



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE ENTRENAMIENTO MILITAR ENFOCADO A LA SIMULACIÓN DE COMBATE CERCANO MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL PARA FACILITAR LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE LAS FUERZAS ARMADAS DEL ECUADOR.”

AUTORES: Morales Quimbiurco, Jorge Daniel.
Haro Oña, Ronny Marcelo.

DIRECTORA: Ing. Constante Procel, Patricia Nataly MSc.



RESUMEN

El presente proyecto es la integración de un sistema mecánico, electrónico y programático en un prototipo de sistema mecatrónico como contribución e innovación tecnológica orientado al entrenamiento del personal militar de las Fuerzas Armadas del Ecuador mediante realidad virtual. Para lo cual se creó un arma réplica de M16 con dimensiones, peso y forma que emule en lo posible a la real, paralelamente un sistema electromecánico que maneja actuadores que simulan el retroceso mecánico que se ejerce al disparar la replica. El entorno virtual interactivo fue creado mediante el motor virtual Unreal Engine basado en estancias reales; mediante lógica de programación se estableció un método de puntuación automático y presentación de resultados inmediatos en pantalla para facilitar la evaluación del desempeño del instructor.



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Dominio institucional de la **Seguridad y Defensa** para el estudio, generación y desarrollo de tecnologías.

Los entrenamientos con armas de reales implican siempre un nivel de riesgo para usuarios y para terceros.

El aprovisionamiento de equipo táctico, uso de munición, mantenimiento, infraestructura representa un alto costo.

El entrenamiento es muy general y desactualizado.

Aprendizaje en un entorno seguro y controlado.

Ofrece escalabilidad y flexibilidad para el desarrollo continuo y mejora del entrenamiento.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de entrenamiento militar enfocado a la simulación de combate cercano mediante realidad virtual para facilitar la evaluación del personal de las Fuerzas Armadas.

INVESTIGAR

- Características y secuencias de combate cercano para el entrenamiento.
- GEO ◀-▶ CICTE

SELECCIONAR

- Sensores y actuadores necesarios para la interacción e inmersión.

DISEÑAR

- Entorno virtual interactivo y fácil de usar.
- Calificar las habilidades y destrezas del combatiente.

DESARROLLAR

- Algoritmos de programación para el correcto funcionamiento de sensores y actuadores.

FACILITAR

- La calificación de un miembro de FF.AA. Al finalizar el recorrido de combate.



Entrenamiento de Combate Cercano



Definición

Técnicas y tácticas para la toma de control de entornos cerrados.

Principios

Velocidad en acción y reacción. Fundamentos de movimiento táctico.

Aplicaciones

Búsqueda y neutralización. Evacuación de rehenes. Brecheo.

XR – Realidad Extendida

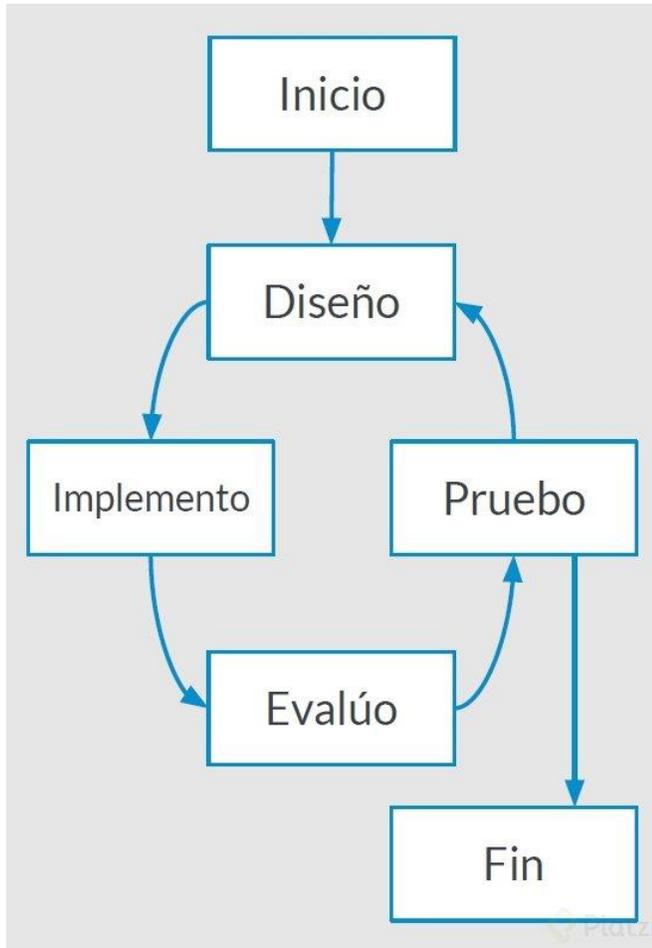


Realidad Virtual Militar – Didáctica.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Proceso Iterativo



N.º	Ámbito	Necesidad	Propuesta de Solución
1	Costo	Bajo costo o propuesta de reducción.	Reducción de elementos a usar.
2	Facilidad de Uso	No se requiere capacitación compleja para el uso.	Parámetros simples de configuración.
3	Presentación de resultados	El supervisor debe ver gráficamente los resultados de tiro.	Se presentará un resumen de combate en pantalla.
4	Facilidad de Mantenimiento	Elementos de fácil reemplazo o adquisición.	Uso de elementos conocidos en el mercado.

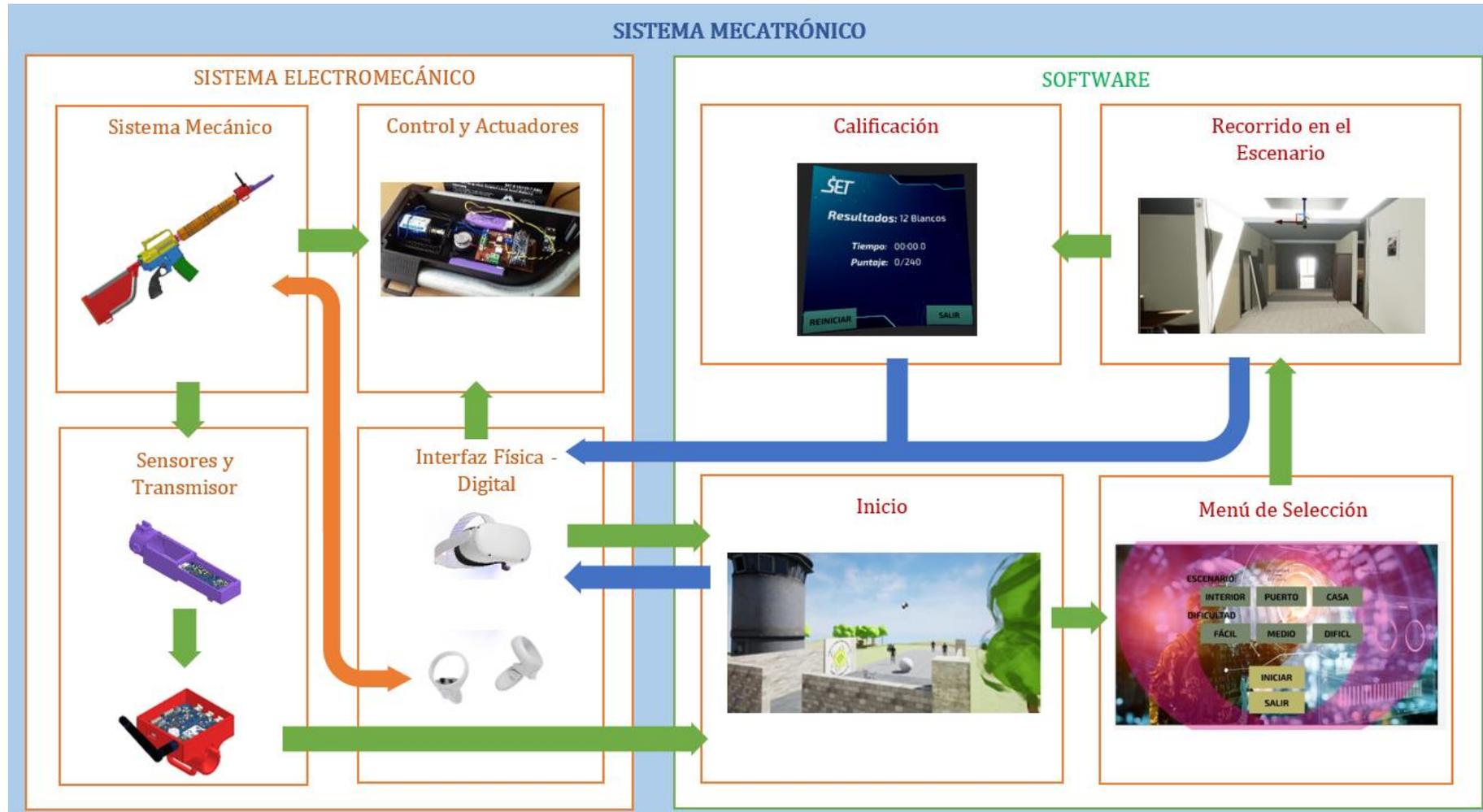


Arquitectura del Diseño



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Arquitectura del Sistema



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Selección de *Elementos*

Sistema de puntuación y pesos

Resumen final de selección:

Software: Unreal Engine.

Hardware: Meta Quest 2.

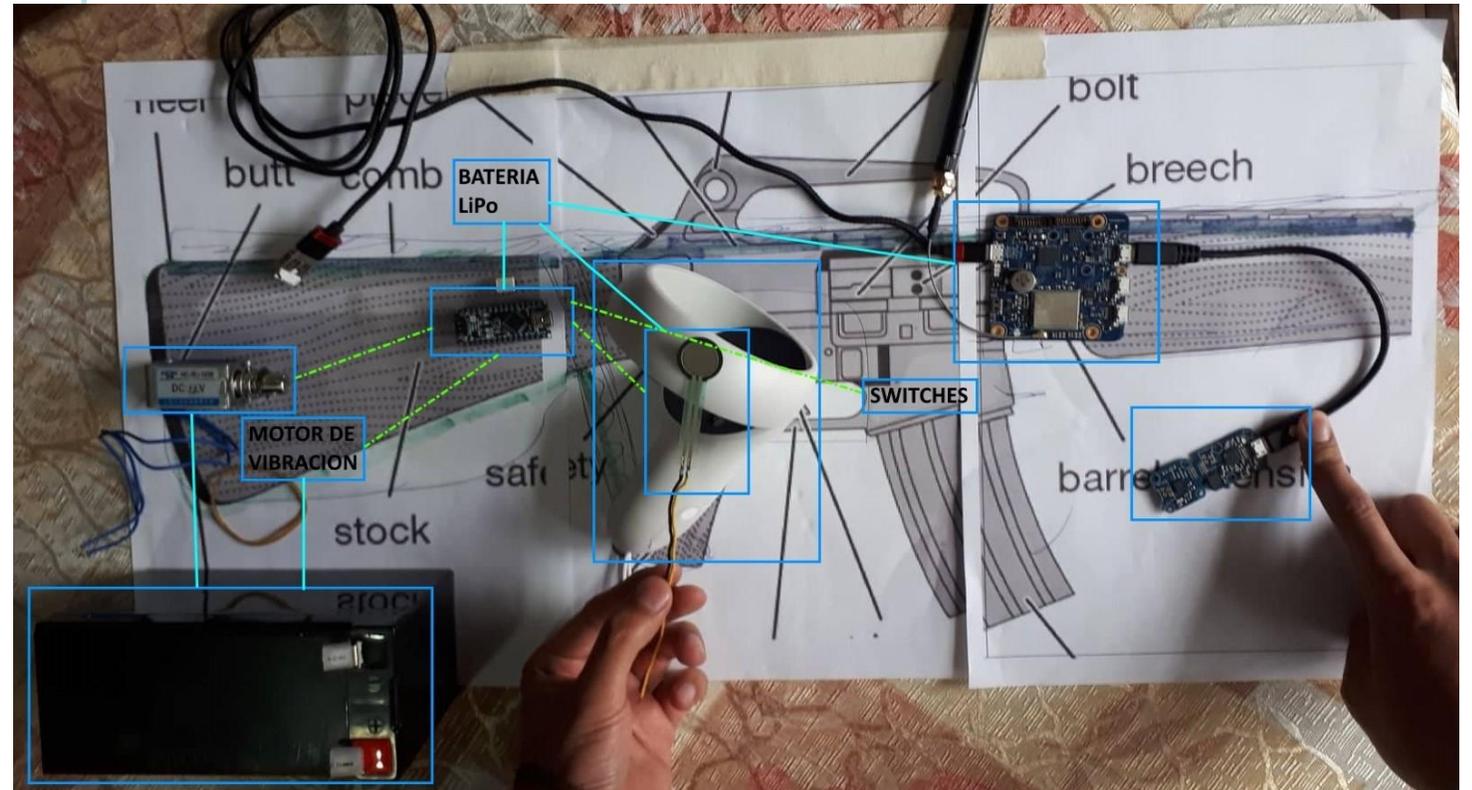
Actuadores:

- Motor de Vibración RF-300.
- Actuador Electroimán Solenoide HCNE1-1039.

Sensores:

- Sensor de presión MF01.
- Yocto 3D V2.
- Mini interruptor final de carrera.

Microcontrolador: Arduino Nano.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Diseño Mecánico - Estructura

Replica de M16 con medidas y masa similares.

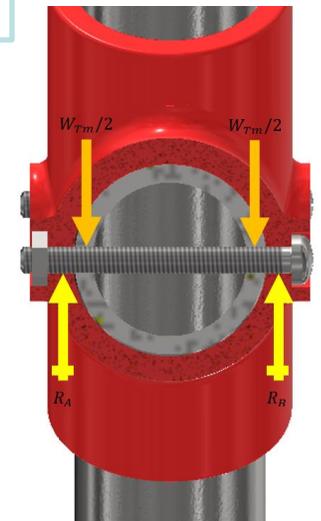
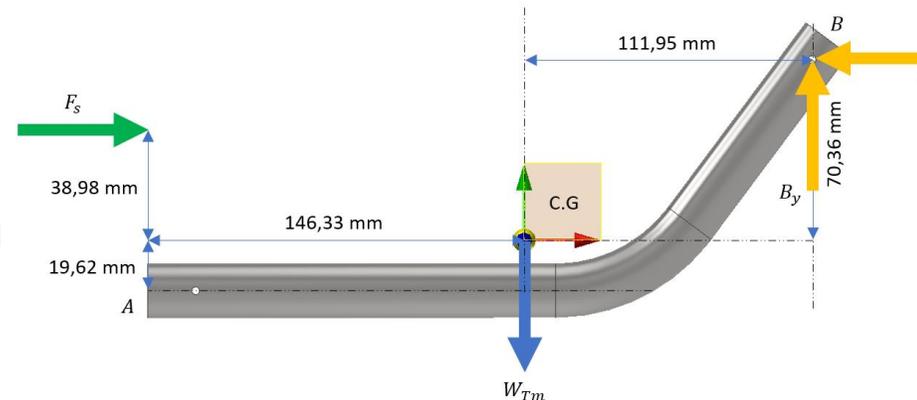
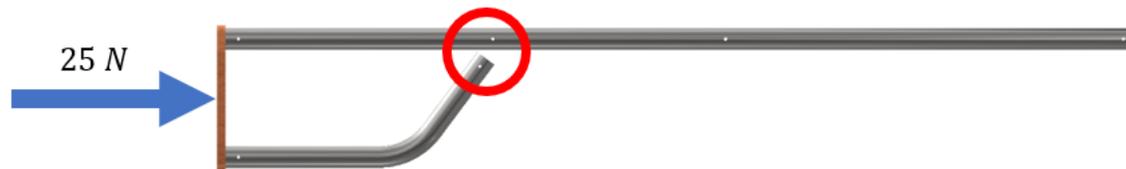
Puede sostener partes físicas réplicas del arma impresas en 3D con filamento PLA+ que a su vez están sujetas entre sí mediante sujeciones atornilladas.

Catalogo DIPAC de cañería galvanizada. **Tubo de ½". Diam Ext: 21.35mm**

Consideraciones de esfuerzos. Determinación del tornillo mínimo pero seguro.



Fuerzas que intervienen en el diseño



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Diseño Mecánico – Junta atornillada

Consideraciones de esfuerzos. Determinación del tornillo mínimo pero seguro.

Mediante la solución del Círculo de Mohr de un tensor simétrico 3x3, se obtiene que:

$$\sigma_1 = 19,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0$$

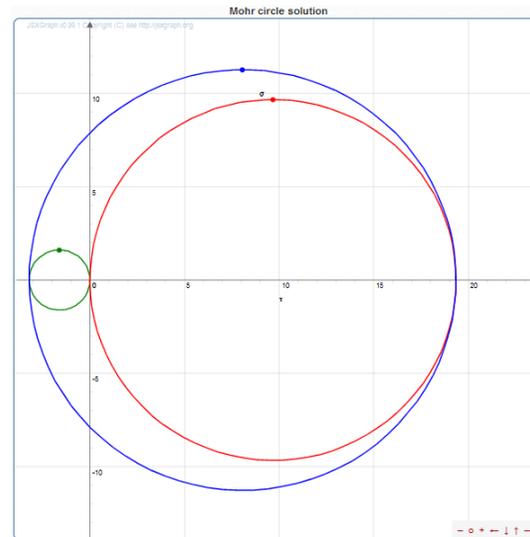
$$\sigma_3 = -3,21 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max1} = 1,61 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max2} = 11,28 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max3} = 9,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM} = 21,14 \text{ MPa}$$



El material del tornillo comercial es: Acero Galvanizado, cuyo $S_y = 205 \text{ MPa}$.

$$N = \frac{205 \text{ MPa}}{21,14 \text{ MPa}} = 9,69$$

Sobredimensionado pero seguro.

Se elige al conjunto tornillo-tuerca **M3x0.5**. Bajo la consideración de medida mínima comercial.

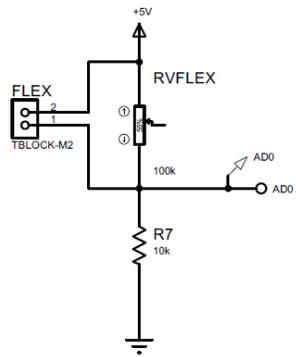


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

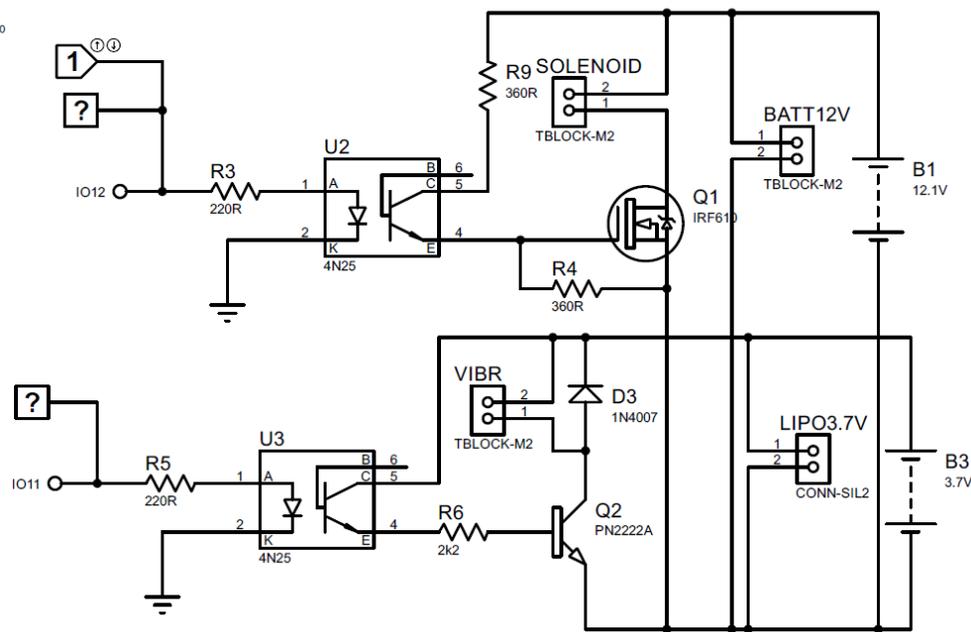
Diseño Electrónico

Aislamiento por optoacoplador y disparo de semiconductores

Entrada de Señal Analoga - Sensor MF01



Etapa de Potencia - Motores



Corriente por etapas:

Tipo de Batería	Etapa de Alimentación	Capacidad	Consumo
LiPo 18650	Control por Arduino	2100mAh	75mA
Batería de Ácido	Accionamiento Actuator Lineal Solenoide	5100mAh	1252mA/ciclo
LiPo 18650	Actuator Motor de Vibración	2100mAh	287mA
LiPo 18650	Dispositivos Yoctopuce®	2100mAh	223mA



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Diseño Electrónico - PCB

IPC 2221 – Determinación del ancho de pistas externas para un circuito.

Ecuación:

$$width = \frac{\left(\frac{I}{k_1 \times \Delta T^{k_2}}\right)^{\frac{1}{k_3}}}{h(1.378)}$$

Corriente máxima de 1.235 amperios y esperando una variación mínima de temperatura de 1°C:

$$w = \frac{\left(\frac{1.235}{(0.0647)(1)^{0.4281}}\right)^{\frac{1}{0.6732}}}{1(1.378)}$$

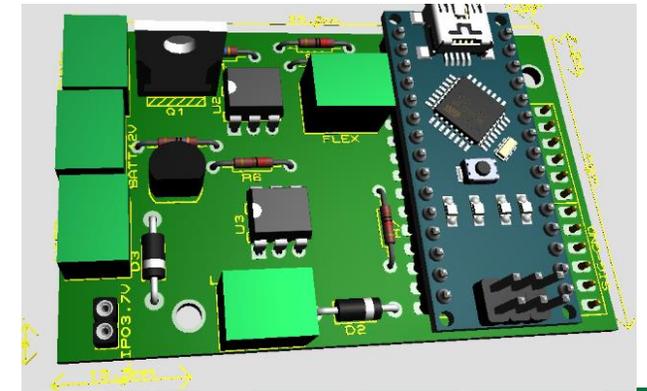
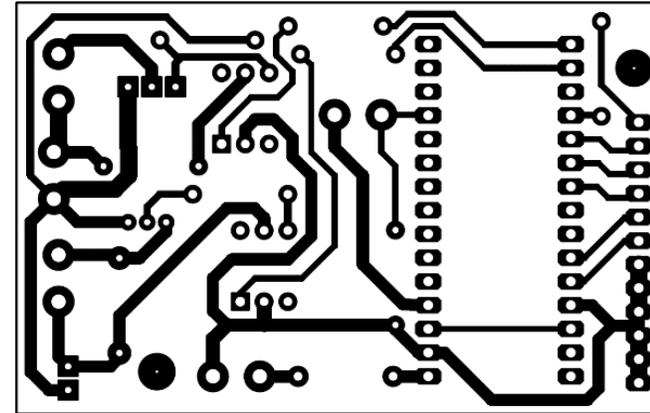
$$w = 57.9762 \text{ milipulgadas}$$

$$w \approx 1.4725 \text{ mm.}$$

$$w = \frac{\left(\frac{0.2}{(0.0647)(0.5)^{0.4281}}\right)^{\frac{1}{0.6732}}}{1(1.378)}$$

$$w = 6.02885 \text{ milipulgadas}$$

$$w \approx 0.153 \text{ mm}$$



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Diseño Electrónico - Energía

Tiempo aproximado de vida de las baterías a utilizar.

Etapa Control Arduino:

$$\frac{2100mA.h}{75mA} = 28h \rightarrow 28 \times 0.4 = \mathbf{11.2 \text{ horas}}$$

Etapa Accionamiento Actuador Lineal:

$$\frac{5100 \text{ mA.h}}{1252 \text{ mA}} = 4.073 \text{ h} \rightarrow 4.073 \times 0.4 = 1.629 \text{ horas}$$

$$\frac{1.629h}{0.5 \frac{seg}{ciclo}} = \frac{1.629h \times \frac{3600seg}{h}}{0.5 \frac{seg}{ciclo}} = \frac{5864.4 \text{ seg}}{0.5 \frac{seg}{ciclo}} = \mathbf{11729 \text{ ciclos}}$$

Etapa Accionamiento Motor de vibración:

$$\frac{2100 \text{ mA.h}}{287 \text{ mA}} = 7.317 \text{ h} \rightarrow 7.317 \times 0.4 = 2.926 \text{ horas}$$

$$\frac{2.926h}{0.5 \frac{seg}{ciclo}} = \frac{2.926h \times \frac{3600seg}{h}}{0.5 \frac{seg}{ciclo}} = \frac{10536.48 \text{ seg}}{0.5 \frac{seg}{ciclo}} = \mathbf{21073 \text{ ciclos}}$$

Etapa Dispositivos Yoctopuce:

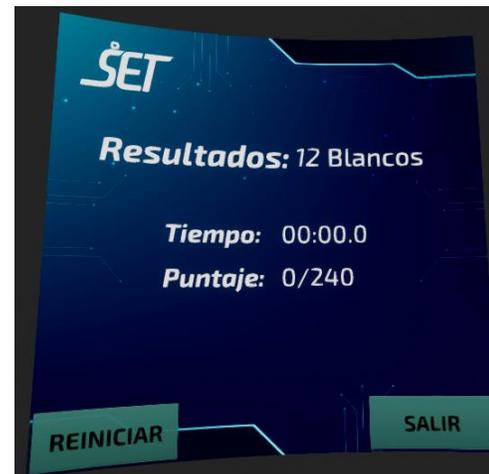
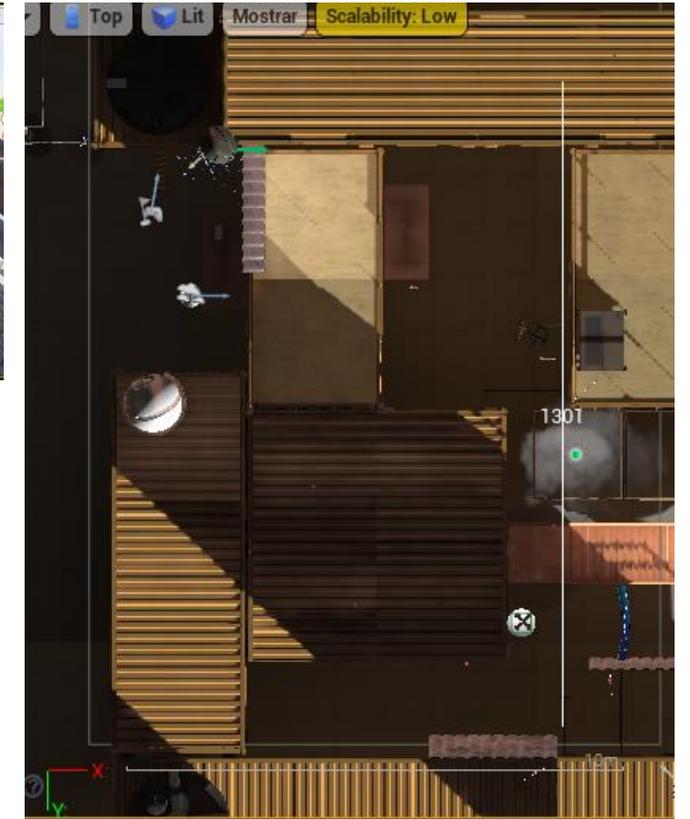
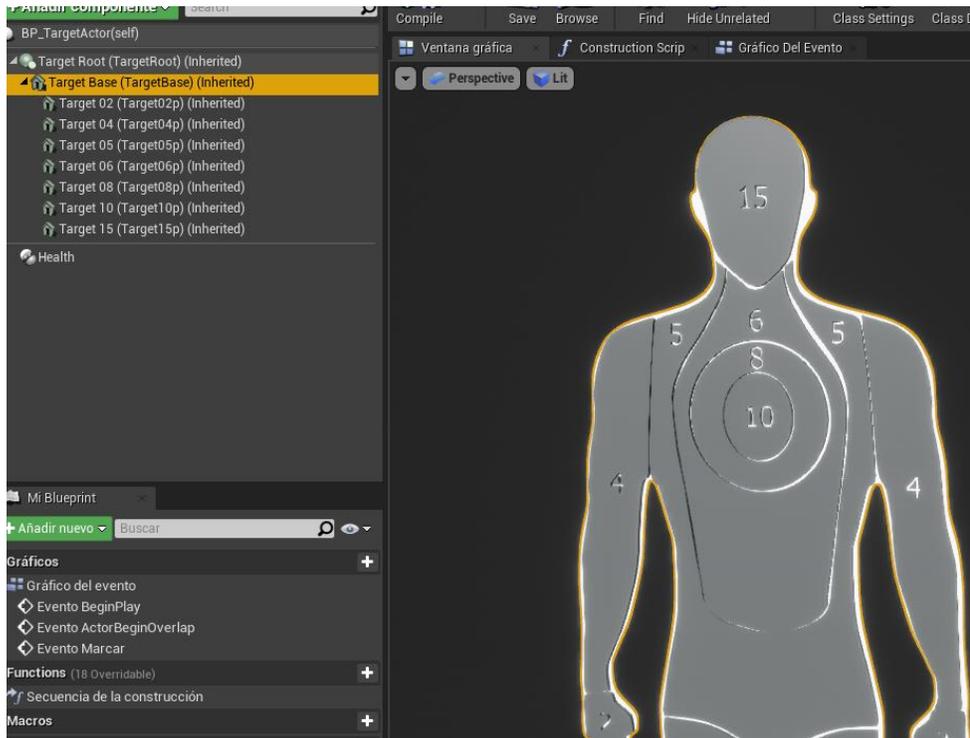
$$\frac{2100mA.h}{223mA} = 9.417 \text{ h} \rightarrow 9.417 \times 0.4 = \mathbf{3.766 \text{ horas}}$$



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Motor Unreal Engine

Construcción de escenarios y elementos virtuales.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Motor Unreal Engine

Limitaciones

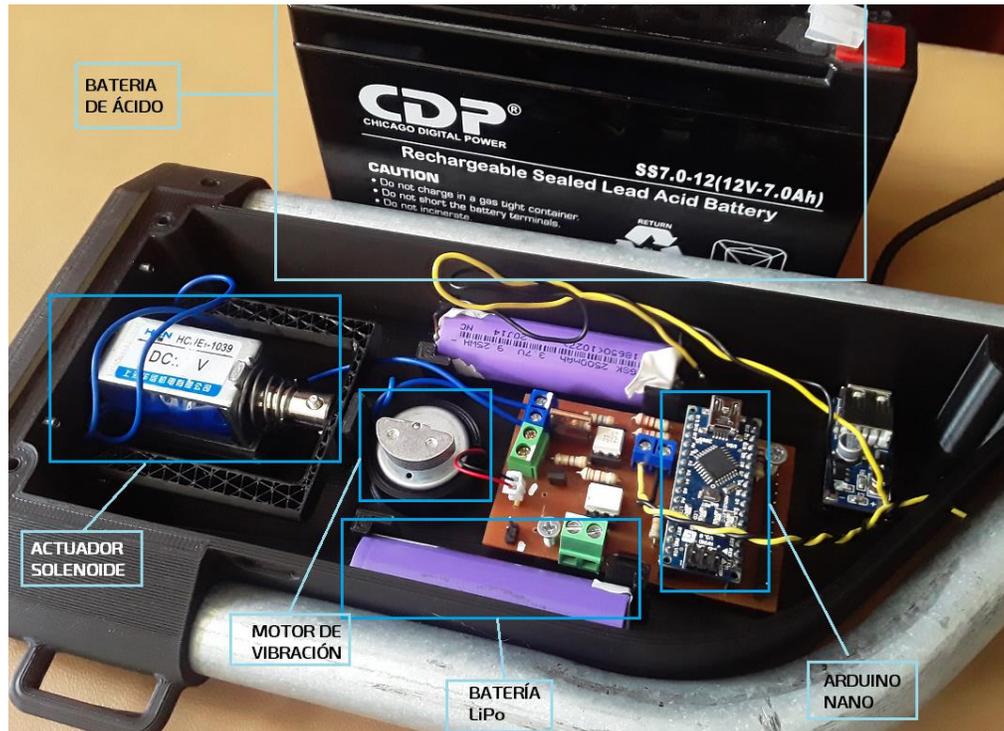
- **Inmersión:**
 - El espacio de juego se ve limitado por la **disponibilidad de la infraestructura** donde se implemente el sistema de entrenamiento y las **condiciones de luz del mismo.**
- **Interacción:**
 - La interacción con la M16 virtual no se puede realizar al 100 por ciento, acciones imposibles de realizar como el ajuste de la mira, recarga del arma, uso de la mira de hierro o miras intercambiables debido a las **limitaciones visuales de las gafas.**
- **Conectividad:**
 - El sistema Air Link se encontraba en estado experimental, el fabricante ofrece mejoras, pero la estabilidad de la conexión depende de las **prestaciones de red de área local.**
- **Otras tácticas:**
 - Algunos **parámetros de calificación** de rendimiento en la casa de asalto se ven **truncados** debido a que el combatiente recorre en solitario las estancias.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Integración de sistemas

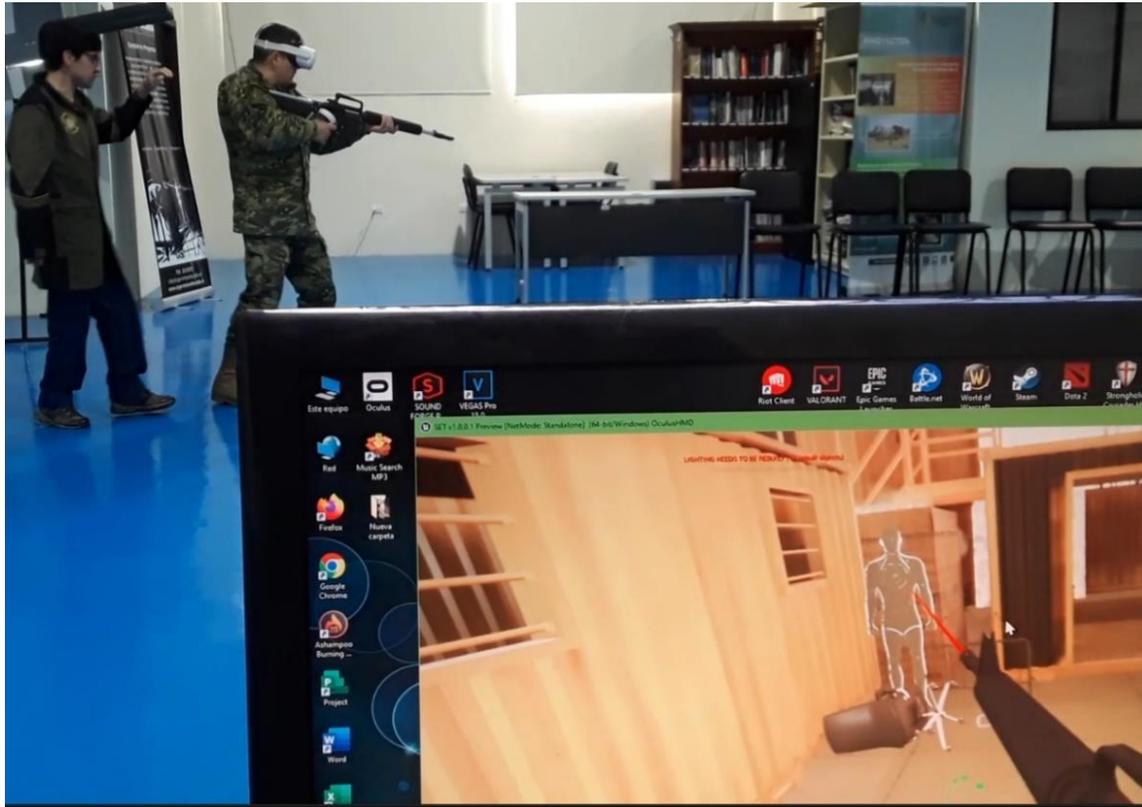
Ensamble del arma replica y lógica de funcionamiento.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Integración de sistemas

Ejecución conjunta.



Quest build v42 release notes

These features and enhancements will be rolling out during the week of July 11th, 2022.

Air Link

Air Link is moving out of the experimental settings panel and will now be available under system settings. We've also made the following improvements:

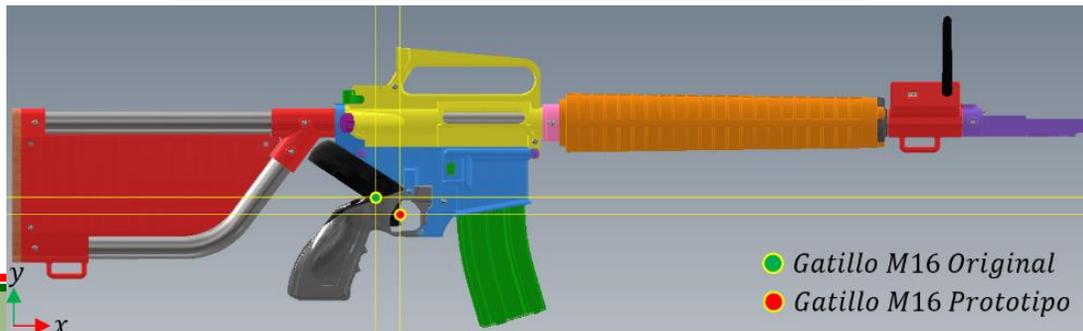
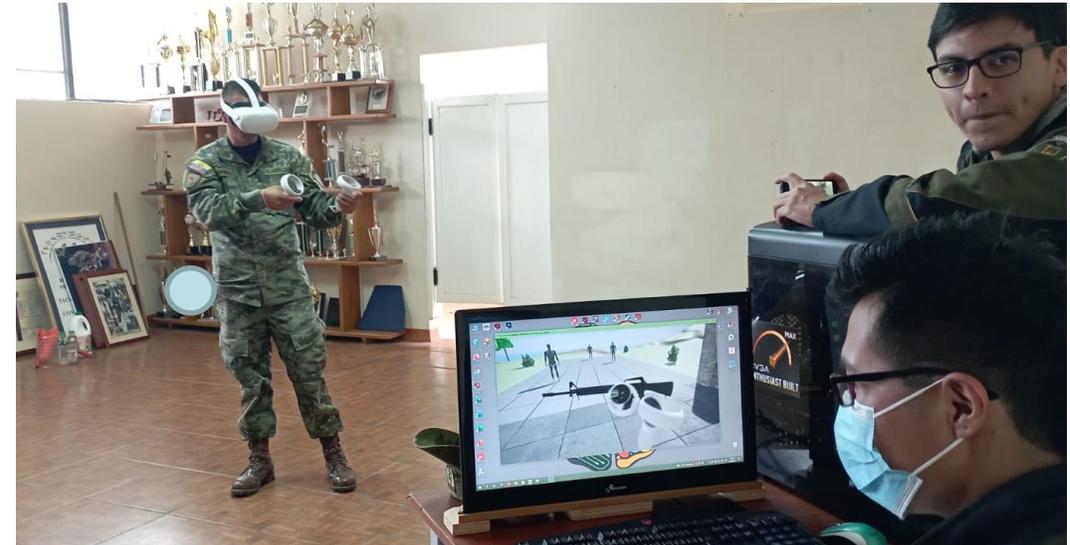


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
1970 E.C.
EQUADOR
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Calibración y Retroalimentación

Continua visita al GEO para primera validación y retroalimentación.



Pruebas de ejecución del sistema



Recolección de datos

Cant.	Tiempo	Puntuación	Tiempo para calificar
1	1.43	216	5.65
2	1.55	222	6.91
3	1.57	222	4.91
4	2.53	216	6.72
5	2.39	220	6.59
6	2.31	216	4.79
7	1.53	220	4.26
8	2.32	225	5.16
9	1.41	224	5.15
10	2.20	225	4.38
11	2.14	220	7.61
12	2.36	226	5.04
13	2.15	226	7.03
14	2.39	220	7.72
15	1.55	221	6.51
16	2.31	225	5.17
17	2.39	216	6.53
18	2.22	222	4.35
19	2.04	220	5.66
20	2.35	216	6.22
21	2.08	212	6.4
22	1.48	222	6.1
		Promedio	5.857
		Desviación	1.021

- Procedimiento generalizado de calificación al acabar el recorrido de la casa de combate real:
- Se despeja el personal el instructor realizan la calificación
 - Recorre todos los Blancos de tiro contabilizando por adicción la puntuación total
 - El total de tiempo que le toma realizar este conteo es de promedio *tres minutos*, expresado como **180 segundos**.



Validación de hipótesis

Hipótesis Nula, H_0 . No existe variación entre las variables:

*El prototipo de entrenamiento militar enfocado a la simulación de combate cercano mediante realidad virtual, **no aumenta** el tiempo de evaluación del desempeño del personal de las Fuerzas Armadas del Ecuador.*

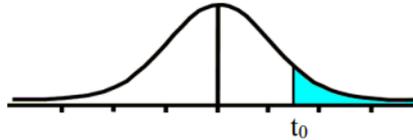
Hipótesis Alternativa, H_a . Existe variación de algún tipo entre las variables:

*El prototipo de entrenamiento militar enfocado a la simulación de combate cercano mediante realidad virtual, **disminuye** el tiempo de evaluación del desempeño del personal de las Fuerzas Armadas del Ecuador.*



Validación de hipótesis

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796

Nivel de significancia: $1 - \alpha = 1 - 0.90 = 0.10$

Grados de libertad: $gl = n - 1 = 22 - 1 = 21$

Valor crítico de la tabla t: $t_{21} = -1.3232$

Condición hipótesis nula: $H_0: t_c > -1.3232$

Calculando t:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}} \times f_{cp}}, \quad f_{cp} = \sqrt{\frac{100 - 22}{99}} = 0.8876, \quad \rightarrow t_c = \frac{5.587 - 180}{\frac{1.021}{\sqrt{22}} \times 0.887} = -901.539$$

Como resultado:

$$t_c < t_T$$

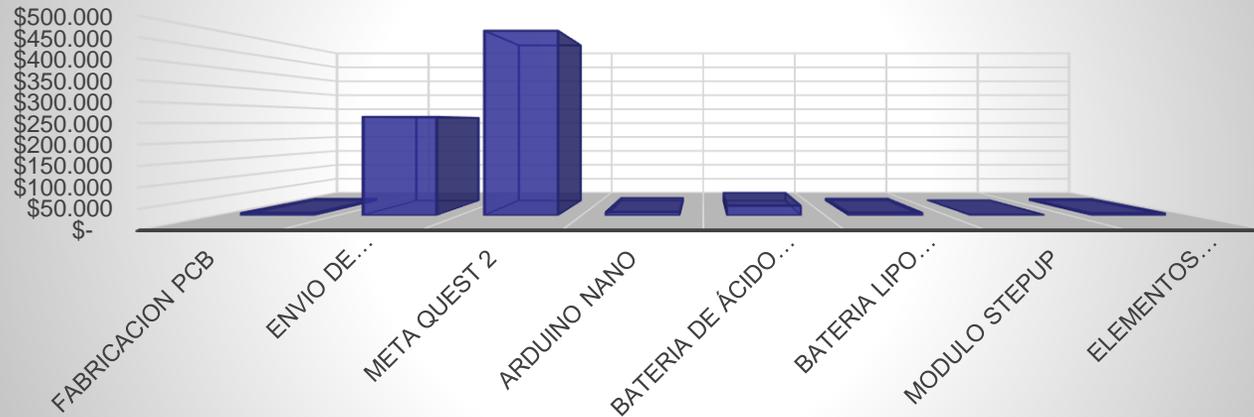
$$\rightarrow -901.539 < -1.3232$$



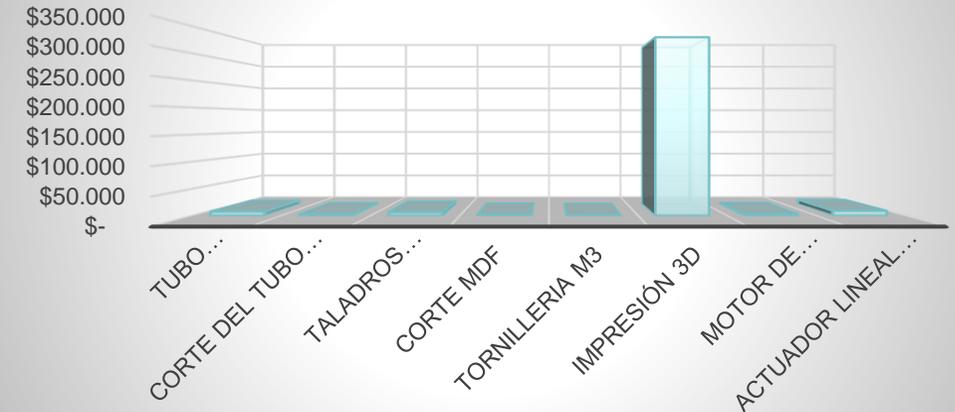
RESULTADOS

Resultante de costos

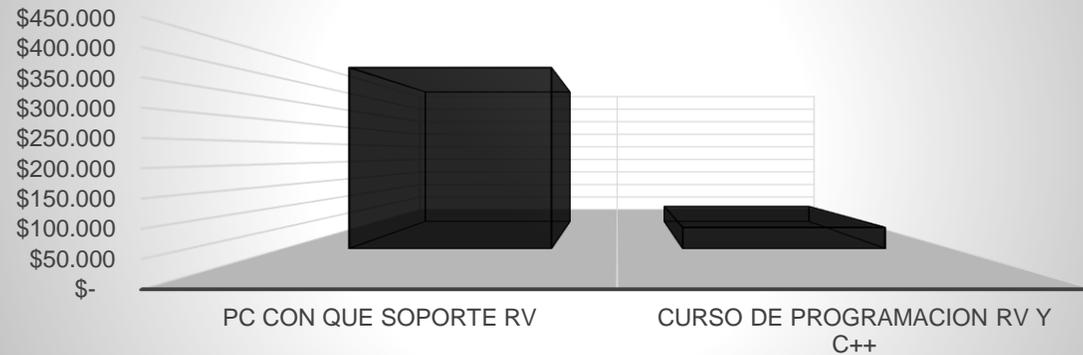
Sistema Electrónico



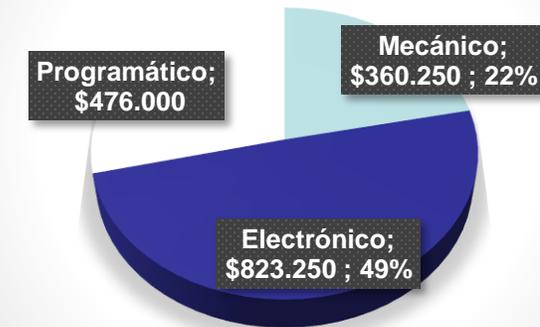
Sistema Mecánico



Sistema Programático



Avalúo \$1659.50



CONCLUSIONES

- Se ha diseñado bajo parámetros mecánicos, electrónicos y programáticos un prototipo de sistema de entrenamiento militar por realidad virtual el cual facilita la evaluación del desempeño del personal de Fuerzas Armadas mediante la **reducción de tiempo de calificación en hasta 30 veces** que los métodos manuales tradicionales de conteo por observación.
- Los escenarios virtuales se han desarrollado para simular **locaciones reales o conocidas del contexto nacional** y para práctica y aplicación de fundamentos de Combate Cercano.
- Cada uno de los escenarios tiene una dimensión real máxima de **15 por 15 metros** y cada escenario tiene **12 Blancos de Tiro posicionados estratégicamente** para evaluar las aplicaciones
- Para el desarrollo del arma replica se utilizaron elementos de **fácil adquisición en el mercado nacional** con una masa final de 2.55 kilogramos siendo esto el 55% del peso de una M16 real equiparando la robustez de la réplica mecánica para **mejor experiencia del usuario**.



CONCLUSIONES

- **Se ha replicado la sensación mecánica** que provoca una M16 al ser disparada mediante un sistema de vibración, utilizando un motor genérico de vibración; e impulso mecánico, utilizando un actuador lineal solenoide.
- Se han programado los algoritmos de funcionamiento en Unreal Engine, mediante: **C++ y UE Blueprints**. Toda la parte programática esta optimizada en lo posible para el **uso de recursos de memoria y fluidez en la ejecución**.
- Se facilitado la observación del recorrido de combate y no se requiere interacción avanzada con la interfaz del sistema prototipo, **logrando que el instructor a cargo vea un resultado inmediato** en contraste al método tradicional.



RECOMENDACIONES

- El área física del recorrido de asalto debe ser superior al área virtual de los escenarios. Dicha **área física debe ser plana, libre de obstáculos y bajo condiciones de luz constante (zona cubierta)**.
- Las modificaciones realizadas en el M16 prototipo mediante un modelo CAD manifiesta ciertas ventajas y desventajas **debilidad ante esfuerzos paralelos a las capas de impresión**.
- **Combinar el funcionamiento de los actuadores directamente al programa de simulación mediante WiFi** ya que la sensación de disparo presentó cierta latencia, con respecto del disparo realizado en realidad virtual.
- Aunque la M16 A2 tiene un diseño generalizado para tiradores diestros existen también **variantes para zurdos**. La empuñadura ha sido diseñada como un elemento desacoplable y se puede colocar una **empuñadura diseñada para el controlador Oculus Touch Izquierdo**.



RECOMENDACIONES

- Ya que la carrera (distancia) del gatillo del controlador Oculus Touch ya viene construida por el proveedor, y esta es diferente del gatillo de una M16 real, **la tasa de disparo se ve limitada mecánicamente** por esta característica de los controladores.
- Unreal Engine ofrece varias bondades en su arquitectura de programación como es la **escalabilidad**, gracias a esto puede continuar desarrollándose el prototipo para **adaptarlo al uso de dos o más jugadores**.





***GRACIAS POR SU
ATENCIÓN***



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA