



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SIMULADOR VIRTUAL DE LAPAROSCOPIA PARA EL ENTRENAMIENTO DE HABILIDADES DE MÉDICOS CIRUJANOS”

### **Autores:**

Perez Ortiz, Kevin Aldo  
Morales Antamba, Klever David

### **Director:**

Ing. Rea Minango, Nathaly Sylvia



# RESUMEN

El presente proyecto es un sistema mecatrónico formado por un equipo avanzado de adquisición de datos y un entorno virtual, los cuales en conjunto permiten simular los movimientos básicos para la ejecución de una cirugía laparoscópica.



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA



Actualización de sistema educativo

Aprendizaje en un entorno seguro y controlado

Retroalimentación constante

Costo y disponibilidad local



# OBJETIVOS

## Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de simulador virtual de laparoscopia mediante la adquisición digital de la posición y orientación de los instrumentos quirúrgicos, y su interacción en un entorno virtual para el entrenamiento de habilidades de médicos cirujanos

## Objetivos Específicos

### Investigar

- Requerimiento funcionales
- Parámetros de emulación

### Diseñar

- Sistema de adquisición
- Entorno Virtual

### Construir

- Sistema Físico

### Integrar

- Sistema físico y entorno virtual

### Analizar

- Resultados



# MARCO TEÓRICO



Cirugía  
Laparoscópica



Simulador  
Médico de alta  
tecnología

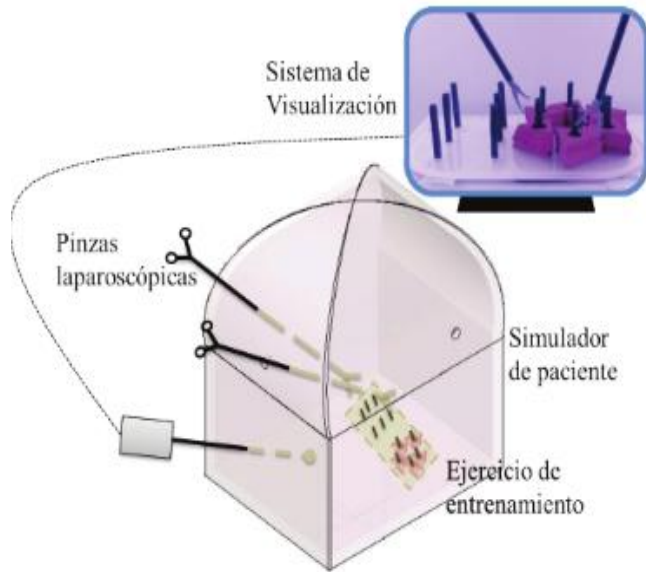


Realidad Virtual

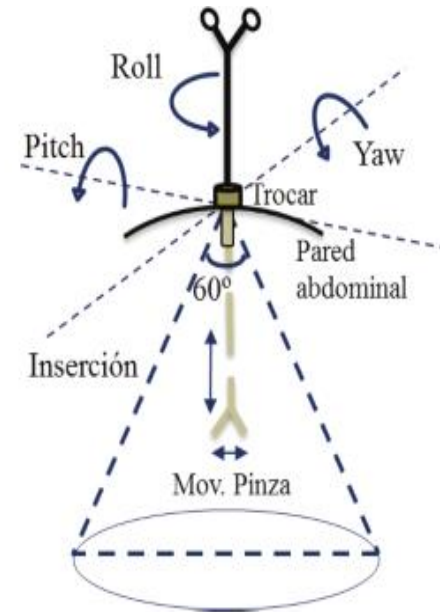


# MARCO TEÓRICO

## Arquitectura de un simulador de laparoscopia



## Movimientos ejecutados en una cirugía



## Requerimientos de diseño



## Proceso de diseño

Diseño a  
detalle

- Solucionar los requerimientos de diseño

CAD

- Sistema mecánico y electrónico

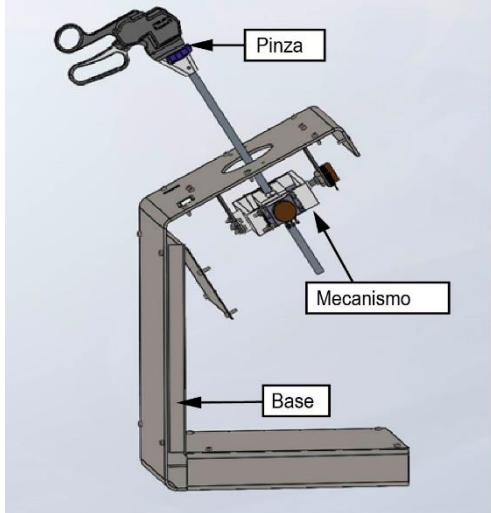
CAE

- Sistema mecánico

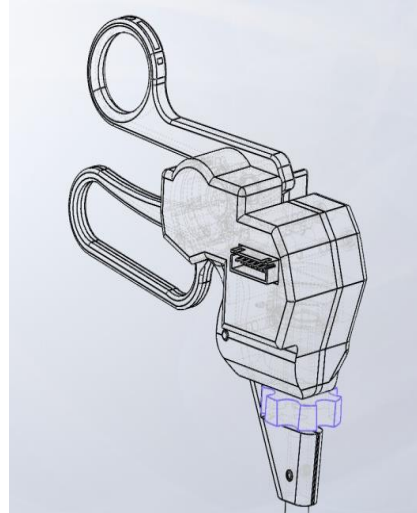




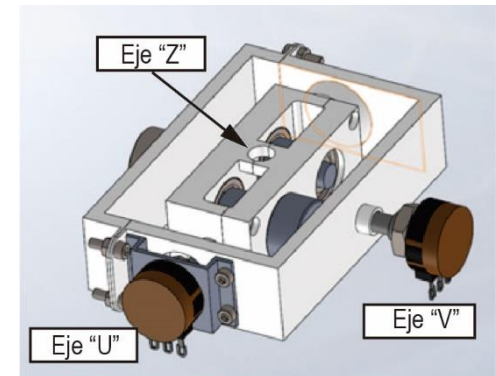
## Diseño mecánico



Diseño general

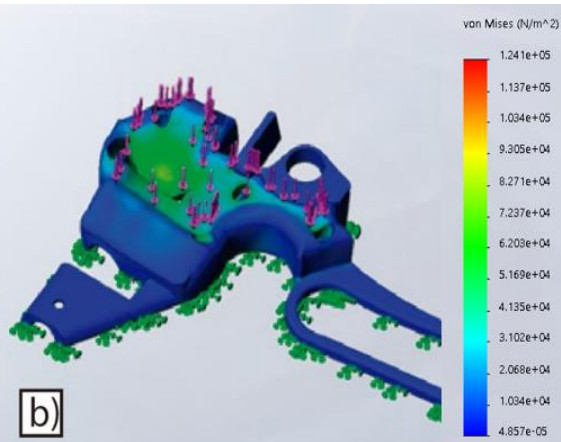
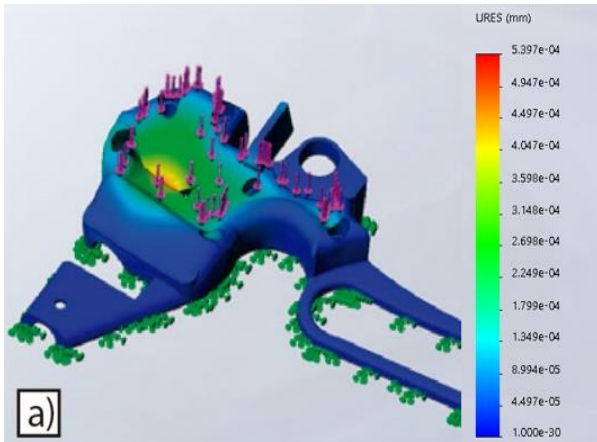


Pinza



Sistema de adquisición

## Diseño mecánico

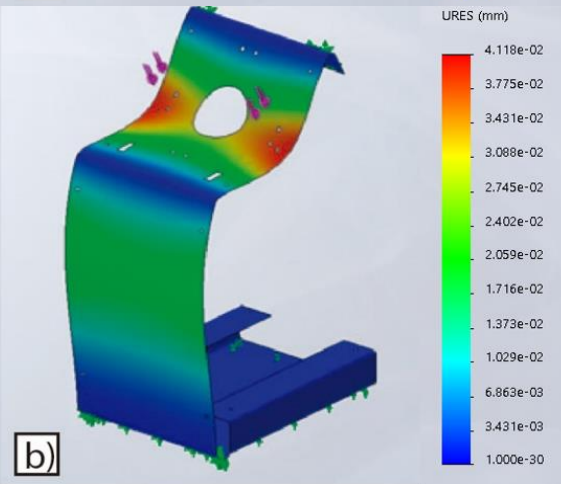
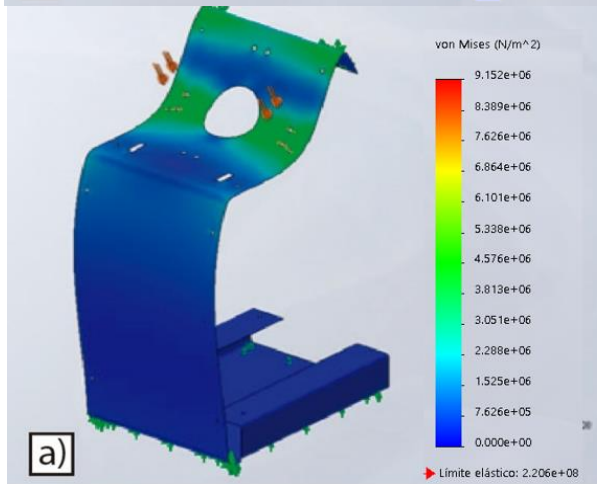


**N=409**

**Resultados**

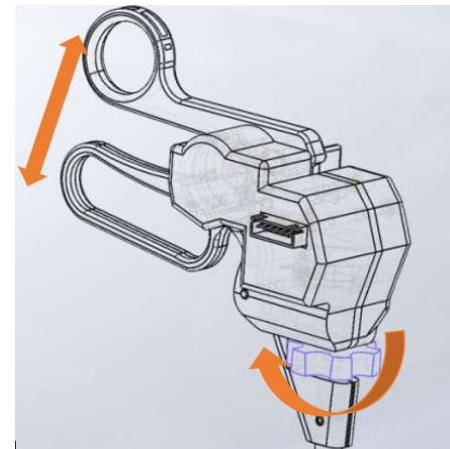
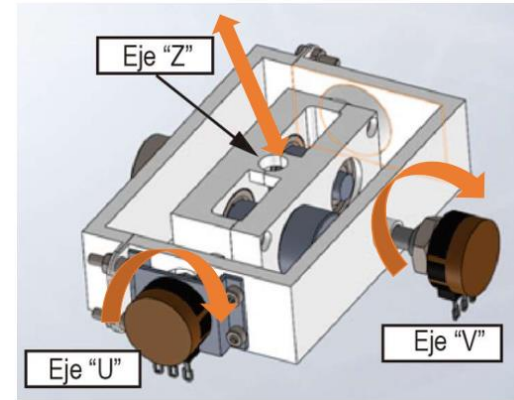
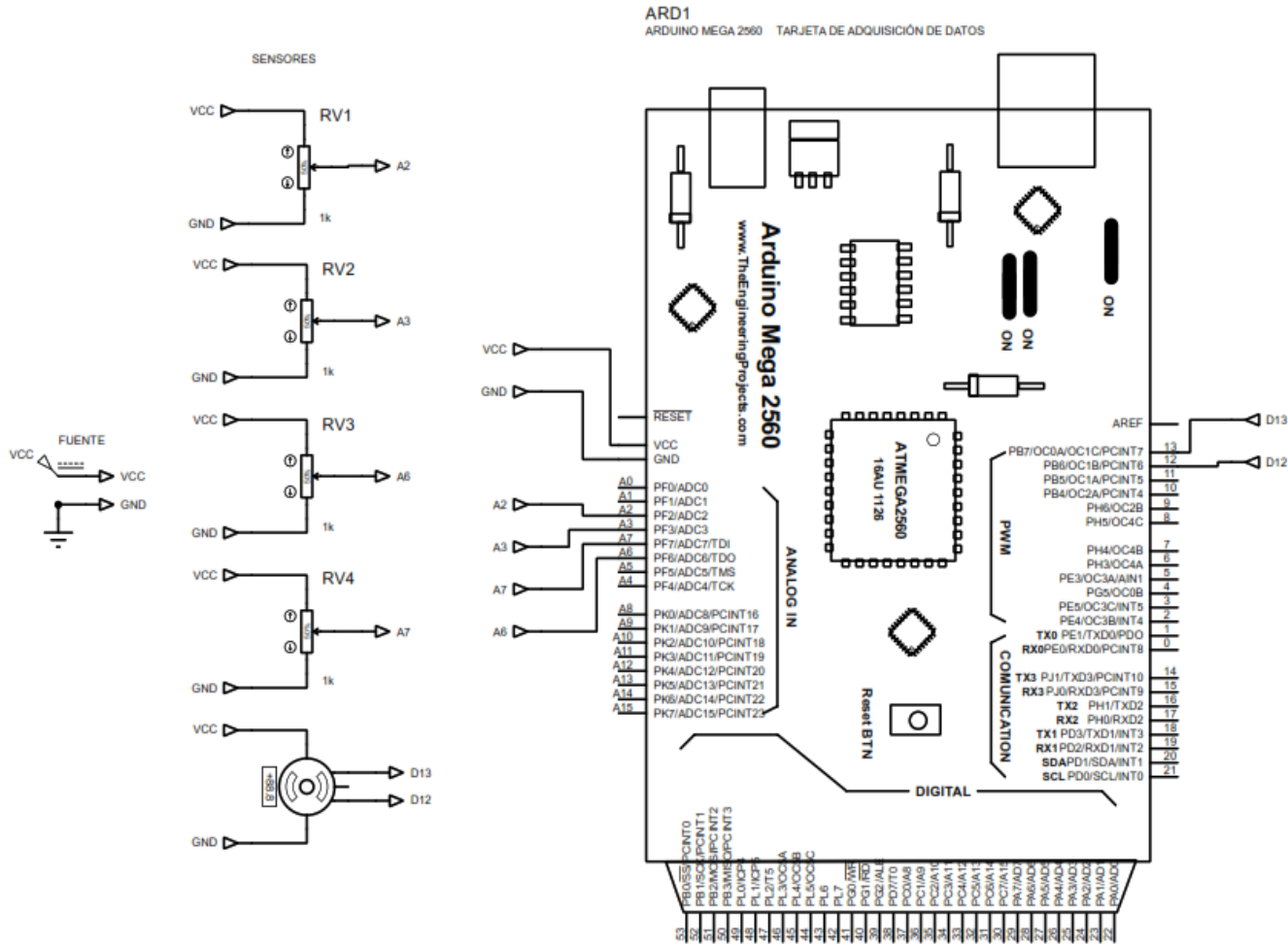
**Factor de  
diseño**

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

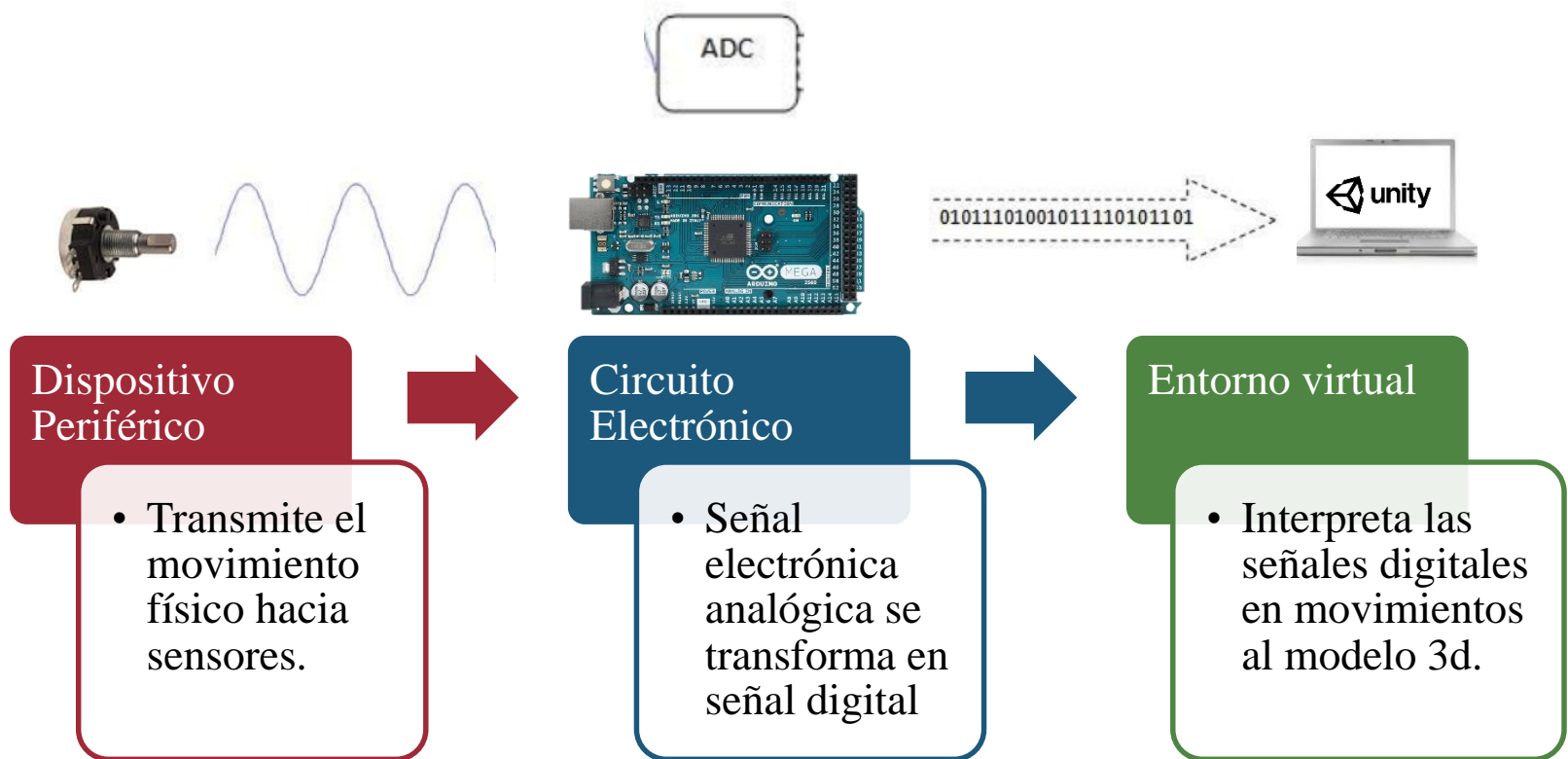


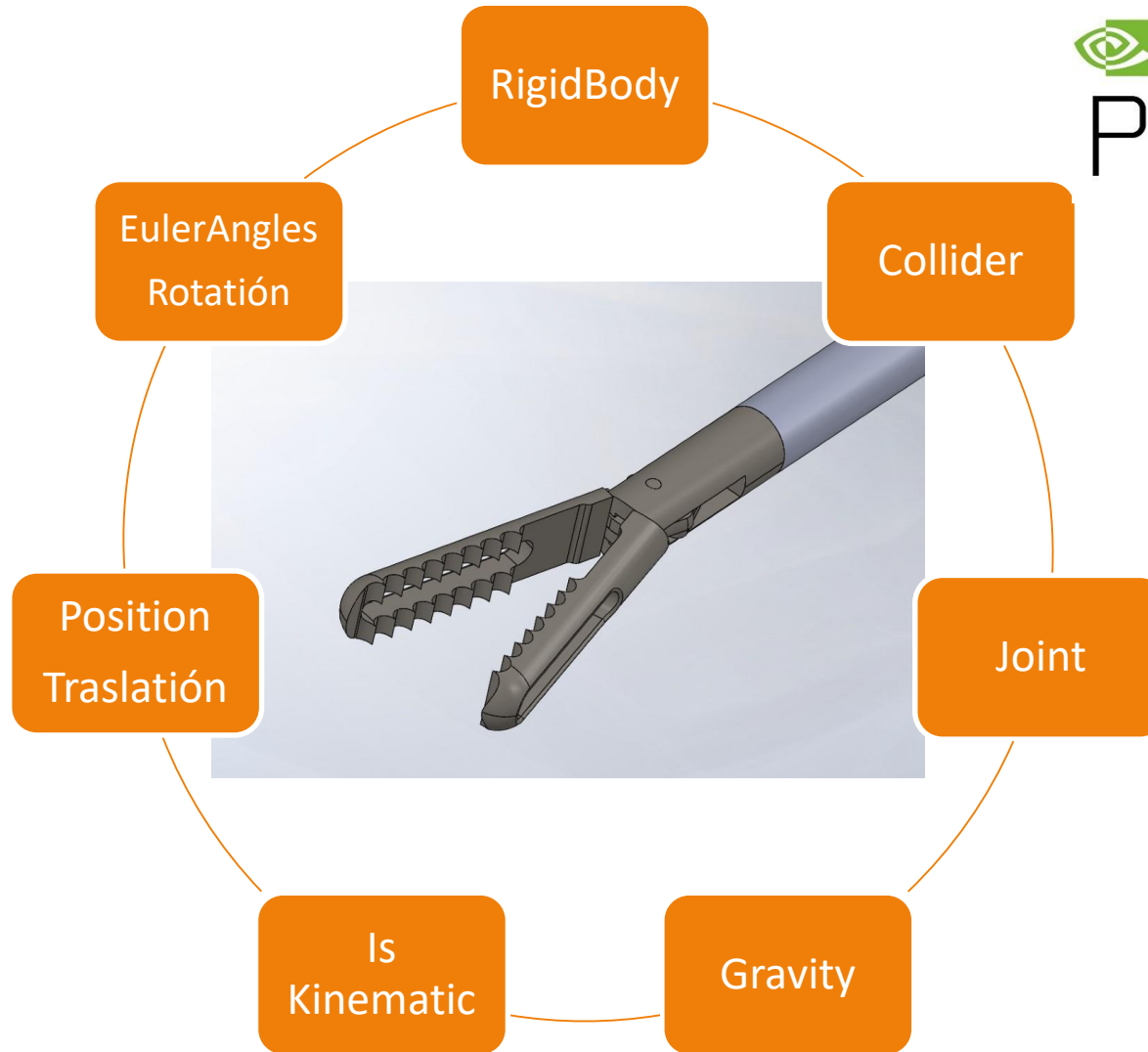
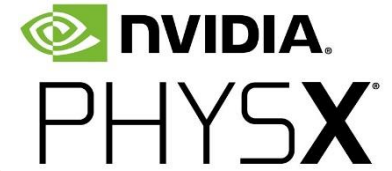
**N=24**

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

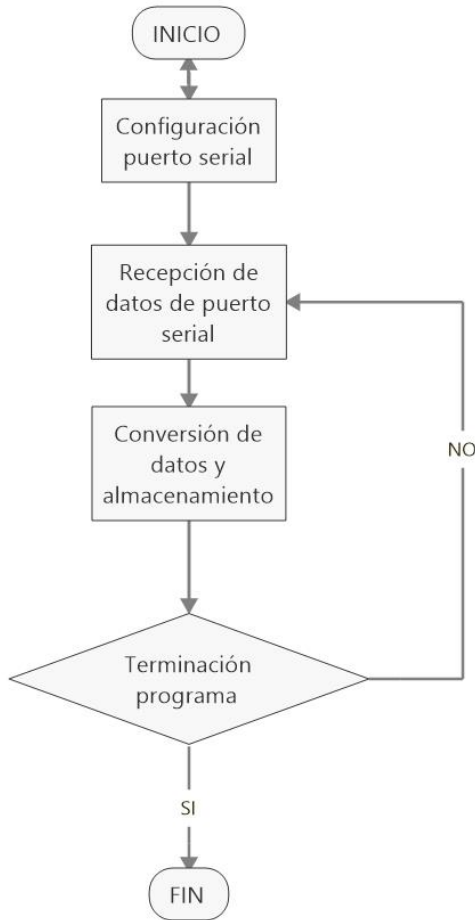


## Flujo de datos

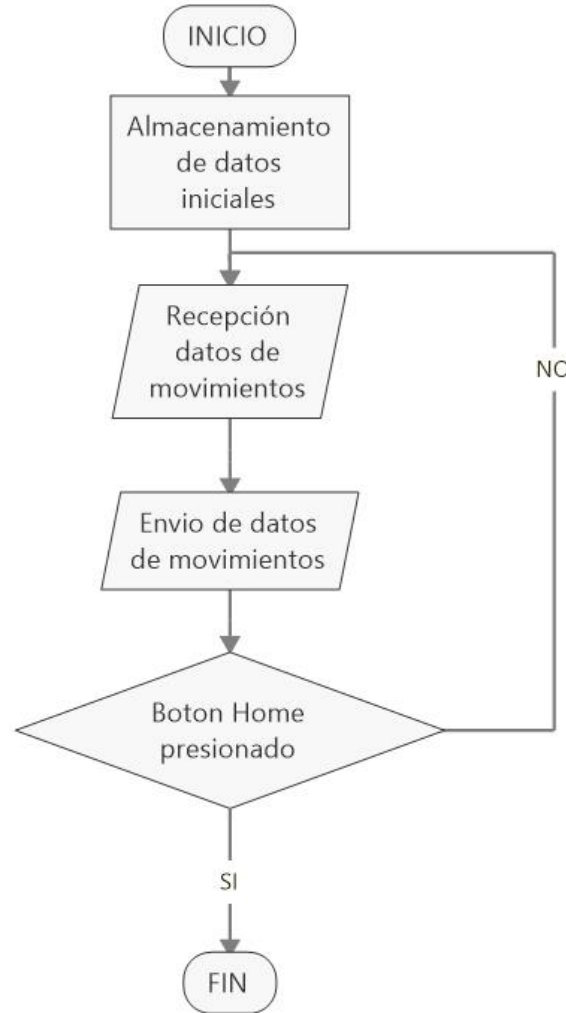




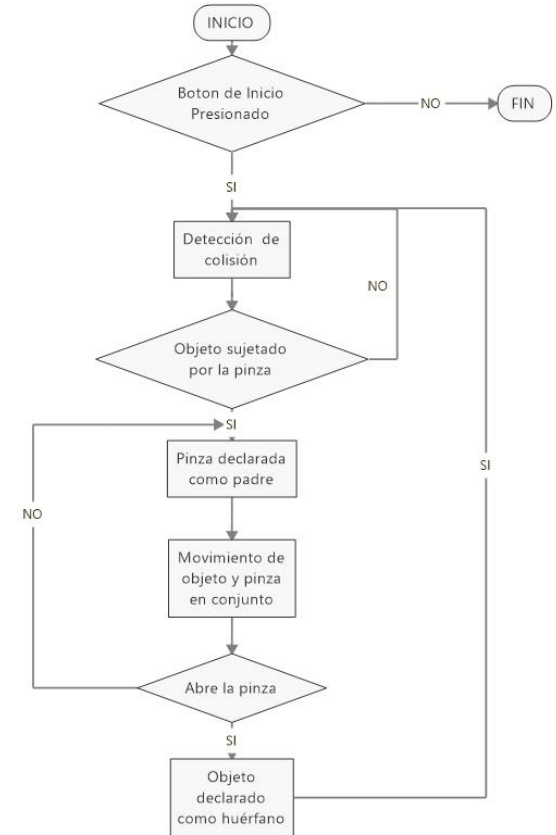
### Recepción de datos



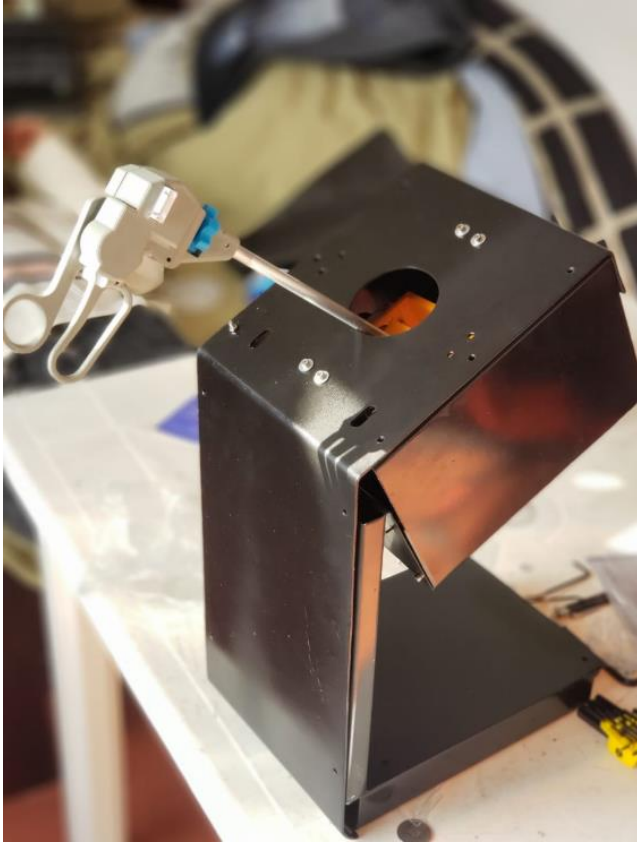
### Movimiento Espacial



### Movimiento Pinza



# Construcción e Implementación



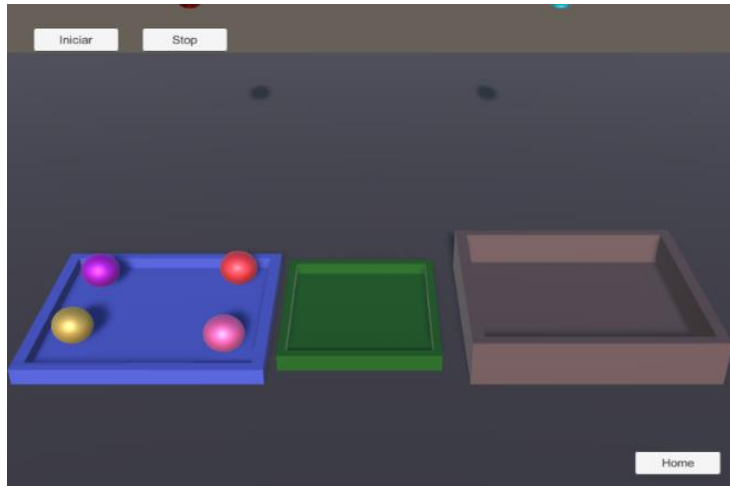
# INTERFAZ DE USUARIO (HOME)



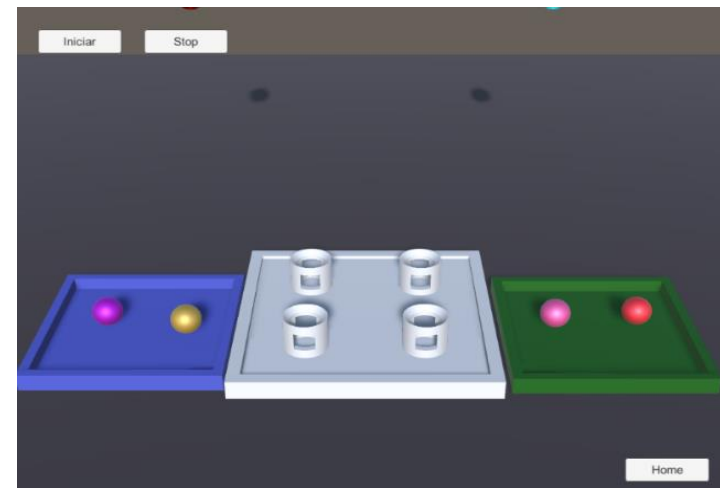


# ESCENARIOS

## ESCENARIO 1



## ESCENARIO 2



## ESCENARIO 3



# USUARIOS

Estudiante	Nombre	Universidad /Institución	Experiencia/Semestre	Fotografía
1	Dr. Mario García	Clínica Praxis	20 años	
1	Bryan Robalino	Universidad Autónoma de los Andes	Décimo	
2	Cristian Sacoto	Universidad Autónoma de los Andes	Décimo	
3	Elizabeth Villamarin	Universidad Técnica de Ambato	Décimo	



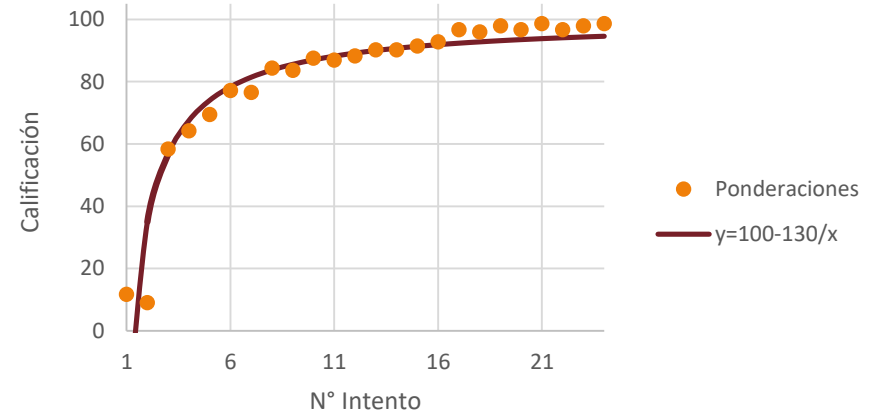
# RESULTADOS

## Curvas de aprendizaje

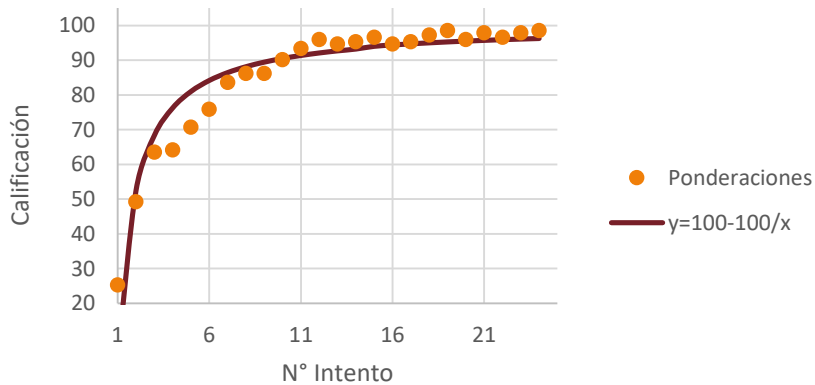
$$y = a - \frac{b}{x}$$

a: asíntota (valor máximo teórico)  
b: pendiente de regresión

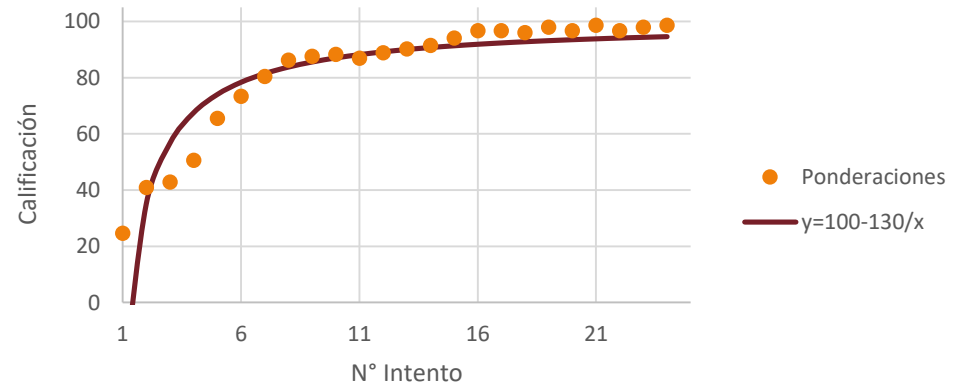
Prueba 1 –Estudiante 1



Prueba 2- Estudiante 1



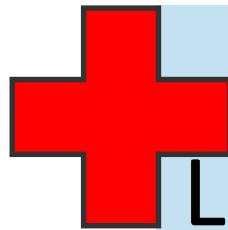
Prueba 3-Estudiante 1



# RESULTADOS

## Tasa de aprendizaje

$$lr = \frac{b}{a}$$

	Lr-Feldman (2009)	Lr-
	5.2±2.3	obtenida
		1.1989

58.96%



**ESPE**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA

# RESULTADOS

## Validación de hipótesis

**Hipótesis:** ¿El diseño y construcción de un prototipo de simulador con realidad virtual para cirugía laparoscópica mejorará el entrenamiento de habilidades en médicos cirujanos con respecto a un simulador físico?

**Hipótesis estadística:** ¿La tasa promedio de aprendizaje obtenida en un simulador de laparoscopia virtual es menor que la tasa promedio obtenida en un simulador de laparoscopia físico?,

$$H_i: \mu_{virtual} < \mu_{físico}$$

$$H_o: \mu_{virtual} = \mu_{físico}$$



# RESULTADOS

## Validación de hipótesis

$$\alpha = 0.05$$

### Normalidad

- Test shapiro-Wilk
- Pvalor=0.950

$Pvalor \geq \alpha$ , distribución normal

$Pvalor < \alpha$ , no previenen de distribución normal

$0.950 \geq 0.05$ , distribución normal

### Igualdad de Varianza

- Prueba de Levene
- Pvalor=0.142

$Pvalor \geq \alpha$ , varianzas iguales

$Pvalor < \alpha$ , diferencia entre las varianzas

$0.142 \geq 0.05$ , varianzas iguales

### Significancia

- t Student (dos grupos muestras independientes)
- Pvalor=0.038

$Pvalor > \alpha$ , acepte  $H_0$  (rechace  $H_1$ )

$Pvalor \leq \alpha$ , rechace  $H_0$  (acepte  $H_1$ )

$0.038 \leq 0.05$ , se rechaza  $H_0$  (se acepta  $H_1$ )



# RESULTADOS

## Usabilidad

### Encuesta

- 10 preguntas
- Escala Likert 0 - 5

### Calificación

- Cálculo de ponderación

### Resultado

- 80%
- Categoría 5



# Conclusiones

- Los simuladores de laparoscopia son elementos complejos que están formados por una cápsula en la que se alojan los elementos de simulación y las herramientas adecuadas para una cirugía laparoscópica; las pinzas son el elemento con el que interactúa el médico con el simulador, estos elementos son sensibles y presentan movimientos de cinco GDL, teniendo un movimiento limitado de 60° en los ejes “U” y “V”, y libre movimiento en el resto de los ejes.
- Los requerimientos funcionales del simulador de cirugía laparoscópico fueron definidos por especialistas mediante una entrevista, estos son: alta fidelidad, robustez y portabilidad, los cuales han sido cubiertos en su totalidad mediante un diseño concurrente, el cual permitió el desarrollo de un sistema modular con materiales resistentes como el acero y plástico; y el uso de sensores de baja tolerancia ( $\pm 10$ ) y reducido error (3%).
- El simulador de laparoscopia desarrollado cuenta con un sistema mecatrónico complejo formado por dos módulos, cada uno de estos tiene en su interior un mecanismo de tres GDL, al cual se conecta un periférico que emula una pinza de laparoscopia y en su interior tiene modificaciones que le permiten medir la rotación de dos GDL. Este diseño permite al usuario realizar todos los movimientos que se desarrollan dentro de la cirugía y a la vez adquirir la información análoga de estos.





# Conclusiones

- Con base en el modelo de la FLS se considera como básicos el desarrollo de la habilidad *peg transfer*, estas han sido plasmadas en tres escenarios con diferente nivel de dificultad y permiten desarrollar la habilidad de forma rápida. Adicionalmente los elementos que permiten interactuar con el entorno virtual están diseñados acorde a la guía GEDIS logrando una interfaz ergonómica e inmersiva.
- El sistema físico y el entorno virtual del simulador de laparoscopia se enlazan mediante un estándar de comunicación serial entre la placa de adquisición de datos y el ordenador, en el motor gráfico de videojuegos se procesa la información y se asigna movimientos, propiedades y características especiales a los cuerpos del entorno logrando así trasladar los movimientos reales al entorno virtual.
- Tras la ejecución de las pruebas, los profesionales de la salud manifestaron que el equipo es intuitivo, fácil de instalar, manipular y transportar. Además, comentaron que el uso de este simulador permite desarrollar de forma rápida las habilidades de manipulación y posicionamiento de objetos con la pinza de laparoscopia, ya que el equipo les permite realizar todos los movimientos propios de una pinza de laparoscopia.



# Conclusiones

- En función de los resultados obtenidos al ejecutar el test SUS en usuarios del simulador virtual de laparoscopia, se determina que la usabilidad de este es de categoría 5, que equivale a excelente.
- El análisis de los resultados de las pruebas se basa en las curvas de aprendizaje, permite evidenciar que la tasa promedio de aprendizaje del presente simulador es un 58.96% menor que la obtenida en el estudio desarrollado por Liane Feldman un simulador físico enfocado en el mismo fin, el cual es un indicativo de que se aprende más rápido en el prototipo desarrollado.



# Recomendaciones

- Para mejorar la fiabilidad del sistema emplear sensores con menor tolerancia y con un reducido error mecánico.
- Usar un regulador de voltaje para evitar que los picos de este afecten el rango de medición de los sensores.
- Visualizar el entorno virtual en una pantalla con buena resolución, contraste y alto nivel de nitidez, esto para tener una mejor percepción tridimensional y mejorar la inmersión en el sistema.
- Evite mantener abrir las dos pinzas abiertas al mismo tiempo mientras usa el equipo, esto permitirá al cirujano ganar una buena costumbre que sirve para evitar daños en órganos aledaños a la zona de operación.
- Desarrollar el resto de los ejercicios de la FLS a fin de alcanzar un simulador que permita al usuario desarrollar todas las habilidades necesarias para laparoscopia.
- Desarrollar entornos de exploración que representen la cavidad a abdominal con sus órganos.
- Para mejorar el rendimiento gráfico y de destreza motora se recomienda el uso de un software de realidad virtual con mayor rendimiento en cuanto al motor de física se refiere, permitiendo al usuario una mejor experiencia de realidad virtual y a su vez una mejora de destreza motora.



**GRACIAS  
POR SU ATENCIÓN**



**ESPE**  
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SIMULADOR VIRTUAL DE LAPAROSCOPIA PARA EL ENTRENAMIENTO DE HABILIDADES DE MÉDICOS CIRUJANOS”

### **Autores:**

Perez Ortiz, Kevin Aldo  
Morales Antamba, Klever David

### **Director:**

Ing. Rea Minango, Nathaly Sylvia

