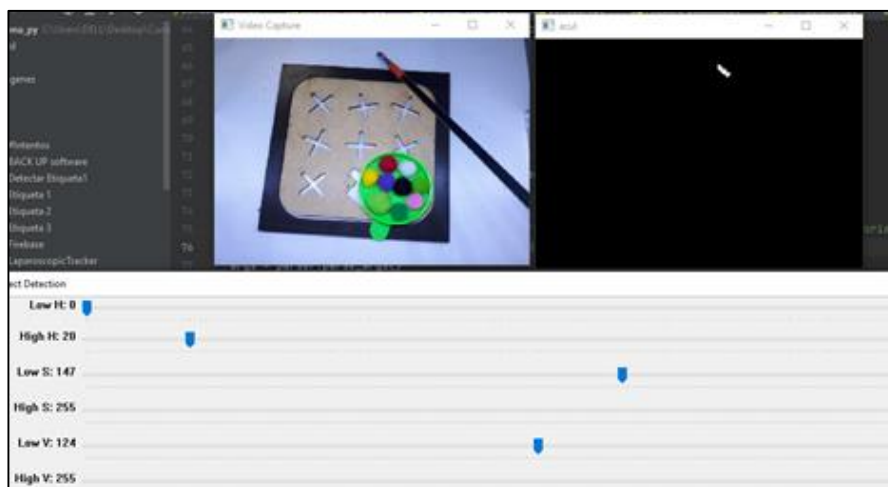


Figura 55

Detección de los instrumento laparoscópico derecho (Cinta azul)



Detección del área de trabajo

Para detectar el área de trabajo, se utiliza como referencia el marco negro que rodea los elementos físicos de los ejercicios. Se trabaja en el espacio de color HSV, como se puede ver en la Figura 56. A continuación, se detectan las esquinas del marco y se establece el área de trabajo del sistema. Esto permite a los usuarios tener una mejor comprensión del lugar donde deben realizar sus movimientos con los instrumentos laparoscópicos.

Figura 56

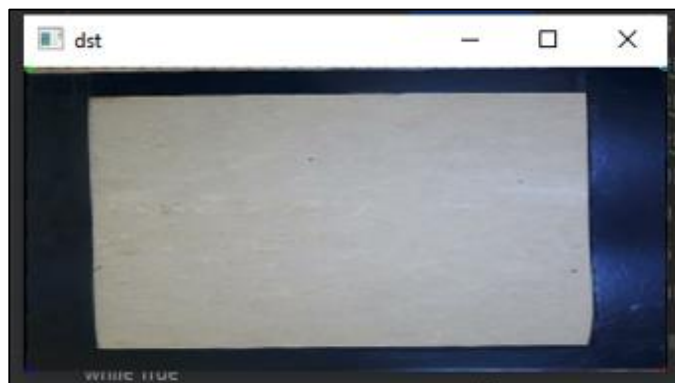
Detección del área de trabajo



Una vez identificadas las esquinas, se realiza una transformación de perspectiva que permite visualizar la imagen como si la cámara estuviera de frente al marco negro, esto se puede observar en la Figura 57. Esto es crucial para determinar los ejes X e Y, para monitorear si el instrumento se sale del área de trabajo y por cuánto tiempo.

Figura 57

Transformación de perspectiva



Cálculo de la altura

Para determinar la altura en del instrumento laparoscópico, que está en el eje z se llevan a cabo mediciones en diferentes alturas, como se muestra en la Figura 58.

Figura 58

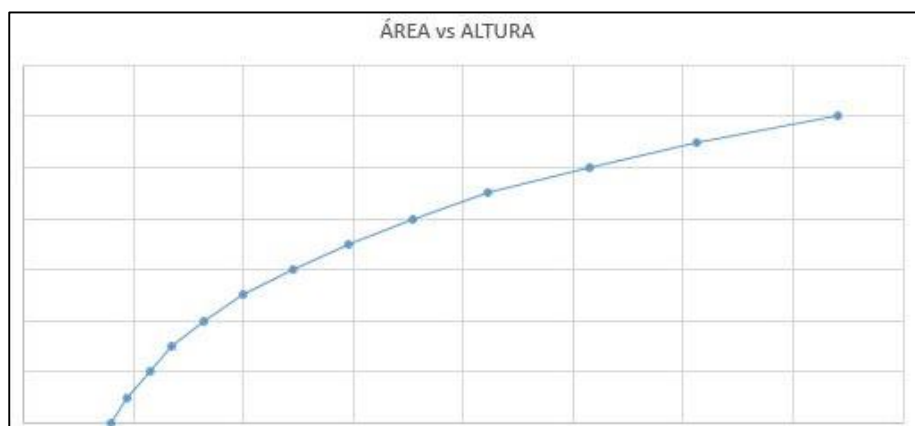
Medición de la altura



Luego de tomar medidas a diferentes alturas, se establece una correspondencia entre el área de la cinta del instrumento y su ubicación en el eje z. Se puede ver la relación que tiene en la gráfica, área de la cinta del instrumento vs ubicación en el eje z de la Figura 59.

Figura 59

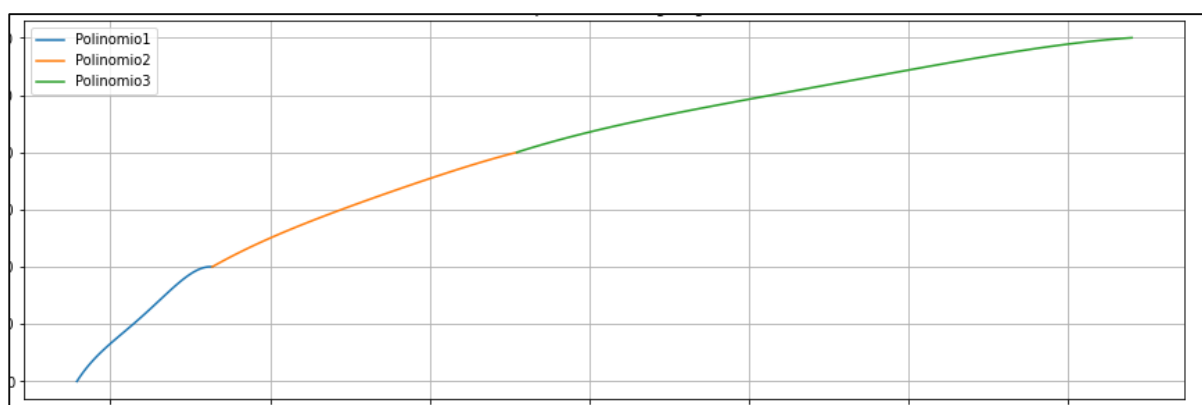
Gráfica área de la cinta del instrumento vs ubicación en el eje z



Finalmente, se utiliza la Interpolación polinómica, para calcular tres polinomios que determina la altura del instrumento basándose en el área de la cinta. Se utiliza una función a trozos, como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** De esta anera, se obtiene el valor de la altura del instrumento.

Figura 60

Grafica de los polinomios calculados

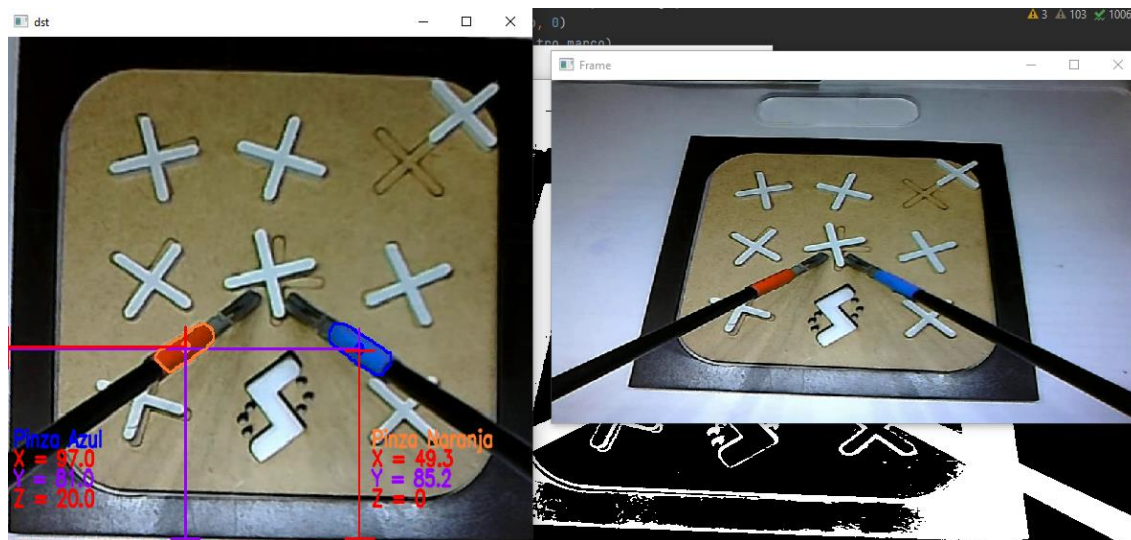


Tracking instrumentos laparoscópicos

Una vez detectados los instrumentos en los ejes X, Y y Z, se realiza el tracking de los mismos en el área de trabajo, como se puede ver en la Figura 61. Esta información es almacenada en vectores, ya que corresponde a la posición los instrumentos en los ejes X,Y y Z, respectivamente.

Figura 61

Tracking instrumentos laparoscópicos

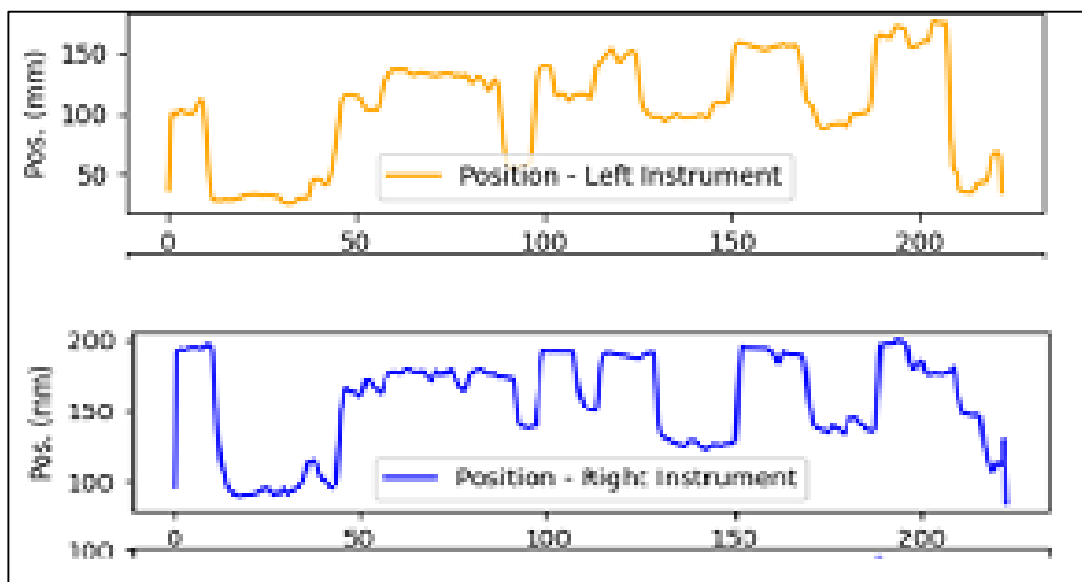


Posición de los instrumentos laparoscópicos

La posición de los instrumentos laparoscópicos se registra a través de vectores que almacenan los valores de los ejes X, Y y Z. En la Figura 62 se puede ver la gráfica de la posición tanto del instrumento derecho como izquierdo. Además, se calcula la distancia total recorrida por los instrumentos, y estos resultados se presentarán en una interfaz gráfica.

Figura 62

Posición de los instrumentos

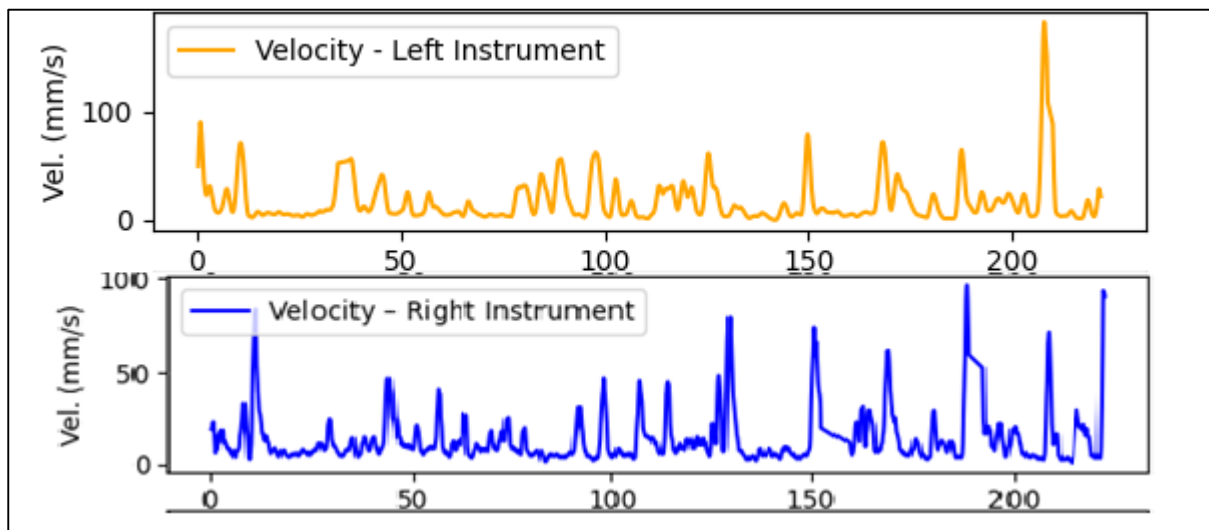


Velocidad de los instrumentos laparoscópicos

Se parte de los vectores correspondientes a la posición de los instrumentos laparoscópicos, se realiza una derivación numérica para obtener la velocidad tanto del instrumento derecho como izquierdo. Estos valores se almacenan en un vector y se representan en una gráfica, como se puede ver en la Figura 63. Además, se calcula el valor promedio de estos vectores, obteniéndose como resultado un valor escalar que será presentado en los resultados de la interfaz gráfica.

Figura 63

Velocidad de los instrumentos

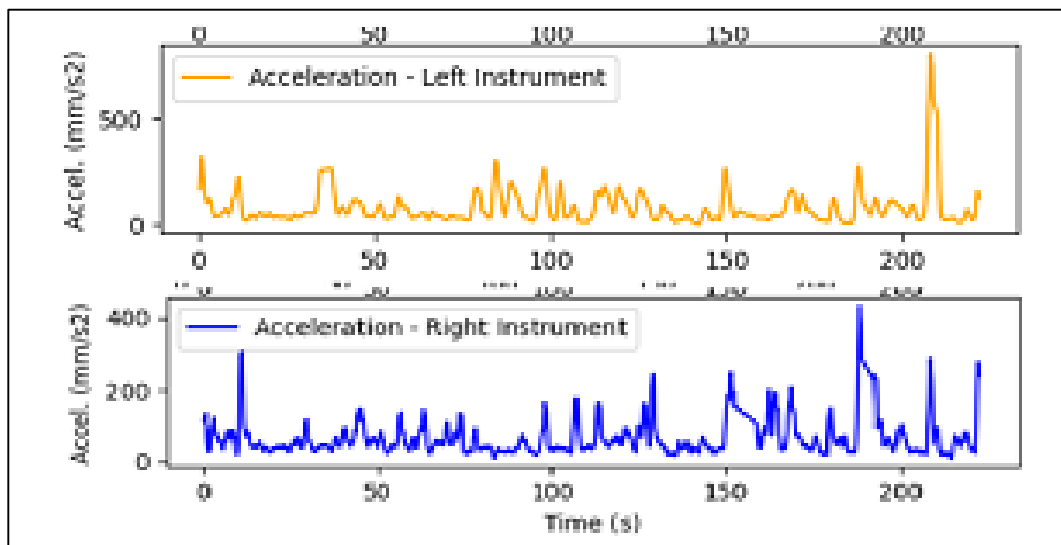


Aceleración de los instrumentos laparoscópicos

Se deriva numéricamente la velocidad de los instrumentos laparoscópicos, también se puede obtener a partir de la derivada numérica de la posición, obteniendo así la aceleración tanto del instrumento derecho como del izquierdo. Estos valores se almacenan en vectores y se grafican, como se puede ver en la Figura 64. Además, se calcula el valor promedio de estos vectores y se obtiene un valor escalar de la aceleración, que se presentará en los resultados de la interfaz gráfica.

Figura 64

Aceleración de los instrumentos

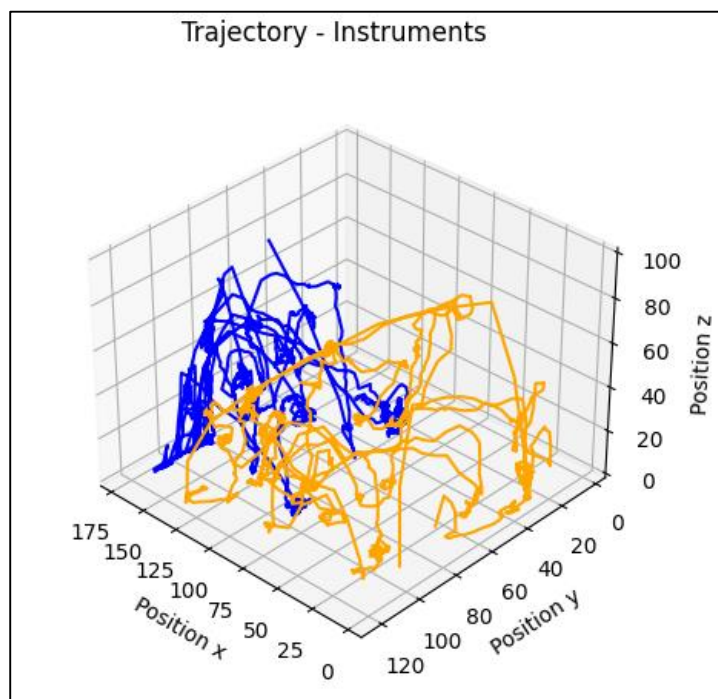


Trayectoria 3D instrumentos laparoscópicos

Se puede visualizar la trayectoria seguida por los instrumentos laparoscópicos en el espacio mediante la representación gráfica de los vectores de posición X, Y, Z. Esta representación se muestra en la Figura 65.

Figura 65

Trayectoria 3D instrumentos



Desarrollo de la aplicación escritorio

Se ha elegido Python como lenguaje de programación y PyQt5 como librería para implementar los diferentes widgets que brindan funcionalidad a la interfaz. El diagrama de flujo propuesto se encuentra en la Figura 18.

Venta uno inicio de sesión

La ventana uno corresponde al inicio de sesión, cuenta con cajas de texto para ingresar la información de "Email" y "Password", que corresponden al correo electrónico y contraseña respectivamente. Al final de la ventana, hay un botón "Login". Si los datos ingresados son correctos, se accede a la ventana dos, de lo contrario, se muestra un mensaje indicando que

los datos son incorrectos, como se muestra en la Figura 66, en la Tabla 41 podemos ver los elementos de la venta y su función.

Figura 66

Ventana uno inicio de sesión

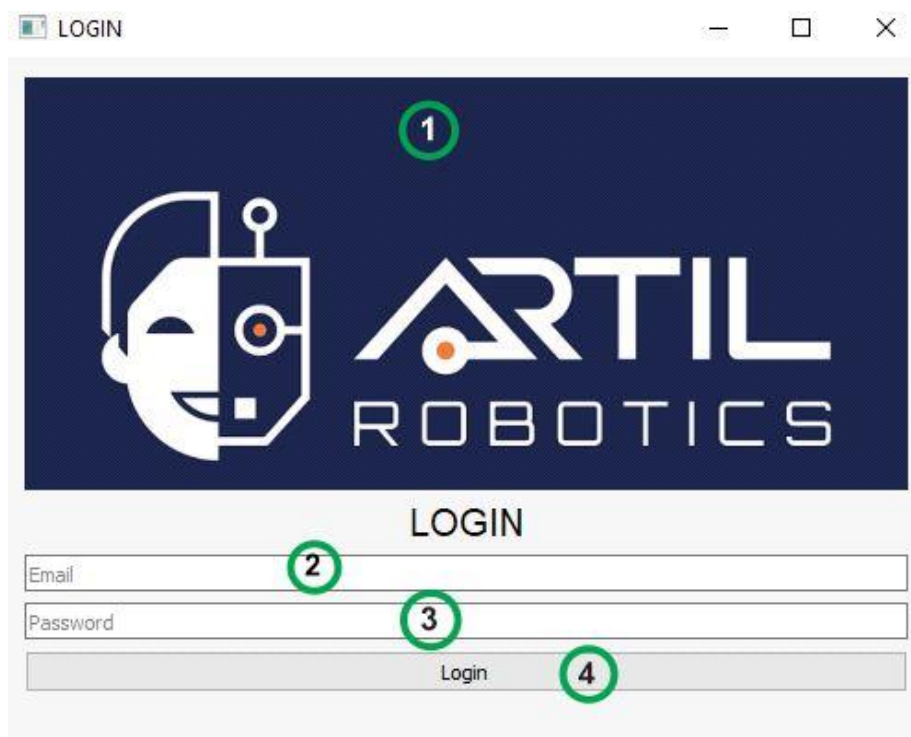


Tabla 41

Elemento de la ventana uno inicio de sesión

Número de globo	Elemento	Función
1	Logo	Indica el nombre de la empresa y su logotipo
2	Caja de texto Email	Caja de texto para introducir el correo electrónico
3	Caja de texto Password	Caja de texto para introducir la contraseña
4	Botón Login	Botón para ingresar los datos

Ventana dos pestaña “Trainer”

En la Figura 67 se puede observar la ventana dos, pestaña “Trainer” y en la Tabla 42 podemos ver los elementos de la venta y su función.

En la segunda ventana se encuentra la pestaña "Trainer", que se compone de diversos elementos para la realización de las prácticas. En la esquina inferior izquierda, se dispone de una lista desplegable llamada "Select Practice" para seleccionar la práctica deseada. Al elegir una práctica, un enlace se muestra en la caja "Check out the following tutorials", que proporciona un tutorial en vídeo de la práctica seleccionada.

Figura 67

Ventana dos pestaña “Trainer”



Tabla 42

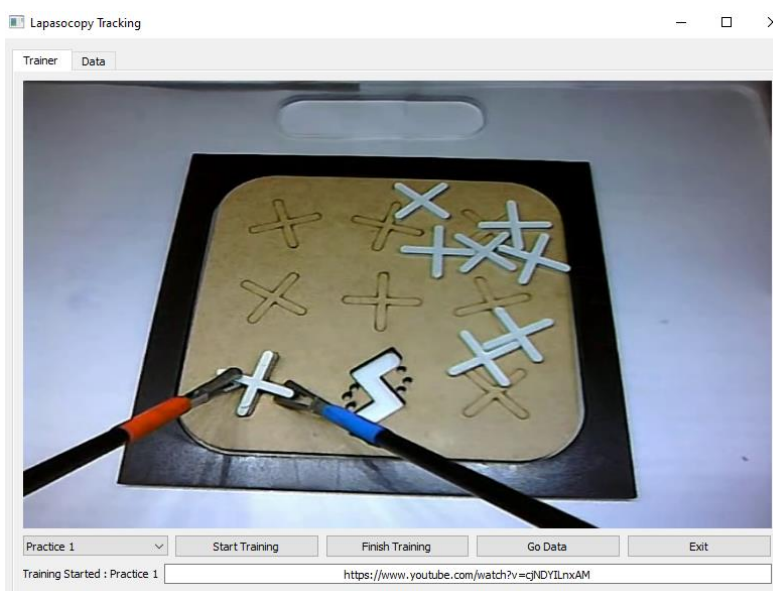
Elementos de la ventana dos pestaña "Trainer"

Número de globo	Elemento	Función
1	Pestaña Trainer	Indica el nombre de la pestaña en la que se encuentra el usuario
2	Logo y área de video	Indica el nombre de la empresa y su logotipo, además es el área en donde se proyecta la video al iniciar el entrenamiento
3	Lista desplegable	Indica las practicas que se pueden seleccionar
4	Botón Start Training	Inicia la transmisión de video
5	Botón Finish Training	Finaliza la transmisión de video
6	Botón Go Data	Nos envía a la pestaña Go Data
7	Botón Exit	Cierra de la ventana
8	Caja de mensaje 1	Nos indica una mensaje según el botón que se presione
9	Caja de mensaje 2	Nos indica un link del video de entrenamiento según la practica seleccionada de la lista desplegable

Después, el botón "Start Training", que inicia la transmisión de video en el centro de la pantalla, a continuación, el botón "Finish Training" finaliza la transmisión de video. El botón "Go Data" nos lleva a la pestaña "Data", y finalmente el botón "Exit" cierra la ventana.

Figura 68

Ventana dos pestaña "Trainer" entrenamiento iniciado



Ventana dos pestaña "Data"

En la pestaña "Data" de la ventana dos,. Al presionar el botón "RESULT" en la parte superior, se muestran los resultados del entrenamiento en forma de cajas de colores azul y naranja en el centro de la pantalla. En la esquina inferior izquierda, se encuentra el botón "Save" que permite guardar los datos de las cajas azul y naranja. Además, hay un botón "Go to the trainer" que lleva a la pestaña "Trainer", y un botón "Graphics" que muestra los gráficos de posición, velocidad y tiempo. Por último, hay un botón "Exit" que cierra la ventana. Esto se puede ver en la Figura 69, en la Tabla 42 podemos ver los elementos de la venta y su función.

Figura 69

Ventana dos pestaña "Data"



Tabla 43*Elementos de la ventana dos pestaña "Data"*

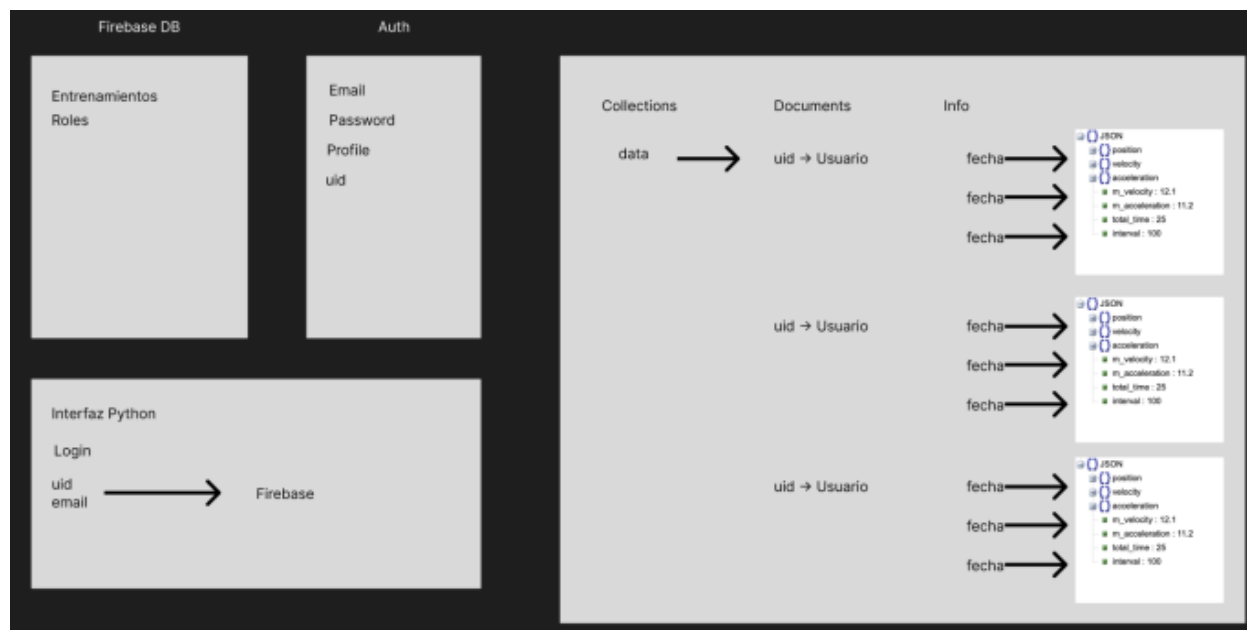
Número de globo	Elemento	Función
1	Pestaña Data	Indica la pestaña en la que se encuentra el usuario
2	Botón Results	Indica los resultados obtenidos del entrenamiento
3	Cajas de color azul	Indican todos los datos del instrumento derecho(cinta azul)
4	Cajas de color naranja	Indican todos los datos del instrumento izquierdo(cinta naranja)
5	Botón Save	Envía los datos de los instrumentos a la base de datos
6	Botón Go to the trainer	Nos envía a la pestaña Trainer
7	Botón Exit	Cierra de la ventana
8	Botón Graphis	Nos indica las gráficas de posición, velocidad, aceleración y trayectoria 3D de los instrumentos

Base de datos

Para acceder a los datos en cualquier momento, se deben almacenar en la nube. Para ello, se ha elegido utilizar Firebase como aplicación para almacenamiento de datos, sus características se pueden ver en la Tabla 31.

Estructura de los datos

Los datos que se recogen durante el entrenamiento deben ser guardados en un formato JSON para su posterior almacenamiento y consulta. Para lograr esto, se programa en Python utilizando estructuras de datos como diccionarios. La estructura utilizada se puede ver en la Figura 70. Además, también se guardan los correos electrónicos y contraseñas de los usuarios para permitir el acceso a la aplicación tanto en la de escritorio como en la móvil.

Figura 70*Estructura de los datos*

Desarrollo aplicación móvil

Para desarrollar la aplicación móvil se utiliza Flutter, se seleccionó en: Selección del framework para aplicación móvil, todas las características se puede ver en la Tabla 34, el diagrama de flujo se puede en la Figura 22.

Ventana uno inicio de sesión

La ventana de inicio de sesión cuenta con dos cajas de texto para ingresar el correo electrónico y la contraseña. Al final de la ventana, hay un botón "Iniciar sesión". Si los datos ingresados son válidos, se accederá a la siguiente ventana, de lo contrario, se mostrará un mensaje indicando que los datos son incorrectos. También se tiene un botón "Registrarse", en donde podemos crear un nuevo usuario. Esto se puede ver en la Figura 71, además en Tabla 44 se tiene los elemento de la ventana uno inicio de sesión y sus funciones.

Figura 71

Ventana uno inicio de sesión

The image shows a login form with the following elements:

- 1**: A blue link labeled "Registrarse" next to the text "No tienes una cuenta?".
- 2**: An input field labeled "Email" with a blue underline.
- 3**: An input field labeled "Contraseña" with a red asterisk on the right.
- 4**: A blue link labeled "¿Olvidaste tu contraseña?".
- 5**: A button labeled "Iniciar sesión".

Tabla 44

Elemento de la ventana uno inicio de sesión

Número de globo	Elemento	Función
1	Botón Registrase	Crea un nuevo usuario
2	Caja de texto Email	Caja de texto para introducir el correo electrónico
3	Caja de texto Contraseña	Caja de texto para introducir la contraseña
4	Botón ¿Olvidaste tu Contraseña?	Permite restablecer la contraseña
5	Botón Login	Botón para ingresar los datos

Ventana dos menús

La ventana cuenta con varios menús para su uso. Si se presiona "Mis entrenamientos", se visualizarán los datos de los entrenamientos realizados previamente. Al presionar

"Instrucciones", se mostrará una guía de uso para el entrenador. Si se presiona "Videos", se presentará una lista de reproducción de diferentes prácticas de entrenamiento. Finalmente, en "Configuración", se puede salir y cambiar de usuario. Esto se puede ver en la Figura 72.

Figura 72

Ventana dos menús

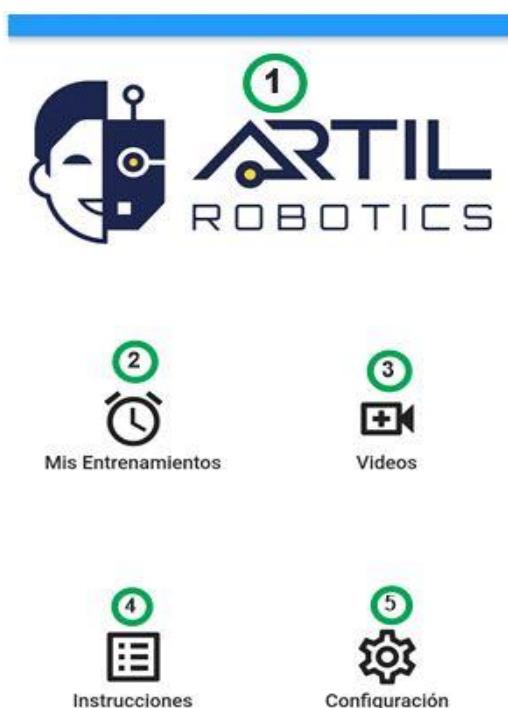


Tabla 45

Ventana dos menús

Número de globo	Elemento	Función
1	Logo	Indica el logo de la empresa
2	Botón Mis Entrenamientos	Permite visualizar un historial de los entrenamientos realizados
3	Botón Videos	Nos indica links de videos de entrenamientos realizados
4	Botón Instrucciones	Nos indica cómo utilizar las aplicaciones
5	Botón Configuración	Nos permite salir de la aplicación

Capítulo IV.

Pruebas y resultados

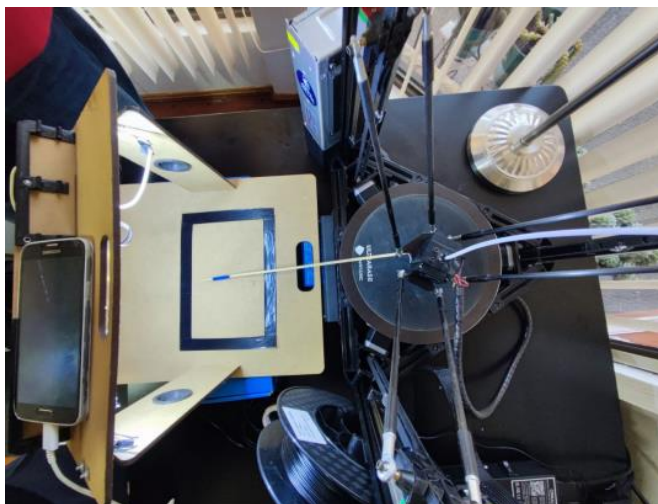
En este capítulo se describen las pruebas realizadas en el entrenador laparoscópico mediante visión por computadora y se evalúan los resultados obtenidos. Las pruebas fueron diseñadas para investigar la curva de aprendizaje a través del uso del equipo y la opinión experta sobre el sistema. Estos experimentos también ayudaron a respaldar la hipótesis propuesta.

Pruebas medición por visión por computadora

Para evaluar la precisión y exactitud, se utilizó una impresora 3D delta para recorrer una trayectoria en forma de cubo y se realiza un estudio de repetitividad en un ambiente controlado. La Figura 73 ilustra este proceso para obtener los datos de distancia y velocidad.

Figura 73

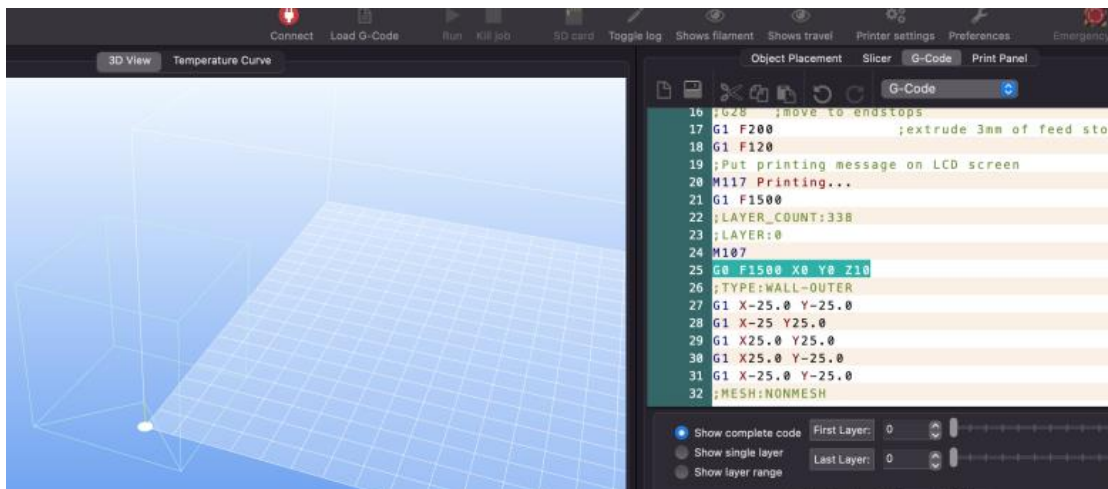
Prueba en impresora 3D tipo delta



La impresora delta se programa con un código G que permite la impresión de un cubo con una velocidad de 1500 mm/min o 25 mm/s, como se ilustra en la Figura 74.

Figura 74

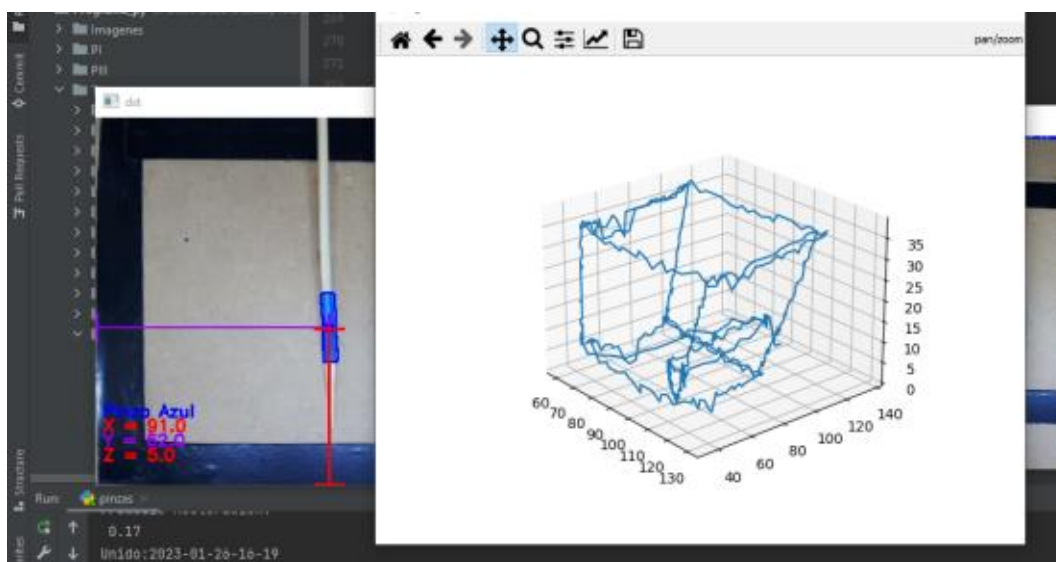
Código G para trayectoria de un cubo



Podemos ver la trayectoria obtenida a través de la visión por computador en la Figura 75, donde se puede apreciar cómo la trayectoria del cubo es igual a la programada en el código G.

Figura 75

Trayectoria obtenida por visión por computador



Precisión y exactitud de la medición por visión por computador

La Tabla 19 muestra los resultados obtenidos por visión por computador al imprimir el cubo con la impresora 3D delta, realizadas a una velocidad de 25 mm/s y una distancia total de 600 mm. Los datos incluyen la distancia y velocidad obtenida por visión por computador.

Tabla 46

Resultados obtenidos por visión por computador

N. Prueba	Instrumento Derecho (cinta azul)				Instrumento Izquierdo (cinta naranja)			
	Distancia medida [mm]	Distancia real [mm]	Velocidad medida [mm/s]	Velocidad real [mm/s]	Distancia medida [mm]	Distancia real [mm]	Velocidad [mm/s]	Velocidad real [mm/s]
Prueba 1	618	600	22	25	617	600	27	25
Prueba 2	616	600	23	25	621	600	24	25
Prueba 3	611	600	26	25	611	600	24	25
Prueba 4	615	600	27	25	614	600	28	25
Prueba 5	612	600	24	25	611	600	26	25
Prueba 6	617	600	28	25	613	600	22	25
Prueba 7	611	600	27	25	615	600	25	25
Prueba 8	610	600	28	25	615	600	25	25
Prueba 9	614	600	23	25	611	600	24	25
Prueba 10	612	600	24	25	614	600	26	25

Para determinar la exactitud se estima el valor verdadero de los resultados, utilizando la media, este cálculo se realiza mediante la ecuación (4).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

\bar{x} = media aritmética

n = número de lectura de eventos

x_i = valor de la muestra en determinada posición

El porcentaje de exactitud del sistema se puede determinar a partir del error, que representa la diferencia entre el valor promedio de la muestra y el valor estándar aceptado (4).

$$\%E_{det} = \frac{\bar{x} - \mu}{\mu} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

$\%E_{det}$ = Porcentaje de error determinado

\bar{x} = media aritmética

μ = valor aceptado

El sistema se considera exacto si el porcentaje de error determinado es menor al 2,5%.

Para evaluar la precisión del sistema, se han realizado cálculos de desviación estándar y varianza para determinar qué tan dispersos están los datos en comparación con su valor verdadero. La desviación estándar se obtuvo a partir de la varianza y se utilizó la fórmula 3 para ello.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Donde:

s = desviación estándar

Aplicando las ecuaciones (1), (2) y (4) a los resultados obtenidos por visión por computador de la Tabla 46, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 47.

Tabla 47

Resultados de exactitud y precisión

Característica	Instrumento Derecho (cinta azul)		Instrumento Izquierdo (cinta naranja)	
	Distancia [mm]	Velocidad [mm/s]	Distancia [mm]	Velocidad [mm/s]
Valor máximo	618	28	621	28
Valor mínimo	610	22	611	22
Rango	8	6	10	6
Media aritmética	613.6	25.2	614.2	25.1
Desviación estándar	2.8	2.25	3.12	1.73
Porcentaje de exactitud	2.27	0.8	2.37	0.4

Los resultados de la precisión y la exactitud se pueden ver en la Tabla 47. Se puede apreciar que el promedio del porcentaje de error determinado para las distancias es del 2,32%, mientras que para velocidad es del 0,6%. Estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables, por lo que se puede afirmar que el sistema de medición mediante visión por computador es exacto

Los resultados de la precisión del sistema de medición mediante visión por computador muestran una desviación estándar promedio baja, con 2,96 para las distancias y 1,99 para las velocidades. Los promedios de desviación están por debajo de 3mm y 2mm/s, para la distancia y la velocidad, respectivamente, podemos decir que el sistema es preciso. Sin embargo, el equipo tiene un margen de error de $\pm 3 \text{ mm}$ para la distancia y $\pm 2 \text{ mm/s}$ para la velocidad.

Pruebas y resultados entrenador laparoscópico mediante visión por computador

Se llevó a cabo una evaluación de la habilidad de 2 estudiantes, antes y después de utilizar el entrenador laparoscópico mediante visión por computador. La evaluación utiliza la

escala GOALS (Evaluación Global de Habilidades Laparoscópicas), se puede ver en la Tabla 48, que evalúa el desempeño y habilidad de los participantes en una tarea específica a través de diferentes parámetros (Vegas, Sanchez, Rodríguez, & Sánchez, 2013).

Se centró en dos parámetros de la escala GOALS para medir el mejoramiento de las habilidades motrices de los practicantes: percepción de profundidad y destreza bi-manual. Además, se registraron los tiempos por cada participante durante cada prueba.

Tabla 48

Escala GOALS

Puntuación	Percepción de profundidad	Destreza bi-manual
1	Constantemente sobrepasa el objetivo , movimientos amplios, corrige lentamente	Usa una sola mano, ignora la mano no dominante, pobre coordinación entre ambas
3	Algunas fallas en la toma de objetivos, pero corrige rápidamente	Usa ambas manos, pero la interacción entre ambas no es la óptima
5	Dirige los instrumentos en el plano correcto hacia el objetivo	Usa ambas manos de manera complementaria para una óptima exposición

Nota. Tomado de (Vegas, Sanchez, Rodríguez, & Sánchez, 2013)

Para adquirir los datos necesarios, para validar el entrenador laparoscópico mediante visión por computador, se divide la adquisición de datos en tres partes los cuales la podemos ver en la Tabla 49.

Tabla 49

Pasos para la adquirir datos

Numero de parte	Acción a realizar
Parte 1	Consiste en registrar los resultados antes de utilizar el entrenador laparoscópico mediante visión por computador. Esto se llevó a cabo con el objetivo de obtener información previa y conocer el nivel de destreza de cada participante. Se recopilaron muestras que incluían el tiempo y las habilidades evaluadas en la escala GOALS.

Numero de parte	Acción a realizar
Parte 2	Consiste en una instrucción rápida sobre cómo utilizar el entrenador laparoscópico mediante visión por computador. En esta parte se explicaron las características y el modo de operación del entrenador. La capacitación duró aproximadamente 20 minutos. Se brindó una oportunidad para que los estudiantes practicarán en el simulador. Implica la recolección de datos al utilizar el entrenador, los datos obtenidos incluyen tiempo y habilidades según la escala GOALS.
Parte 3	

Ejercicios realizados

Los ejercicios realizados para adquirir los datos se pueden ver en la Tabla 50.

Tabla 50

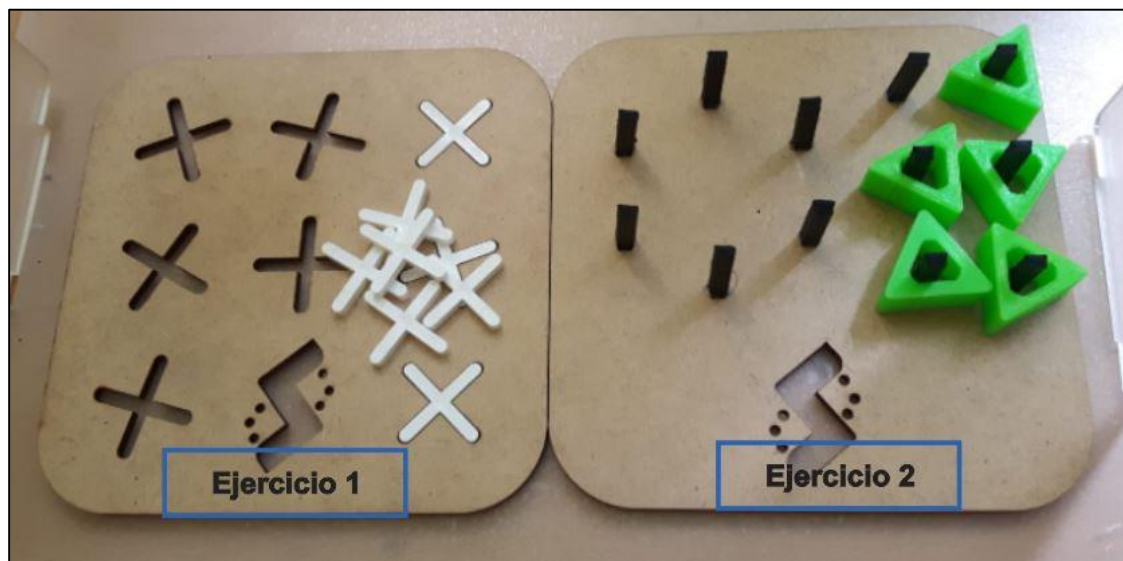
Ejercicios realizados

Ejercicio	Descripción	Destreza desarrollada	Instrucciones
Ejercicio 1	Colocar unas cruces dentro de una placa que tiene la misma forma. Colocar unos objetos que tienen forma de triángulo con un hueco en el medio, dentro de unas torres.	Adquiere destrezas de habilidad bi-manual y percepción de profundidad.	El estudiante toma las cruces con los instrumentos laparoscópicos y los mueve hasta llegar al molde que tiene la placa, las cruces deben calzar en el molde, esta rutina se repite 8 veces, ya que se tiene 8 cruces.
Ejercicio 2		Adquiere destrezas de habilidad bi-manual y percepción de profundidad.	El estudiante toma los triángulos con los instrumentos laparoscópicos y los mueve hasta llegar a la torre, se sueltan los triángulos y deben llegar a la base de la torre, esta rutina se repite 6 veces, ya que se tiene 6 triángulos.

Los elementos para desarrollar estos ejercicios y el entrenamiento se pueden observar en la Figura 76.

Figura 76

Elementos para desarrollar ejercicios



Curva de aprendizaje

El análisis de la curva de aprendizaje se llevó a cabo comparando el número de veces que cada estudiante repetía la práctica con el tiempo que empleaba en hacerlo. Con los datos obtenidos de los dos estudiantes, se calculó un promedio de tiempo para las prácticas realizadas, para que puedan ser representados de forma gráfica.

Resultados y análisis del ejercicio 1

En la Figura 77 se muestran los resultados del primer ejercicio. La línea verde es el tiempo que tarda los estudiantes en el entrenador laparoscópico tradicional y la línea celeste es el tiempo que tarda los estudiantes en el entrenador laparoscópico mediante visión por computador. Se puede observar que el uso del entrenador mediante visión por computador reduce el tiempo promedio de ejecución de la segunda práctica con respecto la primera

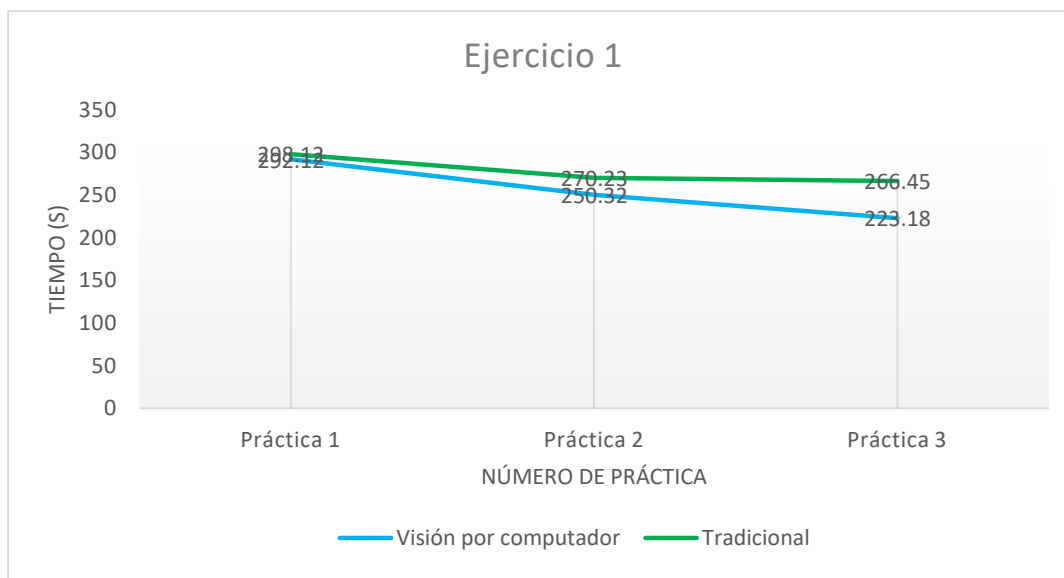
práctica en 41.8 segundos, mientras que el uso del entrenador tradicional solo reduce el tiempo en 27.89 segundos.

Además, se ve que en el tercer intento, los estudiantes reducen su tiempo de entrenamiento en 27.14 segundos con el entrenador por visión por computador, mientras que en el entrenador tradicional solo lo reducen en 3,78 segundos.

En general se puede ver que utilizando el entrenador mediante visión por computador se reduce un tiempo de 68.94 segundos, en relación de la primera práctica con la tercera, en cambio con entrenador tradicional se redujo el tiempo a 31.67 segundos, se nota una buena reducción del tiempo gracias al entrenador mediante visión por computador

Figura 77

Ejercicio 1



Resultados y análisis del ejercicio 2

En la Figura 78 se muestran los resultados del segundo ejercicio. La línea verde es el tiempo que tardan los estudiantes en el entrenador laparoscópico tradicional y la línea celeste

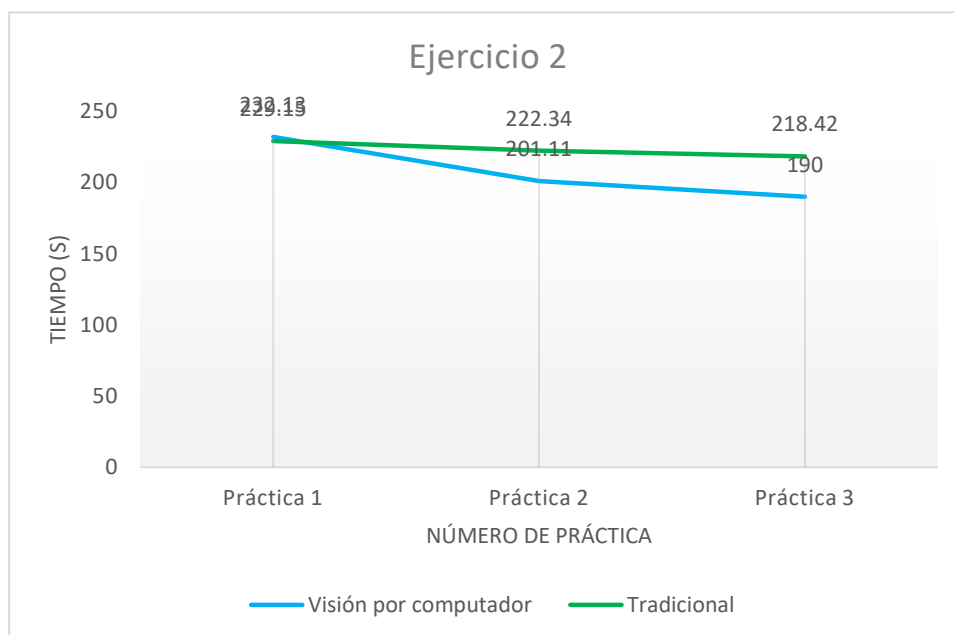
es el tiempo que tardan los estudiantes en el entrenador laparoscópico mediante visión por computador. Se puede observar que el uso del entrenador mediante visión por computador reduce el tiempo promedio de ejecución de la segunda práctica con respecto a la primera práctica en 31.02 segundos, mientras que el uso del entrenador tradicional solo reduce el tiempo en 6.81 segundos.

Además, se ve que en el tercer intento, los estudiantes reducen su tiempo de entrenamiento en 11.11 segundos con el entrenador por visión por computador, mientras que en el entrenador tradicional solo lo reducen en 3,92 segundos.

En general se puede ver que utilizando el entrenador mediante visión por computador se reduce un tiempo de 42.13 segundos, en relación de la primera práctica con la tercera, en cambio con entrenador tradicional se redujo el tiempo a 10.73 segundos, se nota una buena reducción del tiempo gracias al entrenador mediante visión por computador

Figura 78

Ejercicio 2



Resultados y análisis destreza bi-manual y percepción de profundidad

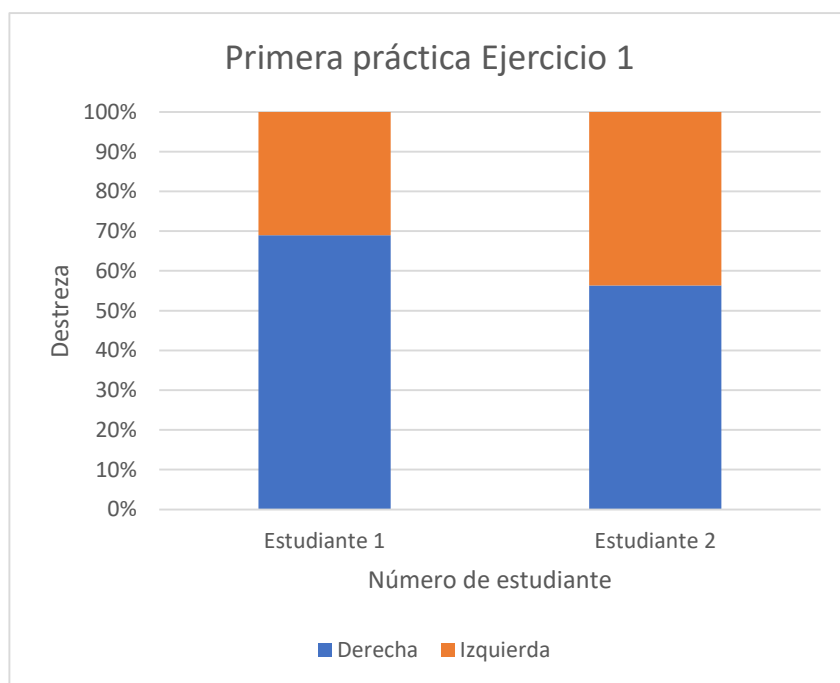
La escala GOALS tiene un criterio de puntuación para evaluar la habilidad bi-manual y eficiencia. Para hacer esto, se compararon las distancias recorridas por cada instrumento laparoscópico (izquierda y derecha) en el entrenador, con el objetivo de identificar la mano dominante y cómo evoluciona su habilidad a medida que el estudiante utiliza el entrenador.

Resultados y análisis del ejercicio 1

En la Figura 79 se ilustra la habilidad porcentual de cada estudiante en sus dos manos durante la realización de la primera práctica. Se puede ver que cada estudiante tiene una mayor destreza en su mano dominante (Derecha).

Figura 79

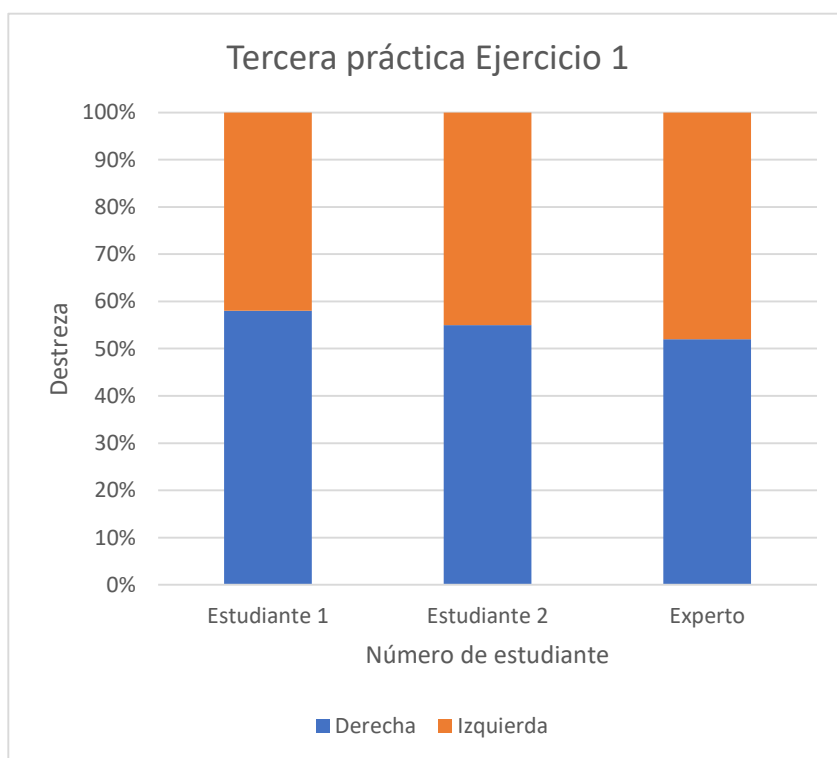
Primera práctica Ejercicio 1



En la Figura 80 se ilustra la habilidad porcentual de cada estudiante en sus dos manos durante la realización de la tercera práctica. Se puede ver que cada estudiante va adquiriendo destreza en ambas manos. En comparación con el experto, se observa que posee gran destreza en ambas manos.

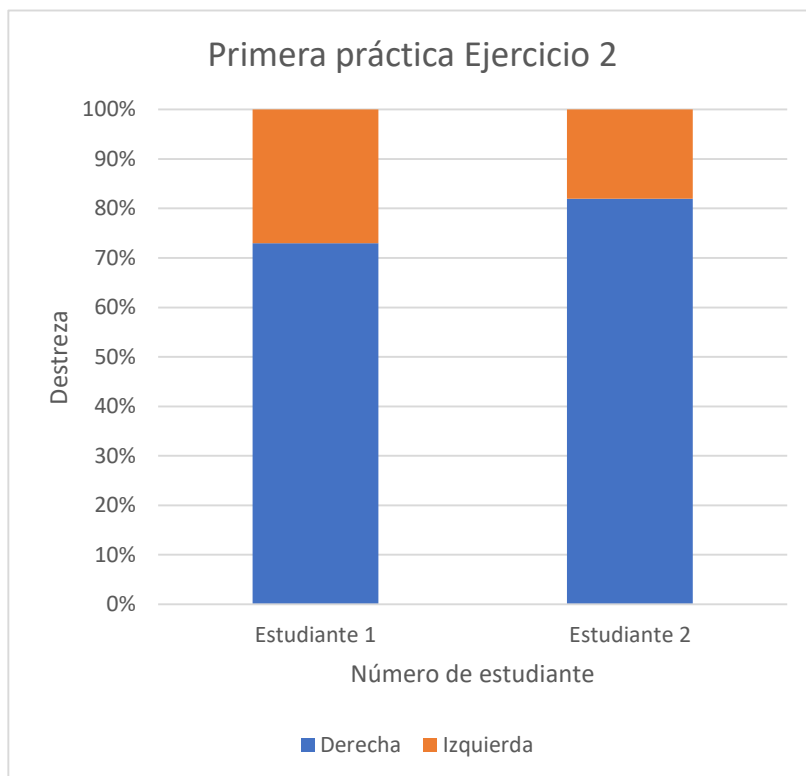
Figura 80

Tercera práctica Ejercicio 1

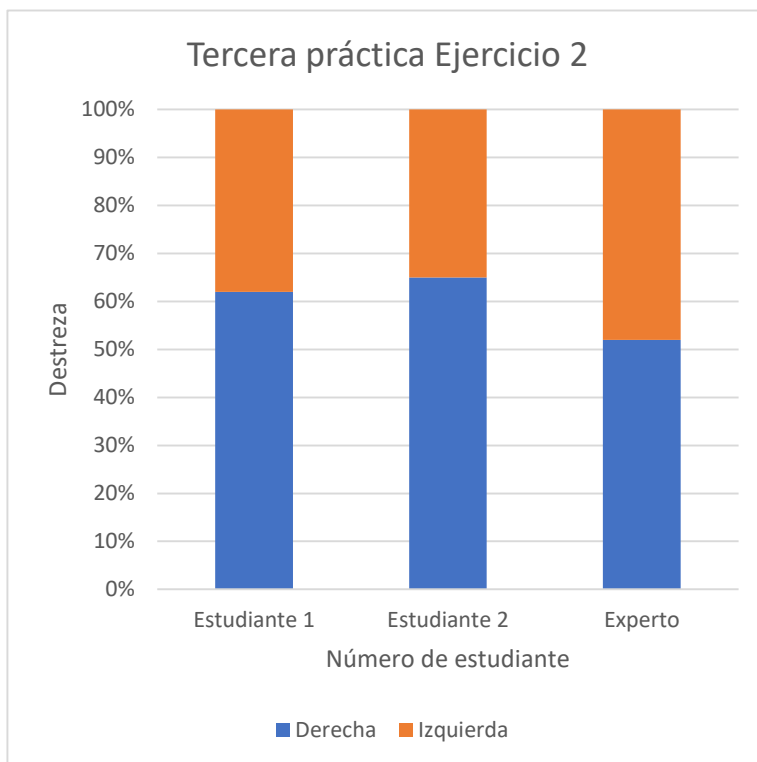


Resultados y análisis del ejercicio 2

En la Figura 81 se ilustra la habilidad porcentual de cada estudiante en sus dos manos durante la realización de la primera práctica. Se puede ver que cada estudiante tiene una mayor destreza en su mano dominante (Derecha).

Figura 81*Primera práctica Ejercicio 2*

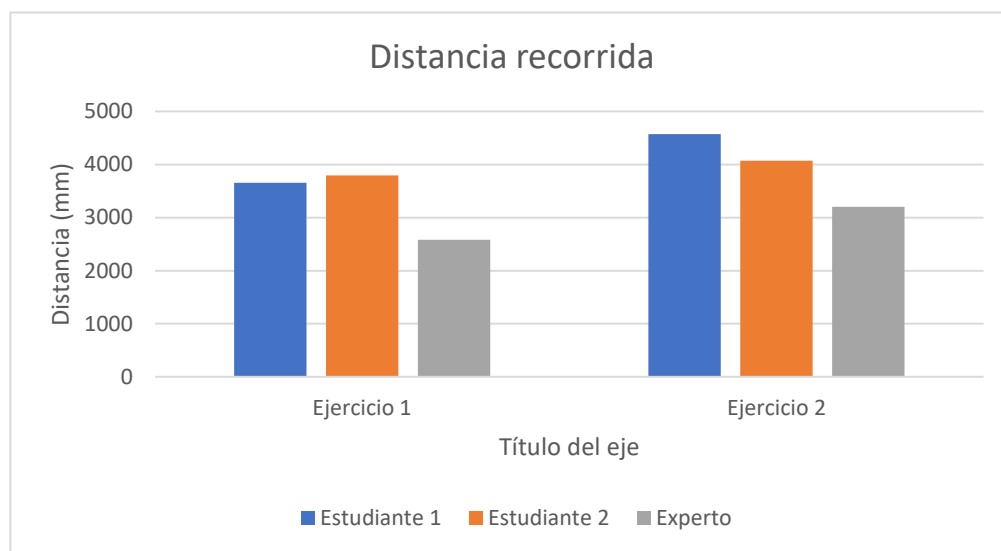
En la Figura 82 se ilustra la habilidad porcentual de cada estudiante en sus dos manos durante la realización de la tercera práctica. Se puede ver que cada estudiante ya va adquiriendo destreza en ambas manos. Aunque todavía se ve que la mano dominante es la derecha. En comparación con el experto, se observa que posee gran destreza en ambas manos.

Figura 82*Tercera práctica Ejercicio 2****Distancia recorrida***

La Figura 83 muestra la distancia media recorrida por los estudiantes al ejecutar las prácticas. Este parámetro es evaluado por un experto para determinar la percepción de profundidad de cada estudiante, según la escala GOALS. Se puede ver que con el uso del entrenador, cada estudiante mejora su habilidad y recorre una distancia promedio cada vez más cercana a la del experto.

Figura 83

Distancia recorrida

**Análisis de acuerdo a la escala GOALS**

En la Tabla 51 se representa cómo la escala GOALS evalúa el rendimiento del usuario en tres niveles. Un buen desempeño recibirá una puntuación de 1, un desempeño medio recibirá una puntuación de 3, y un buen desempeño recibirá una puntuación de 5.

A partir de los resultados obtenidos, el experto calificó el desempeño de cada estudiante en función de su habilidad durante los ejercicios. Los resultados se dividieron en dos tablas que corresponden a cada habilidad según se describen en la tabla GOALS. Cada tabla incluye la calificación otorgada durante la ejecución de la parte 1 y 3, que corresponden al uso del simulador tradicional y al uso del simulador con visión por computadora.

En la Tabla 51 se tiene los resultados de acuerdo a la escala GOALS, que evalúa la destreza bi-manual, se puede ver que la habilidad de destreza bi-manual mejora al utilizar el entrenador laparoscópico mediante visión por computador con respecto al tradicional, pues las puntuaciones mejoran en la parte 2.

Tabla 51*Calificación destreza bi-manual*

	Parte 1			Parte 2		
Destreza bi-manual (Puntuación)	1	3	5	1	3	5
Ejercicio 1	1	4	0	0	2	3
Ejercicio 2	3	1	0	1	3	1

En Tabla 52 la se tiene los resultados acuerdo a la escala GOALS, que evalúa la percepción de profundidad, se puede ver que la habilidad de percepción de profundidad mejora al utilizar el entrenador laparoscópico mediante visión por computador con respecto al tradicional, pues las puntuaciones mejoran en la parte 2.

Tabla 52*Calificación percepción de profundidad*

	Parte 1			Parte 2		
Percepción de profundidad (Puntuación)	1	3	5	1	3	5
Ejercicio 1	4	1	0	0	1	4
Ejercicio 2	5	0	0	0	4	1

Los resultados obtenidos en la Tabla 51 y Tabla 52, de acuerdo al doctor experto en laparoscopia presentan un gran avance en la curva de aprendizaje, y ayudan a mejorar habilidades motrices como destreza bi-manual y percepción de profundidad.

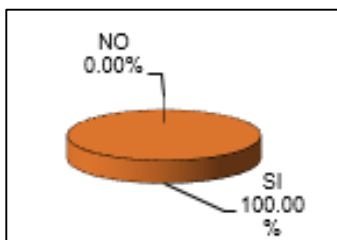
Satisfacción del entrenador laparoscópico mediante visión por computador

Para conocer la satisfacción del entrenador laparoscópico mediante visión por computador se aplicó una encuesta a los 2 estudiantes y al experto.

La pregunta 1: ¿Ha utilizado algún tipo entrenadores laparoscópico?

Figura 84

Respuesta pregunta 1

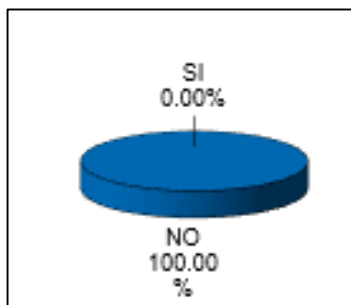


Los resultados de la pregunta 1, se puede ver en la Figura 84, todos tienen experiencia con entrenadores laparoscópico.

La pregunta 2 es ¿Ha utilizado algún tipo de entrenador laparoscópico mediante visión por computador?

Figura 85

Respuesta pregunta 2

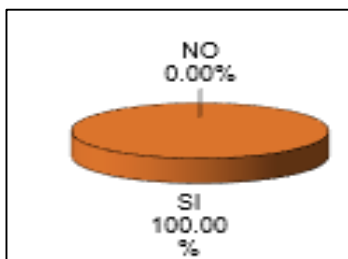


Los resultados de la pregunta 2, se puede ver en la Figura 85, todos coinciden, no han utilizado algún tipo de entrenador laparoscópico mediante visión por computador, esto, a partir de esta respuesta se puede decir que entrenador desarrollado es nuevo en innovador.

La pregunta 3: ¿Es fácil de transportar en entrenador laparoscópico desarrollado?

Figura 86

Respuesta pregunta 3

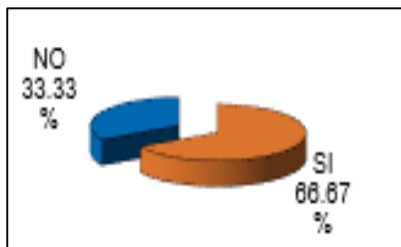


Los resultados de la pregunta 2, se puede ver en la Figura 86, todos consideran que el entrador es fácil de transportar, a partir de esta respuesta se puede concluir que el dispositivo es portable, cumpliendo así una necesidad plateada por el cliente.

La pregunta 4: ¿Le pareció buen la calidad del video?

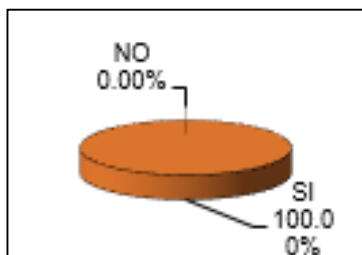
Figura 87

Respuesta pregunta 4



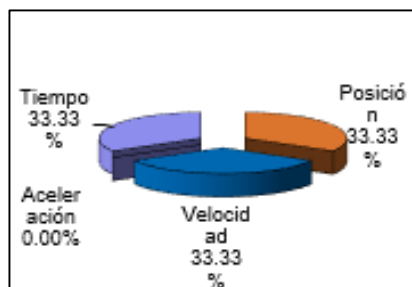
Los resultados de la pregunta 4, se puede ver en la Figura 87, un estudiante y el experto consideran que la calidad del video es buena, mientras que el otro estudiante considera que no, a partir de esta respuesta se puede concluir que la calidad del video se debe mejorar.

La pregunta 5: ¿La iluminación le parece correcta?

Figura 88*Respuesta pregunta 5*

Los resultados de la pregunta 5, se puede ver en la Figura 88, todos consideran que la iluminación les parece correcta, cumpliendo así una necesidad de buena iluminación plateada por el cliente.

La pregunta 6: ¿Cuál de los siguientes datos que le indican el entrenador laparoscópico mediante visión por computador son de utilidad, Posición, Velocidad, Aceleración o Tiempo?

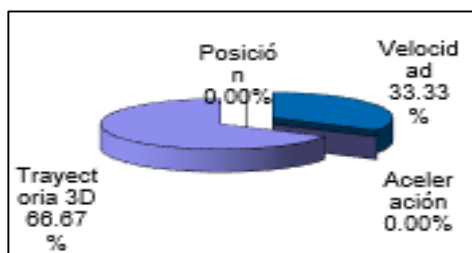
Figura 89*Respuesta pregunta 6*

Los resultados de la pregunta 6, se puede ver en la Figura 89, los datos que consideran, son de utilidad, son el tiempo, posición y velocidad, por lo cual la aceleración se podría descartar de los datos que indica el entrenador.

La pregunta 7: ¿Qué gráfica presenta le llamo más la atención, Posición Velocidad Aceleración o Trayectoria 3D?

Figura 90

Respuesta pregunta 7

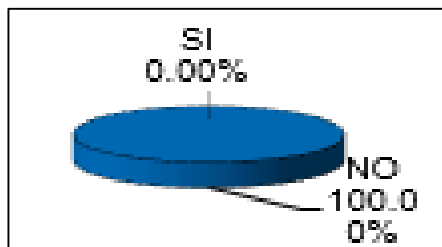


Los resultados de la pregunta 7, se puede ver en la Figura 90, las gráficas que les llamo más la atención, son el tiempo, trayectoria 3D y velocidad, esto se debe que a son graficas fáciles de interpretar.

La pregunta 8: ¿Tuvo algún inconveniente al introducir y manipular los instrumentos laparoscópicos a través de los orificios de inserción?

Figura 91

Respuesta pregunta 8

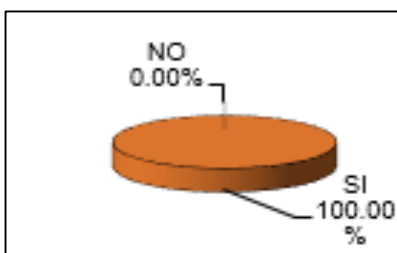


Los resultados de la pregunta 8, se puede ver en la Figura 91, los orificios de inserción no presentan ningún inconveniente, esto se debe a que son flexibles y se adaptan instrumento laparoscópico.

La pregunta 9: ¿Si estuviese en el mercado el entrenador mediante visión por computador lo compraría?

Figura 92

Respuesta pregunta 9

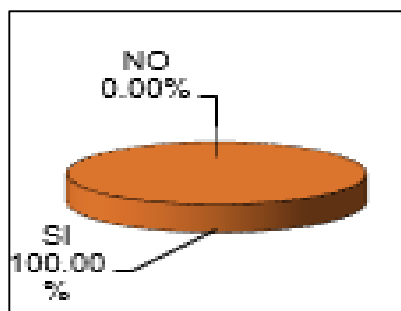


Los resultados de la pregunta 9, se puede ver en la Figura 92, se puede ver que están dispuestos a comprar el entrenador mediante visión por computador, a partir de esto se puede concluir que entrenador tiene buena aceptación.

La pregunta 10: ¿La aplicación móvil le pareció fácil de utilizar?

Figura 93

Respuesta pregunta 10



Los resultados de la pregunta 10, se puede ver en la Figura 93, se puede ver que no existe ningún inconveniente al utilizar la aplicación móvil.

Satisfacción por parte del experto

La evaluación del entrenador y la aprobación del entrenador, fue realizada por un especialista en cirugía laparoscópica.

El entrenador laparoscópico mediante visión por computador le pareció al doctor muy versátil, pues al ser su estructura plegable, permite al estudiante realizar el entrenamiento en su hogar o lugar de estudio, además brinda las cualidades de entrenador clásico y háptico, ya que permite obtener valores de distancia, posición, velocidad, aceleración y tiempo, brindando una retroalimentación instantánea al estudiante y haciendo posible la mejora en sus habilidades motrices.

Validación hipótesis

Gracias a la colaboración del especialista, se concluyó que una reducción en el tiempo de entrenamiento conduce a una mejora en las habilidades motrices del estudiante. Para comprobar esta hipótesis, se llevó a cabo una validación utilizando el método T-Student con el parámetro de tiempo, tomando en cuenta que la hipótesis planteada es: ¿El diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica mediante visión por computador favorecerá el desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina en la empresa Artil Robotics?.

Planteamiento de la Hipótesis

(H_o) = El diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica mediante visión por computador no favorecerá el desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina en la empresa Artil Robotics.

(H_i) = El diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica mediante visión por computador favorecerá el desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina en la empresa Artil Robotics.

Se utilizan las condiciones de la Tabla 53 y la ecuación (4).

$$T = \frac{\overline{X}_D}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \quad (4)$$

Donde:

T = valor T-Student calculado

\overline{X}_D = media de la diferencia de las muestras

S_D = desviación estándar de la diferencia de las muestras

n = número de muestras

Figura 94

T- Student

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058

Nota. Tomado de (cms, s.f.)

Tabla 53*Validación de hipótesis*

Condición de validación
$T > t_{\alpha}$
$T < -t_{\alpha}$
$T < -t_{\alpha/2} \text{ o } T > t_{\alpha/2}$

Para realizar el análisis T-Student se toman como muestras los tiempos de los ejercicios utilizando el entrenador sin visión por computadora y otro con visión por computadora, se toma el nivel de confiabilidad de 95% y se tiene las hipótesis:

(H_o) = El tiempo al realizar los ejercicios, en el entrenador mediante visión por computadora es menor al tiempo de realización los ejercicios en el entrenador tradicional.

(H_i) = El tiempo al realizar los ejercicios, en el entrenador mediante visión por computadora es mayor al tiempo de realización los ejercicios en el entrenador tradicional.

Utilizando la ecuación (1), se calcula la media aritmética de la diferencia de cada una de las muestras y se tiene que es 231.47 y con la ecuación (3) se calcula la desviación estándar de la diferencia de las muestras, se tiene es 36.72. Reemplazando estos valores en la ecuación (4) se tiene que:

$$T = 2.57$$

El valor de t_{α} se obtiene de la Figura 94, para lo que se utiliza un grado de libertad de 5 y un nivel de significancia de 5%, obtenido es $t_{\alpha} = 2.015$, por lo tanto:

$$2.57 > 2.015$$

Entonces se acepta la hipótesis nula que es, El tiempo al realizar los ejercicios, en el entrenador mediante visión por computadora es menor al tiempo de realización los ejercicios en el entrenador tradicional. Entonces a la vez se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la

hipótesis alternativa con un 95% de confiabilidad:” **El entrenador laparoscópico mediante visión por computador favorece el desarrollo de las habilidades motrices de los estudiantes de medicina”.**

Capítulo V.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se desarrolló un entrenador laparoscópico mediante visión por computador, su estructura es plegable lo que facilita su transporte, además se realizó un análisis CAE, en donde se determina que el esfuerzo máximo generado es 9.693 Mpa, el cual no supera la resistencia que tiene el acrílico a tensión y a flexión que es de 72 Mpa y 110 Mpa respectivamente, haciendo que la estructura sea segura y no falle.

Se desarrolló una aplicación de escritorio que permite al estudiante visualizar el video de la cámara en la pantalla del computador, además la visión por computador permite obtener datos de distancia, velocidad, aceleración, tiempo, al igual que las gráficas, tanto del instrumento derecho (cinta azul) como del instrumento izquierdo (cinta naranja), algo que llamo la atención a los estudiantes fue la trayectoria 3D, que permite observar la ruta que realizan los instrumentos, esta retroalimentación genera una sensación de competencia y desafía al estudiante a mejorar en cada entrenamiento.

Se desarrolló una aplicación móvil que permite al estudiante tener un historial, esto permite al estudiante revisar sus resultados de entrenamientos previos y planificar cómo superarlos y reducir sus tiempos.

La curva de aprendizaje se reduce, pues al realizar varios entrenamientos el tiempo va reduciéndose, lo que también confirma que sus habilidades motrices van mejorando.

Se mejoran otras habilidades como la percepción de profundidad y la destreza bi-manual, esto se verifica con puntuación en la escala GOALS, pues la puntuación va subiendo conforme se realizan más entrenamientos.

Recomendaciones

Desarrollar una aplicación de escritorio que tenga una función de escalado automático de la pantalla, para aprovechar al máximo el espacio disponible en la pantalla del PC.

Mejorar la calidad del video, se debe tomar directamente el video hacia la aplicación de escrito, ya que las aplicaciones existentes en el mercado reducen la calidad a una resolución de HD, a pesar que la cámara sea posea mayor resolución, si se desea utilizar la mayor calidad, se debe comprar la aplicación.

Desarrollar una estructura completamente cerrada, pues las variaciones bruscas de brillo afectan al algoritmo de visión por computador.

Bibliografía

Barberán, W. (s.f, s.f. s.f.). *¿QUÉ ES LA CIRUGÍA CIRUGÍA MÍNIMAMENTE INVASIVA?*

Retrieved from Cecimiv: <https://www.cecimiv.com/que-es-la-cirugia-cirugia-minimamente-invasiva>

acrilicosonline. (2015, Enero 21). *Información Técnica - Acrílicos Online*. Retrieved from <https://www.acrilicosonline.com.ar/acrilicos/planchas/informacion-tecnica/#:~:text=150%20%E2%80%93170%20%C2%BAC>.

bambu-mobile. (2022, Octubre 11). *Los mejores frameworks para desarrollo de apps 2022*.

Retrieved from bambu-mobile.com: <https://www.bambu-mobile.com/los-mejores-frameworks-para-desarrollo-de-apps-2022/>

blog.facialix. (2020, Septiembre 14). *Las mejores bibliotecas de código para crear interfaces gráficas en Python*. Retrieved from [blog.facialix.com: https://blog.facialix.com/las-mejores-bibliotecas-de-codigo-para-crear-interfaces-graficas-en-python/](https://blog.facialix.com/las-mejores-bibliotecas-de-codigo-para-crear-interfaces-graficas-en-python/)

cms. (s.f., s.f. s.f.). *Tabla t-Student*. Retrieved from cms.dm.uba.ar:

https://cms.dm.uba.ar/academico/materias/1ercuat2015/probabilidades_y_estadistica_C/tabla_tstudent.pdf

computerweekly. (2021). *MySQL*. Retrieved from [computerweekly.com](https://www.computerweekly.com):

<https://www.computerweekly.com/es/definicion/MySQL#:~:text=MySQL%20funciona%20pr%C3%A1cticamente%20en%20todas,y%20la%20publicaci%C3%B3n%20en%20I%C3%ADnea>.

EDS Robotics. (2022, Enero 31). *Visión por Computador, Qué es, Aplicaciones y Objetivos*.

Retrieved from EDS Robotics: <https://www.edsrobotics.com/blog/vision-computador-que-es/>

Esflutter. (2023). *Flutter - Crea hermosas aplicaciones nativas en tiempo récord*. Retrieved from

Esflutter.dev: <https://esflutter.dev/>

formlabs. (2023). *Guía de materiales de impresión 3D: Tipos, aplicaciones y propiedades*.

Retrieved from formlabs.com: <https://formlabs.com/latam/blog/materiales-impresion-3d/>

García, J., Arias, M., & Valencia, E. (2011). Diseño de prototipo de simulador para

entrenamiento en cirugía laparoscópica. *Revista Ingeniería Biomédica*, 5(9), 13-19.

geyimedicals. (2022). *Entrenador de Cirugía Laparoscópica*. Retrieved from geyimedicals.es:

<http://www.geyimedicals.es/endoscopic-equipment/laparoscopic-surgery-trainer.html>

Grupoelectrostore. (2019). *ADAPTADOR CARGADOR 110V/12V 1A PLUG DC005 – Grupo*

Electrostore. Retrieved from Grupoelectrostore.com:

<https://grupoelectrostore.com/shop/fuentes-cargadores-y-adaptadores-de-voltaje/cargadores-dc/adaptador-cargador-110v-12v-1a-plug-dc005/>

Guía del Cirujano. (2019, Julio 12). *Toda la información sobre los endotrainers laparoscópicos*.

Retrieved from Guía del Cirujano: <https://guiadelcirujano.com/endotrainer-laparoscopico/>

Haitronic. (2023). *HR0496 DC 6V - 28V 3A PWM Motor Speed Variable Regulator Controller*

Switch. Retrieved from Haitronic.cn:

https://www.haitronic.cn/index.php?route=product/product&product_id=929&search=pwm

- Higgins, L. (2021, Mayo 02). *Blog de Anestesiólogos Mexicanos en Internet, A. C.* Retrieved from <https://anestesiologia.blog/cirugia-laparoscopica-embarazada/jimdo-storage>. (2017, Mayo 16). *Ficha de datos técnicos TPU*. Retrieved from [jimdo-storage.global.ssl.fastly.net: https://jimdo-storage.global.ssl.fastly.net/file/4fd1cf10-5a87-4703-947e-96540a5aa56b/TDS%20TPU%2095A%20v3.010-spa-ES.pdf](https://jimdo-storage.global.ssl.fastly.net/file/4fd1cf10-5a87-4703-947e-96540a5aa56b/TDS%20TPU%2095A%20v3.010-spa-ES.pdf)
- kinsta. (2022, Febrero 8). *Lo Mejor en Software de Bases de Datos de Código Abierto: Las 10 Mejores Opciones*. Retrieved from [kinsta.com: https://kinsta.com/es/blog/bases-de-datos-de-codigo-abierto/#2-mariadb](https://kinsta.com/es/blog/bases-de-datos-de-codigo-abierto/#2-mariadb)
- LAPARO Medical Simulators. (2021). *Entrenador laparoscópico Aspire ver. Essential*. Retrieved from LAPARO Medical Simulators: <https://laparosimulators.com/es/produkt/laparoscopic-trainer-aspire-ver-essential/>
- Laparoscopia.MD. (s.f., s.f. s.f.). *¿QUÉ HERRAMIENTAS SE USAN EN CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA?* Retrieved from Laparoscopia.MD: <https://www.laparoscopic.md/es/cirugia/instrumentos>
- Latiff, A. (2005). La "Curva de Aprendizaje". Qué es y cómo se mide. *Revista Urología Colombiana*, 1(14), 15-17.
- Logotyp. (2021). *Get the latest PyQt logo from Logotyp.us*. Retrieved from Logotyp.us: <https://logotyp.us/logo/pyqt/>
- Manzano, H. (2013). El MDF como material escultórico: estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de fibras de densidad media. *Universidad de Granada*.
- matplotlib . (2015). *History — Matplotlib 3.6.3 documentation*. Retrieved from [matplotlib.org: https://matplotlib.org/stable/users/project/history.html](https://matplotlib.org/stable/users/project/history.html)

- Medical EXPO. (2015). *Simulador para cirugía mínimamente invasiva Surgical Science*. Retrieved from Medical EXPO: <https://www.medicalexpo.es/prod/surgical-science/product-79096-1027241.html>
- Menchaca, L., & Méndez, S. (2014). Utilidad del simulador para el desarrollo de habilidades y destrezas quirúrgicas en laparoscopia. *Rev Esp Méd Quir*, 222-228.
- Mery, D. (2004). *Visión por computador*. Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- Microsoft. (2022, Agosto 23). *Espacios de color RGB - Win32 apps*. Retrieved from Microsoft.com: <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/win32/wcs/rgb-color-spaces>
- Montoya, M. F., & Hernandez, C. (2019). *Caracterización mecánica a tensión de impresiones 3D de PLA y ABS modeladas por deposición fundida*. Retrieved from <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1703/Caracterizaci%C3%B3n%20mec%C3%A1nica%20a%20tensi%C3%B3n%20de%20impresiones%203D%20de%20PLA%20y%20ABS%20modeladas%20por%20deposici%C3%B3n%20fundida.pdf?sequence=2>
- Mott, R. (2009). Resistencia de materiales. *Pearson Educación*, 5.
- moviltronics. (2022, Julio 28). *Modulo 5 led 12V 1.5W*. Retrieved from [moviltronics.com: https://moviltronics.com/tienda/5led-12v/](https://moviltronics.com/tienda/5led-12v/)
- Nebot Montagud, S. (2016). Caracterización de poliamidas para el desarrollo de piezas mediante impresión 3D. *Universitat Politècnica de València*.
- Novatronicec. (2020). *Conectores para alimentación DC Macho / hembra de 2.1mm x 5.5mm – Novatronic*. Retrieved from [Novatronicec.com: https://www.novatronic.com/](https://www.novatronic.com/)

<https://novatronicec.com/index.php/product/conectores-para-alimentacion-dc-macho-hembra-de-2-1mm-x-5-5mm/>

nts-solutions. (2022, Diciembre 21). *¿Qué es Firebase? ¿Qué ventajas ofrece en 2023 a nuestras apps? - NTS SEIDOR*. Retrieved from nts-solutions.com: <https://www.nts-solutions.com/blog/firebase-que-es.html#:~:text=Firebase%20Realtime%20Database%20es%20una,la%20aplicaci%C3%B3n%20no%20tiene%20conexi%C3%B3n.>

numpy. (2015). *NumPy - About Us*. Retrieved from numpy.org: <https://numpy.org/about/>

OMES. (2019, Septiembre 14). *Detección de colores en OpenCV*. Retrieved from omes-va.com: <https://omes-va.com/deteccion-de-colores/>

OpenCV. (2020, Noviembre 4). *About - OpenCV*. Retrieved from OpenCV: <https://opencv.org/about/>

OpenWebinars. (2020, Agosto 8). *Tipos de lenguajes de programación*. Retrieved from openWebinars.net: <https://openwebinars.net/blog/tipos-de-lenguajes-de-programacion/>

PÉREZ, M. (2016, Octubre 14). *Firestore, qué es y para qué sirve la plataforma de Google*. Retrieved from iebsschool.com: <https://www.iebschool.com/blog/firebase-que-es-para-que-sirve-la-plataforma-desarrolladores-google-seo-sem/>

Pietricica, B., Montoya, R., Campillo, A., Cano, M., Hidalgo, G., & García, J. (2012). Entrenamiento laparoscópico de bajo costo: tiempo de entrenamiento necesario para adquirir habilidades laparoscópicas básicas similares a las de un experto. *Cirugía y Cirujanos*, 80(3), 253-260.

- Python. (2023). *History and License*. Retrieved from Python:
<https://docs.python.org/3/license.html>
- pythonguis. (2023, Enero 2). *PyQt5 Tutorial 2023, Create Python GUIs with Qt*. Retrieved from
pythonguis.com: <https://www.pythonguis.com/pyqt5-tutorial/>
- Rueda, M. (2018, Enero 1). *Cirugía Laparoscópica*. Retrieved from Oncologo Quito - Dr. Miguel
Rueda: <https://drmiguelrueda.com/cirugia-laparoscopica/>
- SalusPlay*. (2021). Retrieved from <https://www.salusplay.com/apuntes/quiروفano-y-anestesia/tema-2-cirugia-por-laparoscopia>
- shopdelta. (2002, Julio 25). *Valor de AWG - Delta*. Retrieved from shopdelta.eu:
https://shopdelta.eu/valor-de-awg_l6_aid938.html
- tokioschool. (2022, Marzo). *El framework para el desarrollo de aplicaciones móviles*. Retrieved
from tokioschool.com: <https://www.tokioschool.com/noticias/framework-desarrollo-aplicaciones-moviles/>
- Torres, F. (2020). Herramientas de simulación médica, innovación al servicio de la pedagogía
en salud. *MEDPASS Magazine*, 9-10.
- Ulrich, K. &. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: McGraw Hill.
- Vegas, L., Sanchez, A., Rodríguez, O., & Sánchez, R. (2013). Sutura y anudado laparoscópico
asistido por robot: estudio comparativo de la curva de aprendizaje. *Vitae*, 56.
- Vela, J., Contreras, C., Jarry, C., Varas, J., & Corvetto, M. (2020). Recomendaciones generales
para elaborar un programa de entrenamiento basado en simulación para desarrollar
competencias en pregrado y postgrado. *Revista Latinoamericana de Simulación Clínica*,
26-38.

Vélez, J. (2023, Febrero 10). *Lenguajes para Visión Artificial*. Retrieved from

visionporcomputadora.blogspot.com:

<http://visionporcomputadora.blogspot.com/2011/04/lenguajes-para-vision-artificial.html>

Vex Robotics. (2017). *Vex Robotics Motor Data - 775pro (217-4347)*. California: Innovation

FIRST International. Recuperado el 23 de Enero de 2019, de

<https://motors.vex.com/vexpro-motors/775pro>

Anexos