



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



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

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

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 Artíl Robotics.

Autor: Tercero Chisaguano, Juan Daniel

Directora: Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Latacunga, 2023



CONTENIDO

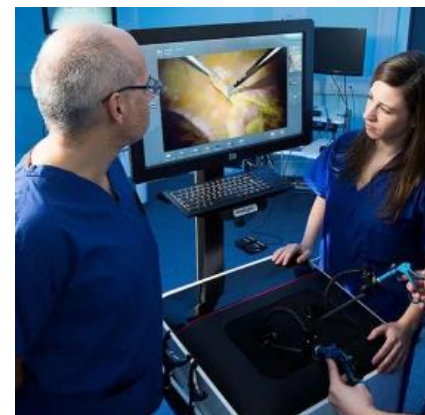
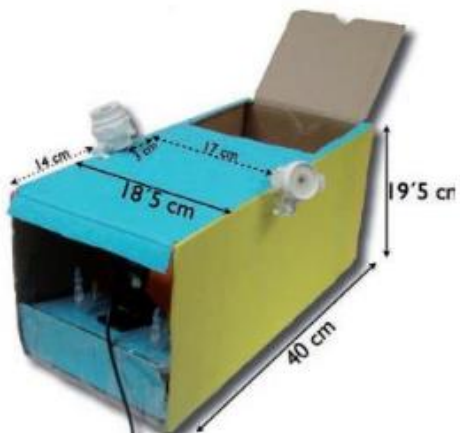
1. Introducción
2. Necesidades del usuario - Métricas
3. Selección de componentes
4. Diseño mecánico
5. Construcción
6. Programación
7. Pruebas y Resultados
8. Conclusiones y recomendaciones

Introducción

Cirugía Laparoscópica

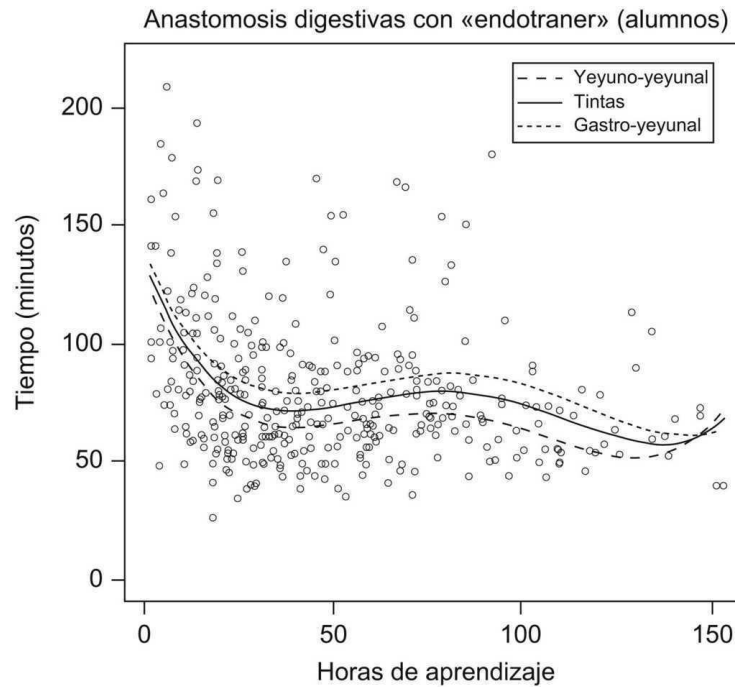


Entrenadores Laparoscópicos



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.



Cir Esp. 2010;87:20-5

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 Específicos:

- 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

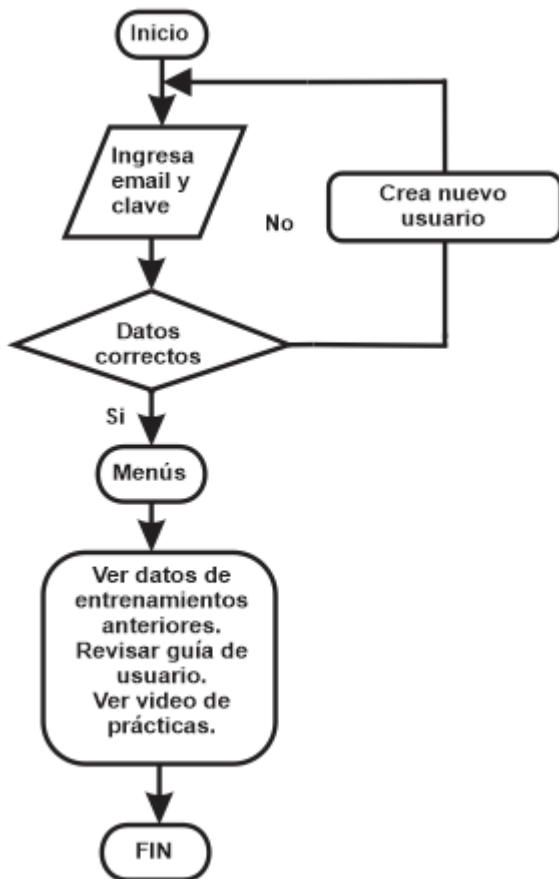
El diseño e implementación de un entrenador para cirugía laparoscópica mediante visión por computador favorecerá el desarrollo de las habilidades motrices en estudiantes de medicina en la empresa Artil Robotics.

Necesidades del usuario

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

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




LOGO

EMAIL

PASSWORD

Registrarse Iniciar sesión

Olvido su clave



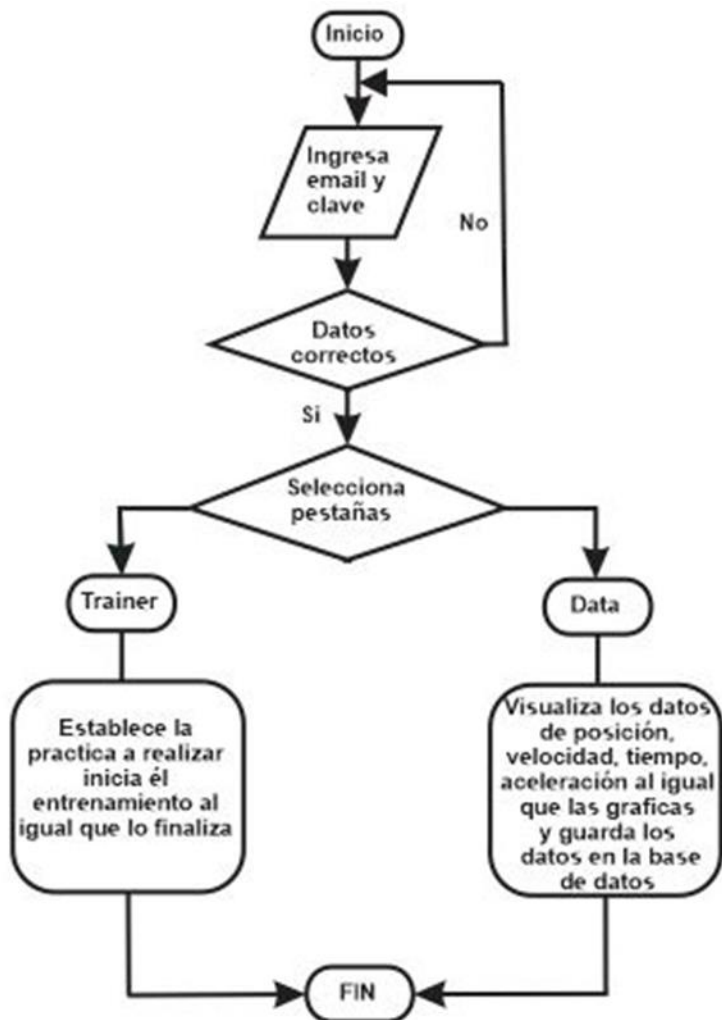
LOGO

Entrenamientos

Configuración

Salir

Subsistema aplicación de escritorio



LOGO

Trainer
Data

VIDEO

Select Practice
Star Training
Finish Training
Go Data
Exit

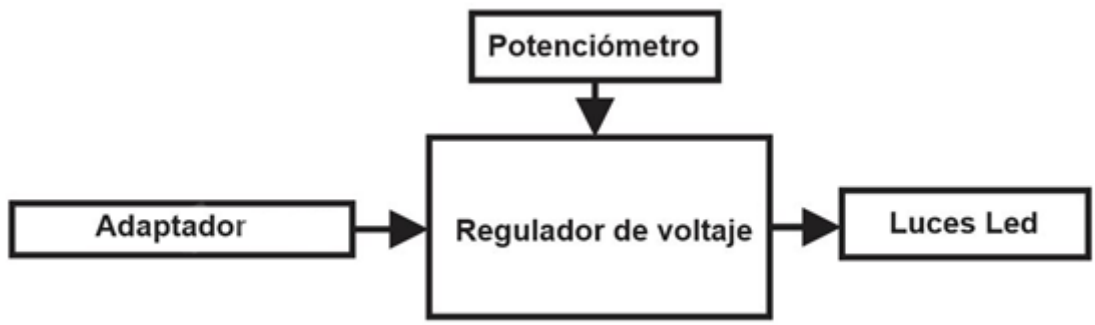
Trainer
Data

Result

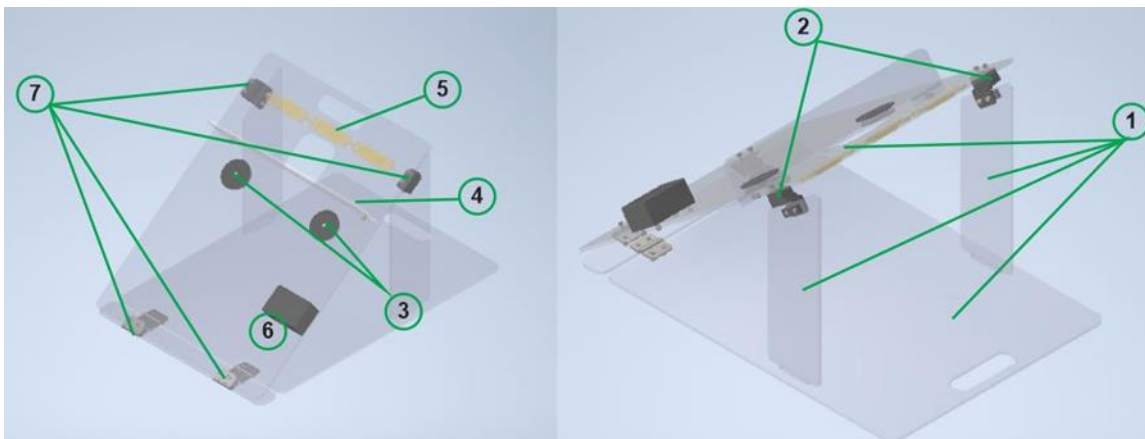
DISTANCE
TIME
SPEED
ACCELERATION
NUMBER OF TIMES OUTSIDE
TIME OUT

Save
Go to the trainer
Graphics
Exit

Subsistema Electrónico



Subsistema Mecánico



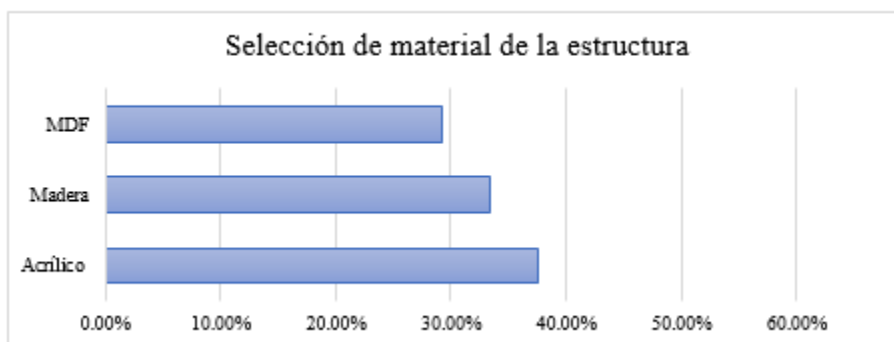
Elemento y numeración propuesta subsistema mecánico

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

Selección material de 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.

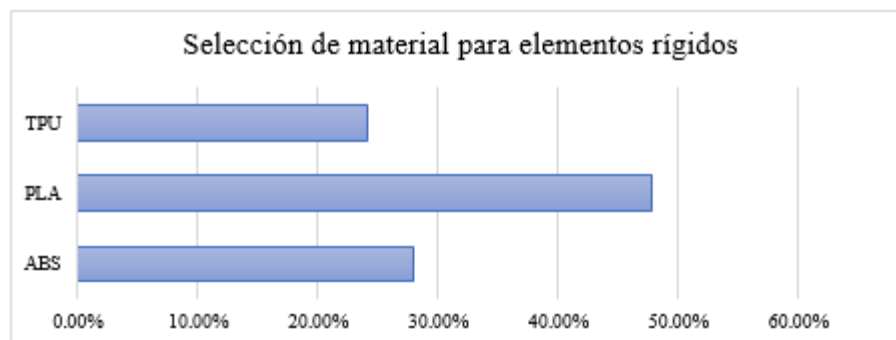
Alternativa	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Peso	Acabado superficial
Acrílico	3	3	1	3
Madera	2	1	3	1
MDF	1	2	2	2
Σ	6	6	6	6



Selección material impresión 3D para elementos rígidos

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 Impresión 3D FDM
Manufactura	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]

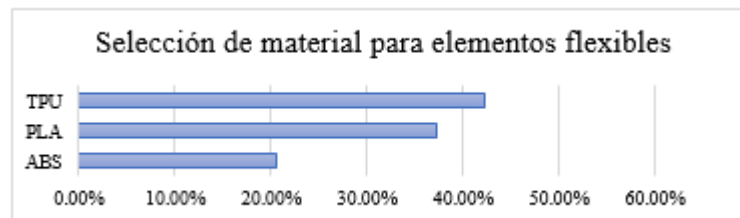
Alternativa	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Propiedades físicas	Aplicaciones
ABS	2	1	2	1
PLA	3	2	3	3
TPU	1	3	1	2
Σ	6	6	6	6



Selección material impresión 3D para elementos flexibles

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 Impresión 3D FDM
Manufactura	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]

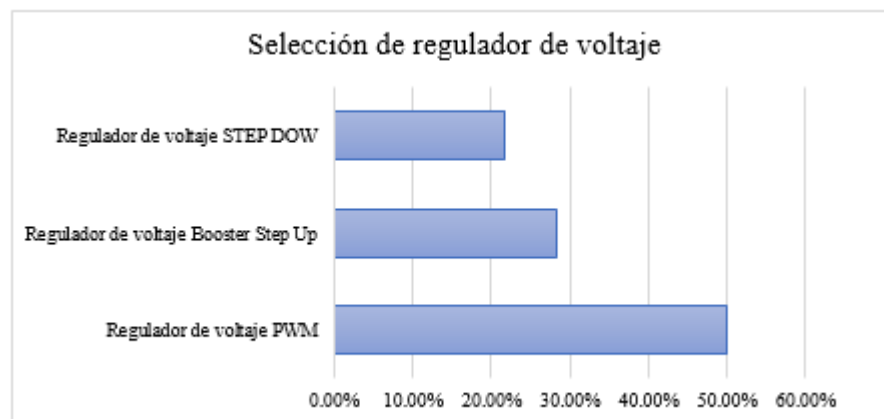
Alternativa	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Propiedades físicas	Aplicaciones
ABS	2	1	1	1
PLA	3	2	2	2
TPU	1	3	3	3
Σ	6	6	6	6



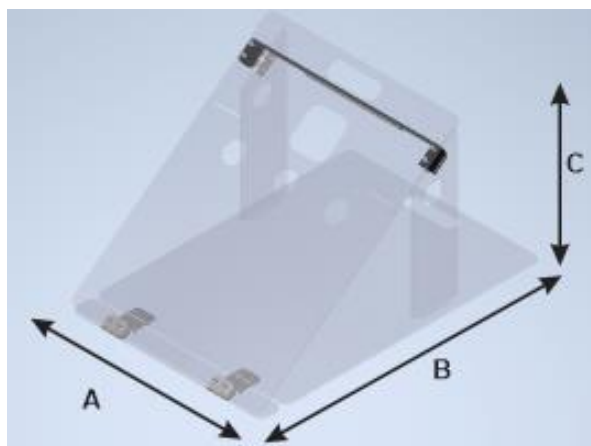
Selección de Componentes Electrónicos

Selección 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



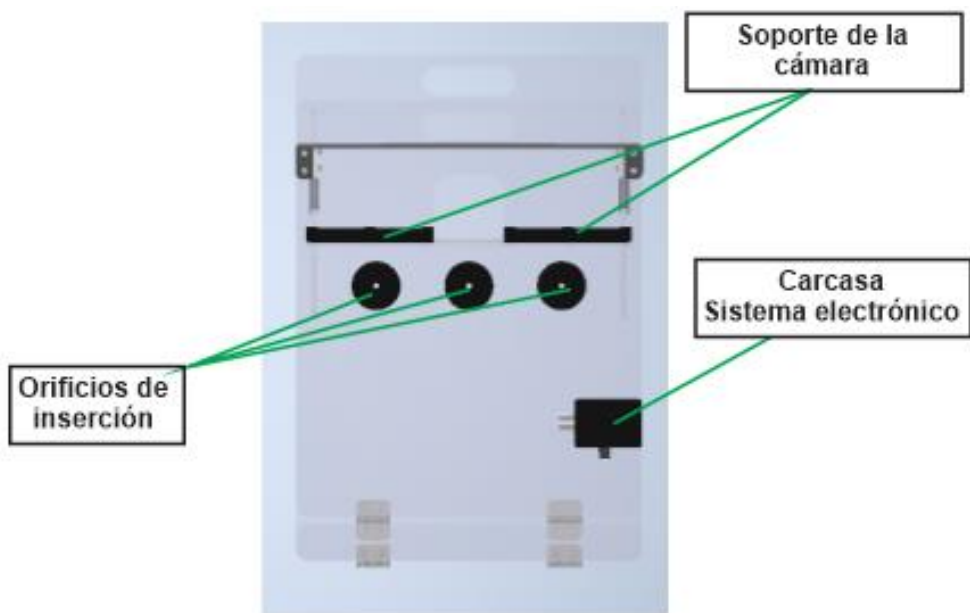
Diseño Mecánico



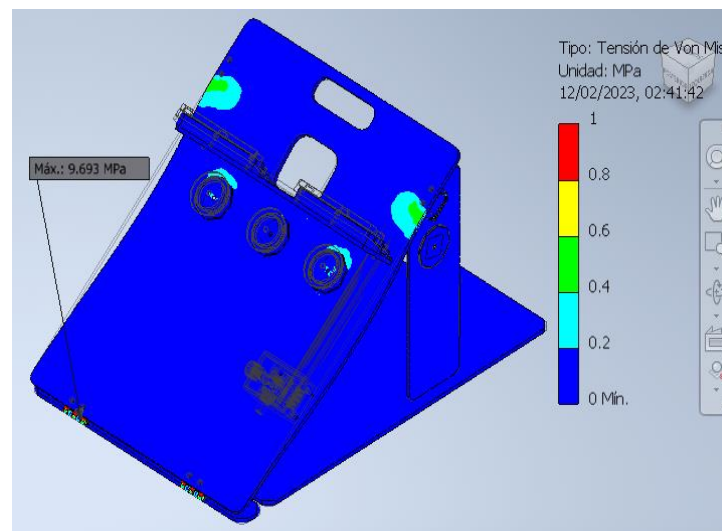
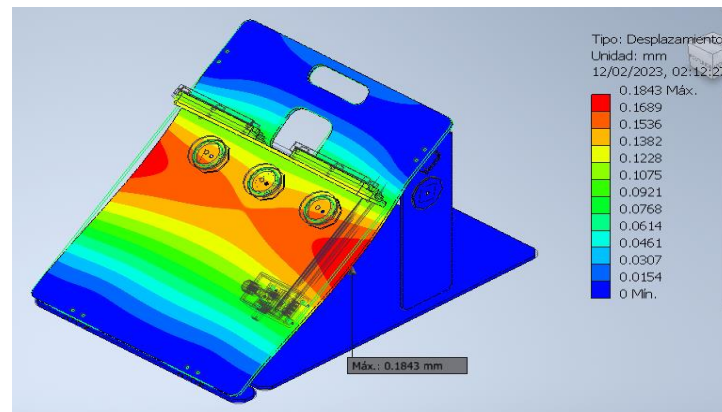
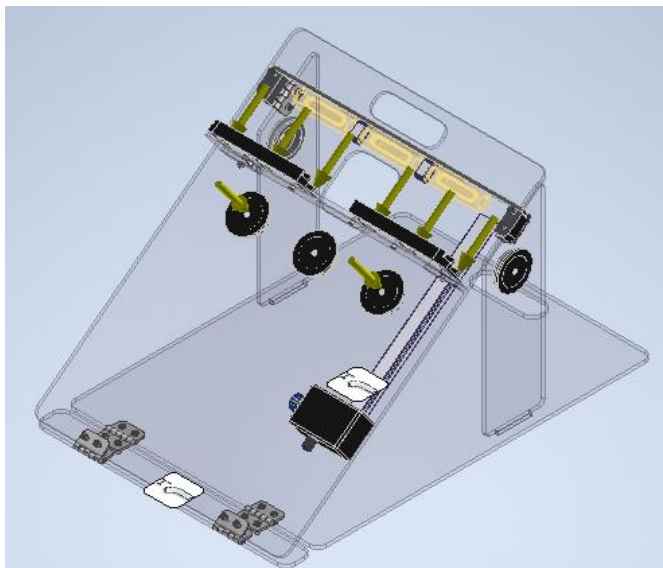
	Medida	Símbolo
Ancho	300 [mm]	A
Largo	436 [mm]	B
Altura	250 [mm]	C

Diseño Mecánico

Estructura incluyendo sus subsistemas

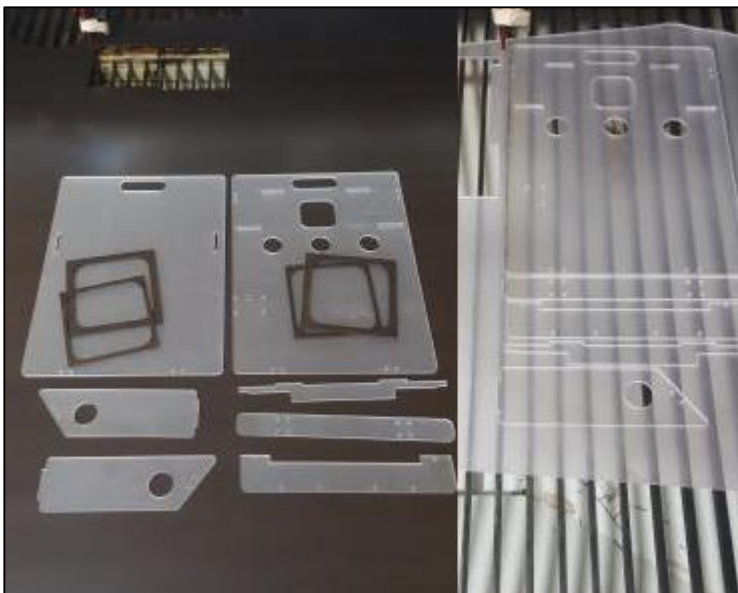


Análisis de CAE



Construcción

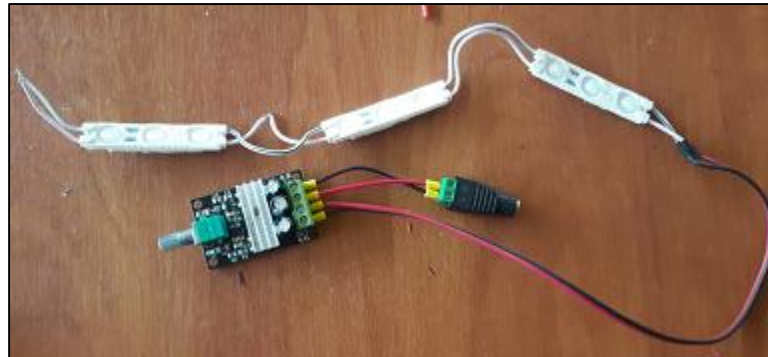
Corte láser



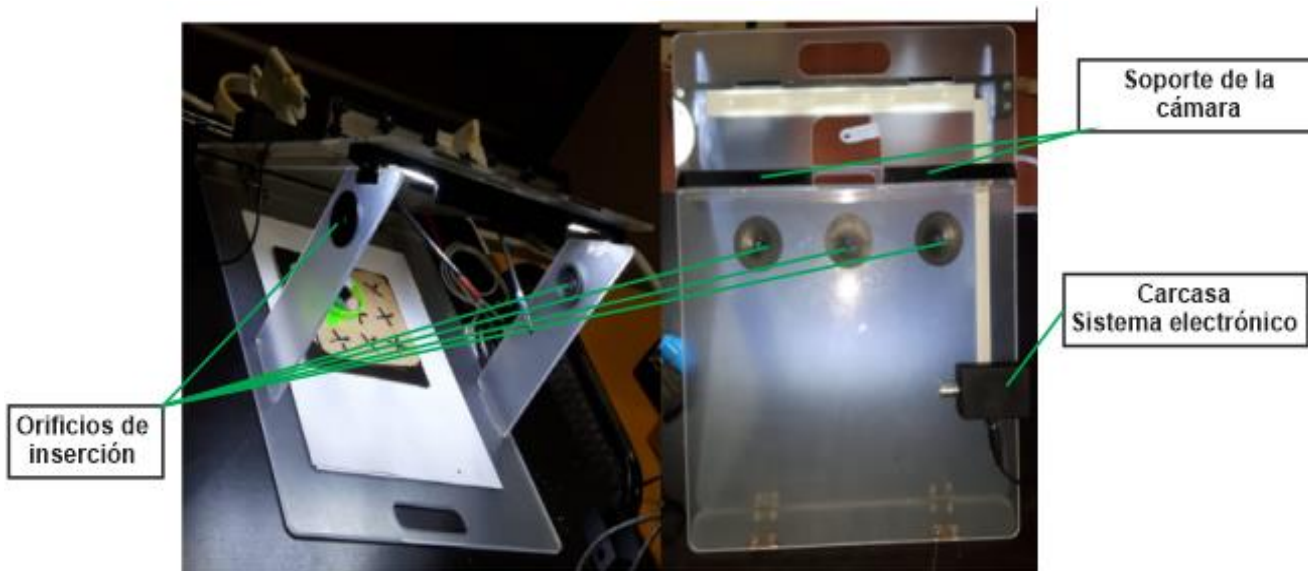
Impresión 3D



Sistema electrónico

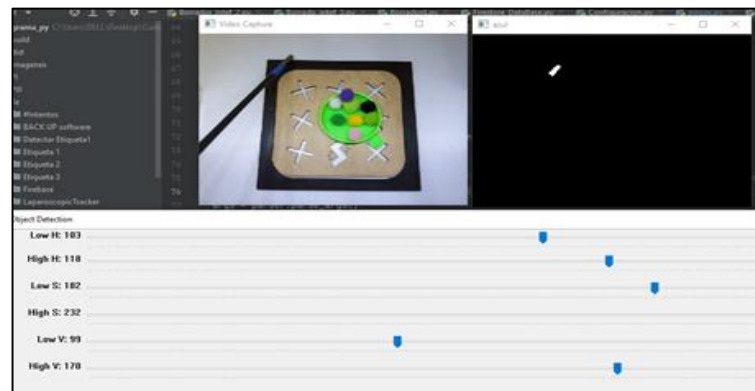
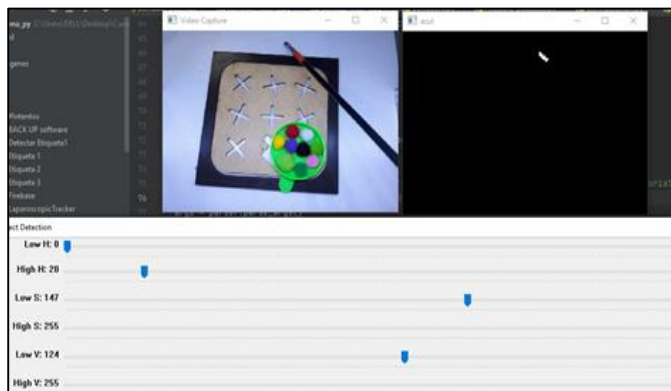


Construcción



Desarrollo del algoritmo de visión por computadora

Detección de los instrumentos laparoscópicos



Detección del área de trabajo



Desarrollo del algoritmo de visión por computadora

Transformación de perspectiva



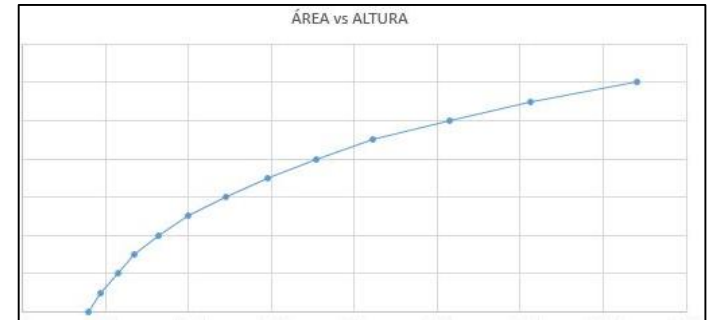
Desarrollo del algoritmo de visión por computadora

Cálculo de la altura

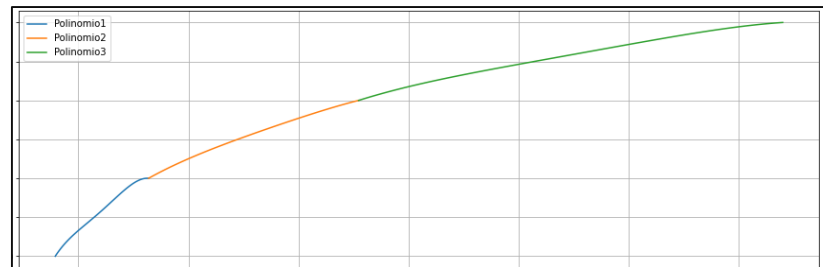
Medición de la altura



área de la cinta vs altura eje z

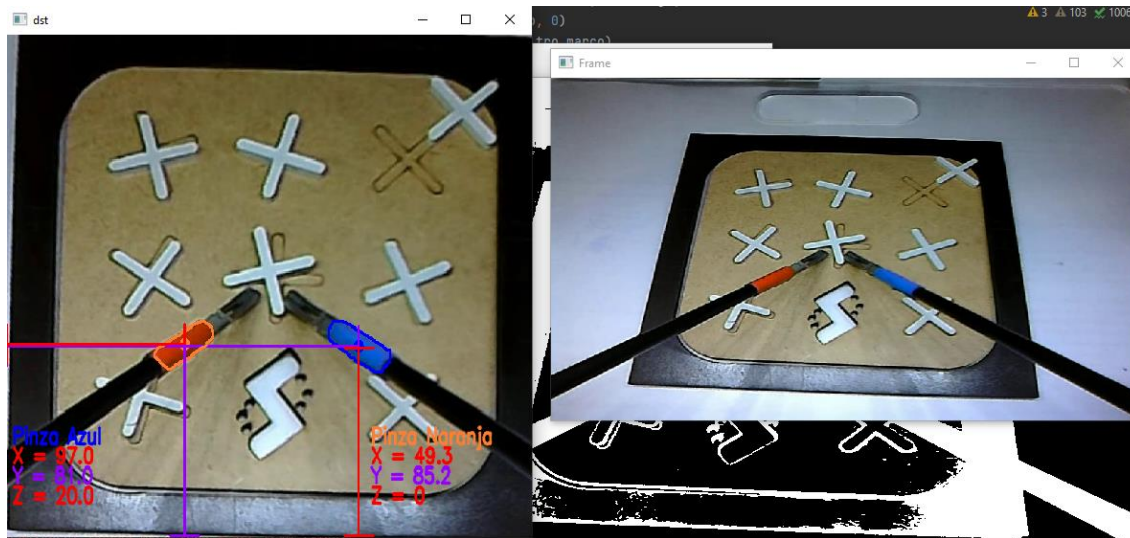


Gráfica de los polinomios calculados



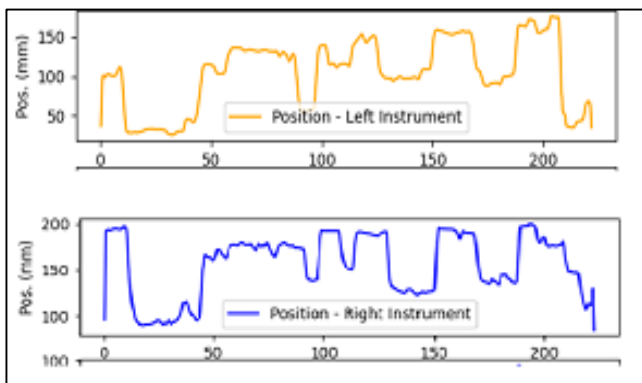
Desarrollo del algoritmo de visión por computadora

Tracking instrumentos laparoscópicos

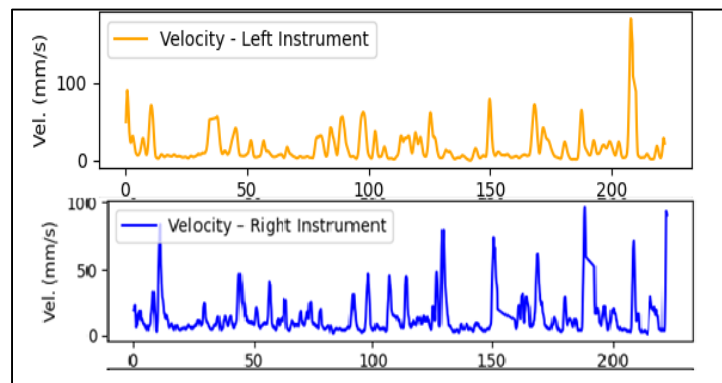


Desarrollo del algoritmo de visión por computadora

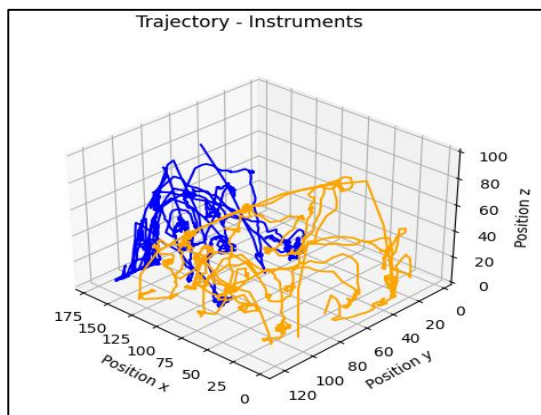
Posición de los instrumentos



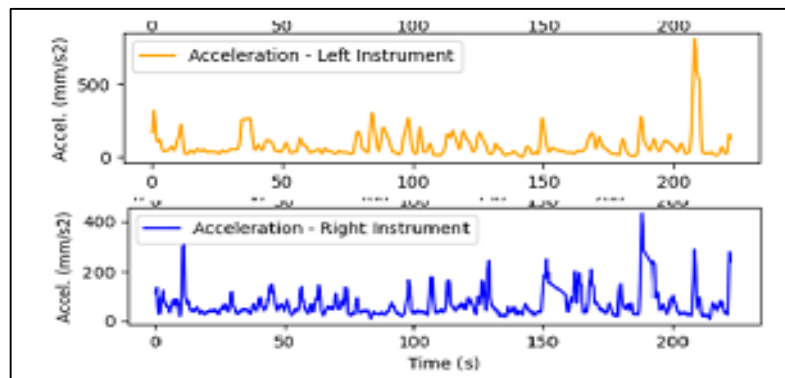
Velocidad de los instrumentos



Trayectoria 3D instrumentos

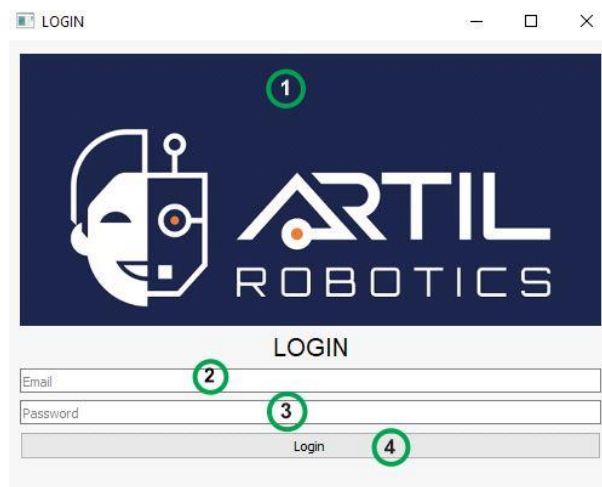


Aceleración de los instrumentos



Desarrollo de la aplicación escritorio

Ventana uno inicio de sesión



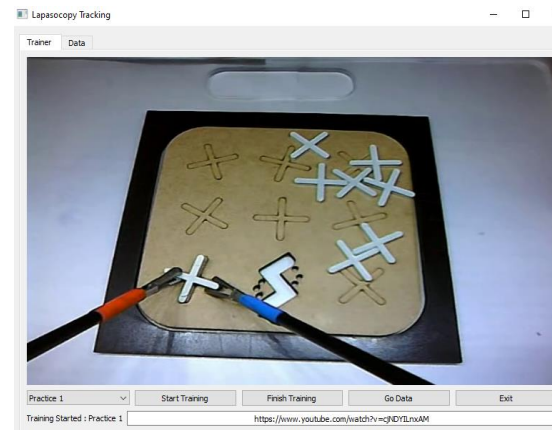
Número de globo	Elemento	Función
1	Logo	Indica el nombre de la empresa y su logotipo
2	Caja de texto Email	Caja de texto para introducir el correo electrónico
3	Caja de texto Password	Caja de texto para introducir la contraseña
4	Botón Login	Botón para ingresar los datos

Desarrollo de la aplicación escritorio

Ventana dos pestaña "Trainer"



Número de globo	Elemento	Función
1	Pestaña <u>Trainer</u>	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 <u>Start Training</u>	Inicia la transmisión de video
5	Botón <u>Finish Training</u>	Finaliza la transmisión de video
6	Botón <u>Go Data</u>	Nos envía a la pestaña <u>Go Data</u>
7	Botón <u>Exit</u>	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 una link del video de entrenamiento según la practica seleccionada de la lista desplegable



Desarrollo de la aplicación escritorio

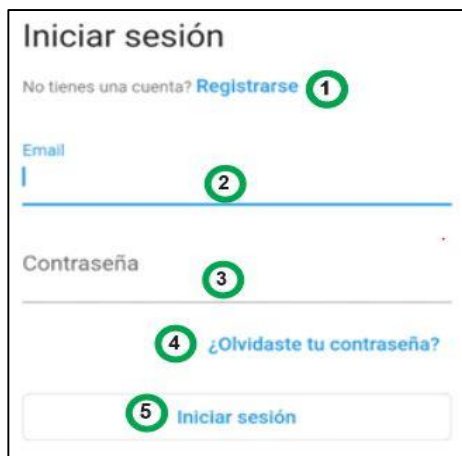
Ventana dos pestaña "Data"



Número de globo	Elemento	Función
1	Pestaña Data	Indica la pestaña en la que se encuentra el usuario
2	Botón Results	Refresca 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 <u>Trainer</u>
7	Botón Exit	Cierra de la ventana
8	Botón Graphis	Nos indica las gráficas de posición, velocidad, aceleración y trayectoria 3D de los instrumentos

Desarrollo aplicación móvil

Ventana uno



Iniciar sesión

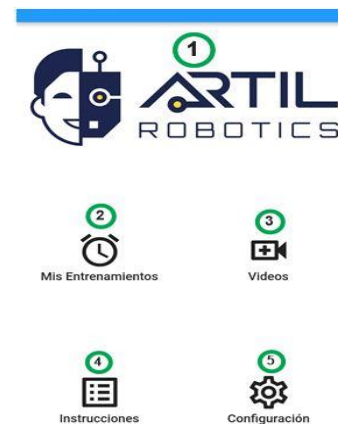
No tienes una cuenta? [Registrarse](#) ①

Email
| ②

Contraseña ③

④ ¿Olvidaste tu contraseña?

⑤ Iniciar sesión



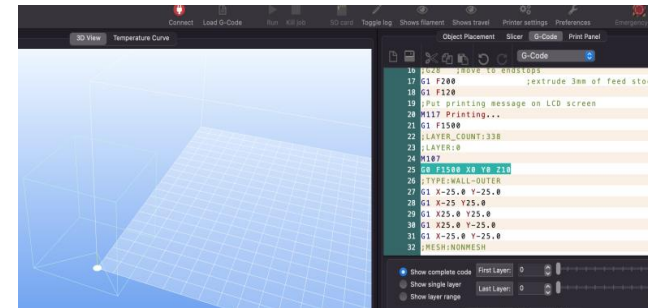
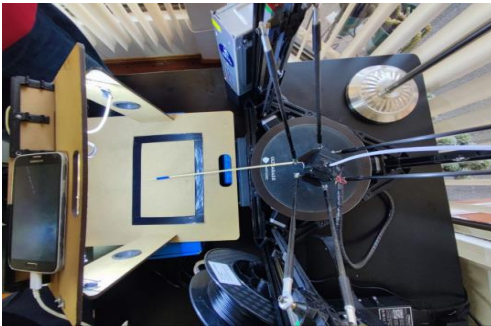
Número de globo	Elemento	Función
1	Botón Registrarse	Crea un nuevo usuario
2	Caja de texto Email	Caja de texto para introducir el correo electrónico
3	Caja de texto Contraseña	Caja de texto para introducir la contraseña
4	Botón ¿Olvidaste tu Contraseña?	Permite restablecer la contraseña
5	Botón Login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

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 la aplicación
5	Botón Configuración	Nos permite salir de la aplicación

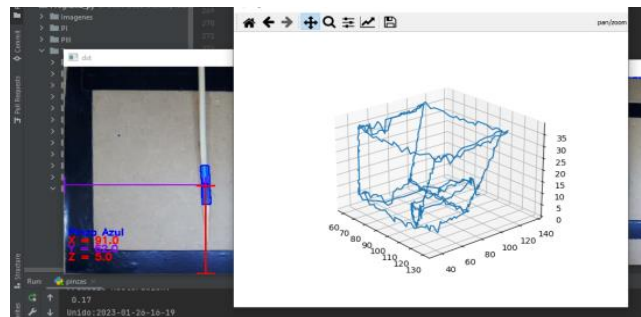
Pruebas medición del algoritmo de visión por computadora

Prueba en impresora 3D tipo delta

Código G para trayectoria de un cubo

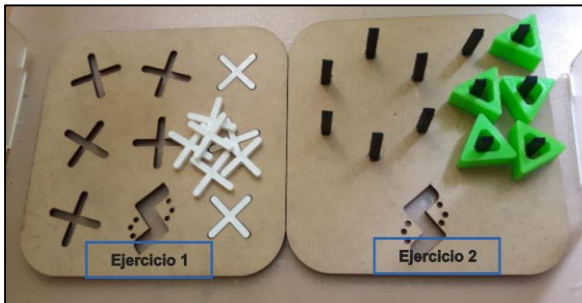


Trayectoria obtenida por visión por computador



Pruebas y resultados entrenador laparoscópico

Ejercicios



Escala GOALS

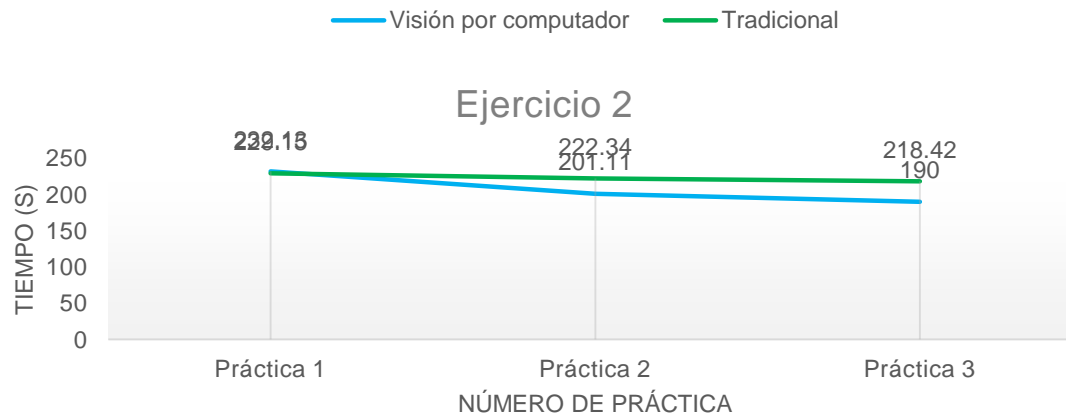
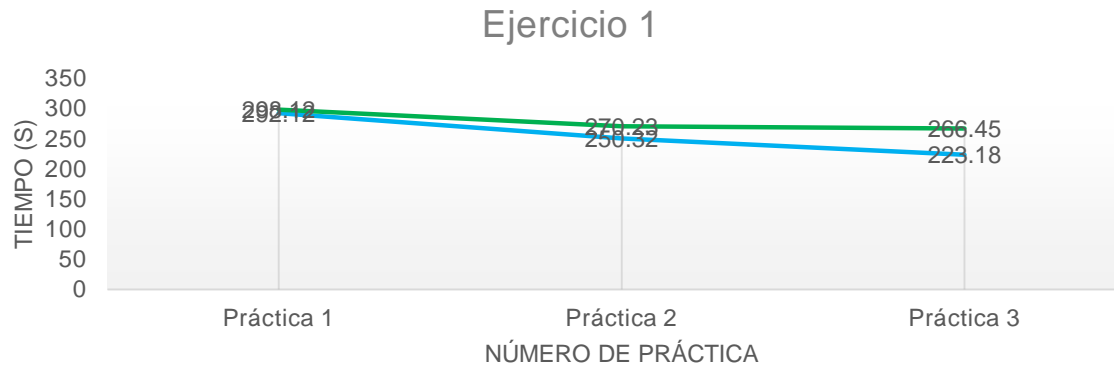
Puntuación	Percepción de profundidad	Destreza <u>bi</u> -manual
1	Constantemente sobrepasa el objetivo , movimientos amplios, corrige lentamente	Usa una sola mano, ignora la mano no dominante, pobre coordinación entre ambas
3	Algunas fallas en la toma de objetivos, pero corrige rápidamente	Usa ambas 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

	Parte 1			Parte 2		
Destreza <u>bi</u> -manual (Puntuación)	1	3	5	1	3	5
Ejercicio 1	1	4	0	0	2	3
Ejercicio 2	3	1	0	1	3	1

	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

Pruebas y resultados entrenador laparoscópico

Curva de aprendizaje



Validación de Hipótesis

Para comprobar esta hipótesis, se llevó a cabo una validación utilizando el método T-Student con el parámetro de tiempo

(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.

Validación de 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.

(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.

Validación de Hipótesis

Método T-Student

$$T = \frac{\overline{X_D}}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}}$$

El valor de t_α se obtiene de la tablas, para lo que se utiliza un grado de libertad de 5 y un nivel de significancia de 5%, obtenido es $t_\alpha=2.015$

Donde:

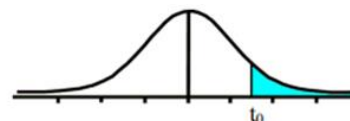
T = valor T-Student calculado

$\overline{X_D}$ = media de la diferencia de las muestras

S_D = desviación estándar de la diferencia de las muestras

n = número de muestras

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

Validación de Hipótesis

Método T-Student

$$T > t_{\alpha}$$

$$T = 2.57$$

$$2.57 > 2.015$$

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**”.

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 determinó 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 le llamo la atención 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.

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 de 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 la variaciones bruscas de brillo afectan al algoritmo de visión por computador.

GRACIAS!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA