

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

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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA PARA AYUDAR A MEJORAR LA DESTREZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA MIG DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA.”**

**AUTORES:** TORRES SALAZAR, BRYAN PAUL

VELOZ MENA, JORGE ANDRÉS

**DIRECTOR:** ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO

**Latacunga, 2022**





## CONTENIDO

---

1. Descripción del proyecto
2. Estudio del sistema de Soldadura y la Realidad Aumentada
3. Diseño mecánico, eléctrico y entorno en Realidad Aumentada
4. Construcción, Pruebas y Resultados
5. Conclusiones y Recomendaciones



## 1. Descripción del Proyecto

---

1. Planteamiento del Problema
2. Objetivos
3. Justificación

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



Hoy en día por la emergencia de salud pública, combinada a un elevado coste de los equipos y materiales para el desarrollo de muchas cátedras prácticas han limitado el aprendizaje de dichas materias en las universidades e institutos técnicos. Las restricciones a los laboratorios combinados con los escasos equipos y disponibilidad de tiempo para el uso de los mismos muchas de las veces generan en los estudiantes cierto menosprecio a las ventajas que se puede obtener si se conociera e implementara de forma adecuada estos procesos industriales dentro de los proyectos realizados en el transcurso de la carrera.

## OBJETIVOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

### ***Objetivo General***

Diseñar y construir un prototipo de módulo de entrenamiento aplicando realidad aumentada para ayudar a mejorar la destreza en el proceso de soldadura MIG de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

## ***Objetivos Específicos***

---

- Desarrollar el estudio del arte respecto al proceso de soldadura MIG así como a la realidad aumentada.
- Diseñar una estación de aprendizaje versátil para la enseñanza del proceso de soldadura de forma virtual.
- Crear un entorno de realidad aumentada junto con el desarrollo del software necesario para su funcionamiento.

## ***Objetivos Específicos***

---

- Acondicionar e implementar el software y hardware necesario para la enseñanza del proceso de soldadura de forma simulada.
- Probar el funcionamiento del prototipo de módulo de entrenamiento durante diferentes ensayos del proceso de soldadura MIG de forma guiada.
- Verificar la mejora de la destreza en el proceso mediante el cumplimiento de ciertos parámetros de movimiento y configuración de máquina al realizar el proceso de soldadura MIG de forma simulada.

## JUSTIFICACIÓN



A nivel educativo se espera que desarrollar este tipo de proyectos brinda nuevas herramientas a la universidad para generar en el estudiante ese sentido de pertenencia e interés por la investigación dentro esta rama de los diferentes procesos de manufactura que existen; obteniendo a futuro mejores módulos de enseñanza donde interactúan varios tipos de maquinaria generando productos más complejos y un nivel técnico mucho más sofisticado e industriales que esto conlleva ayudándoles a generar nuevos proyectos enfocados a esta industria.



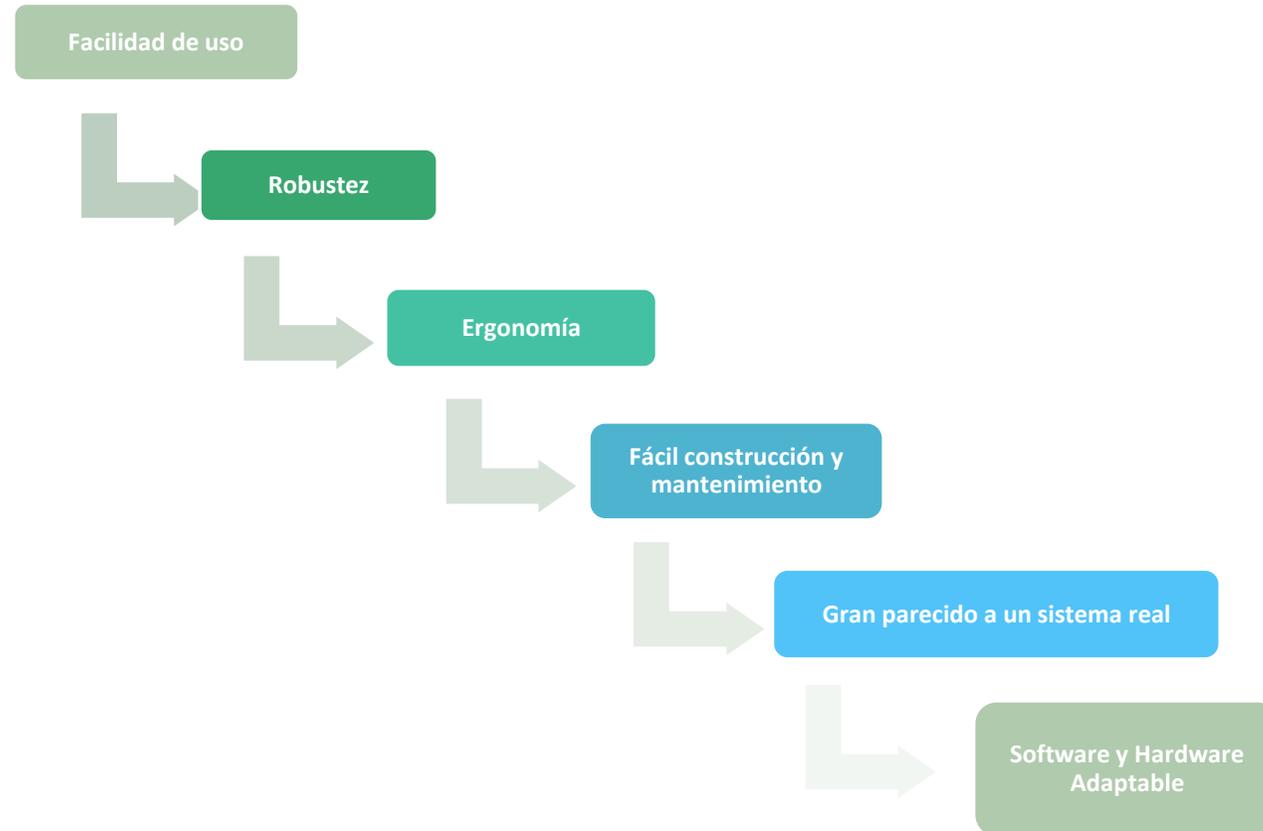
## 2. Estudio del sistema de Soldadura y la Realidad Aumentada

---

1. Necesidades del sistema de soldadura
2. Soluciones de las necesidades planteadas
3. Pesos específicos de cada criterio



## Necesidades del sistema de soldadura



## Soluciones de las necesidades planteadas



Necesidad	Alternativa de Solución
Facilidad de Uso	Software interactivo, intuitivo y adaptable.
Robustez	Equipo con materiales con un grado adecuado de resistencia a la flexión.
Ergonomía	Módulos adaptables a la mano, mangos ergonómicos.
Fácil construcción y mantenimiento	Desarrollar un sistema modular que este basado en diferentes subsistemas fáciles de ensamblar.
Gran parecido al sistema real	Basarse en un sistema de soldadura MIG real y sencillo de modelar.
Software y Hardware Adaptable	Puertos de conexión universales y software con paquetes instalables.

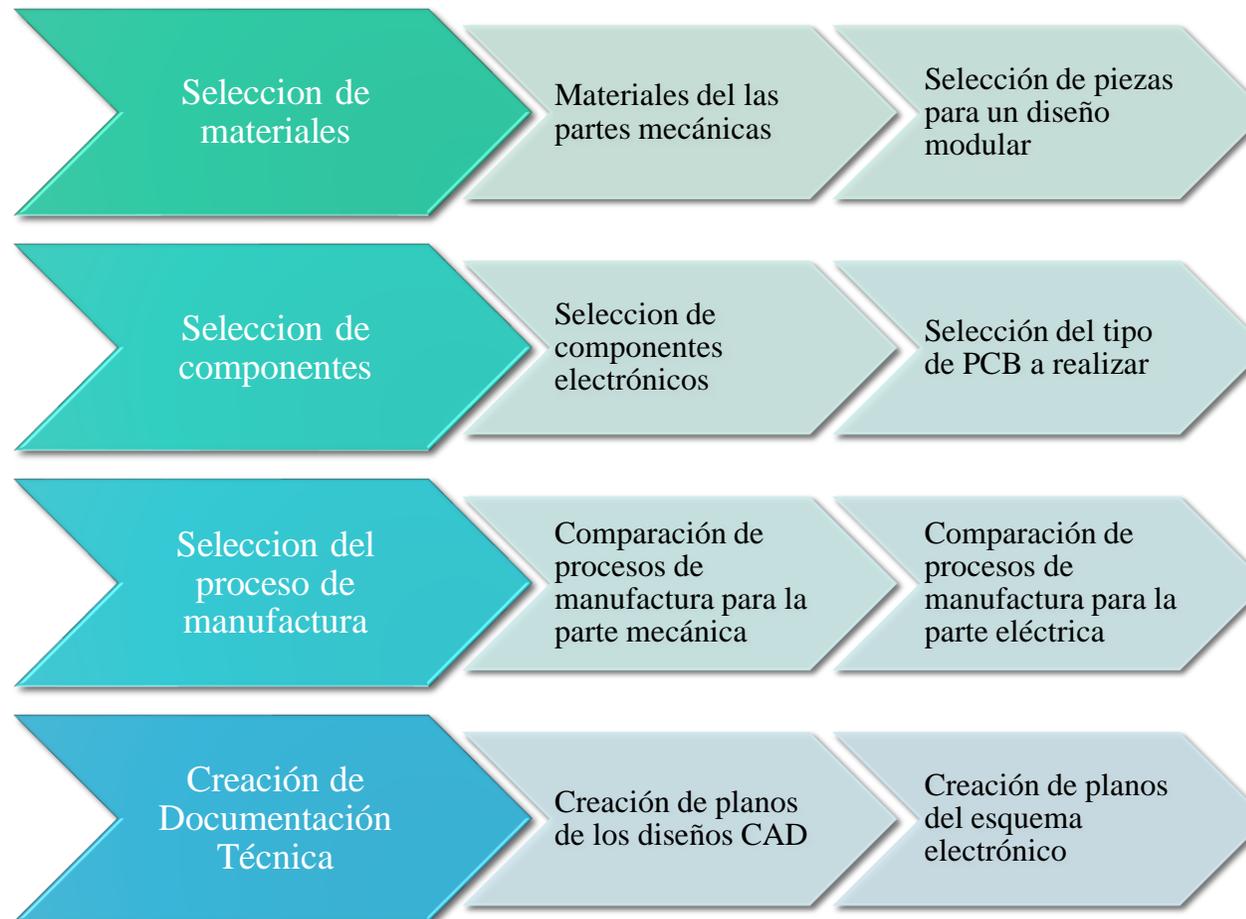
## Pesos específicos de cada criterio



Criterio	Facilidad de Uso	Robustez	Ergonomía	Facilidad de construcción y mantenimiento	Gran parecido al sistema real	Software y Hardware Adaptable	$\Sigma$	Pondera
<b>Facilidad de Uso</b>	0.5	0.5	0.5	1	0	1	3	0.27
<b>Robustez</b>	0.5	0.5	0.5	0	0	0.5	1.5	0.14
<b>Ergonomía</b>	1	0	0.5	0	0	0	1	0.09
<b>Fácil construcción y mantenimiento</b>	1	1	0.5	0.5	0	0	2.5	0.23
<b>Gran parecido al sistema real</b>	0.5	0	0.5	0	0.5	0	1	0.09
<b>Software y Hardware Adaptable</b>	0.5	0.5	0	1	0	0.5	2	0.18
						$\Sigma$	11	1



## Diseño a detalle





ELEMENTOS	APLICACIÓN	TIPO SELECCIONADO
Plug de conexión USB	Conexión entre la antorcha sensorizada y la computadora	Plug hembra de USB tipo A
Tornillos para ajuste de las placas PCB	Ajuste de las placas a las partes físicas de la antorcha	Tornillos M3, estándares de sino de PCB - Normas IPC
Cables de conexión entre la placa y los sensores	Comunicación entre los sensores y la placa principal	Cables de para protoboard de tipo hembra - hembra
Pulsador para el gatillo de la antorcha	Dar la señal eléctrica cuando el gatillo sea presionado	Pulsador normalmente abierto de uso general
Pantalla para el Casco	Visualizar la interfaz de realidad aumentada	Pantalla de comunicación por puerto HDMI de 5 pulgadas
Cámara para el Casco	Recoger las imágenes del ambiente	Cámara web USB Full HD
Tornillos para el ajuste de las piezas fabricadas	Ajuste de las piezas o módulos de los que consta la antorcha y el Casco	Tornillos y tuercas M4 de fácil adquisición

Selección de partes fabricadas aplicadas al proyecto



Pesos Específicos de elementos para el simulador

Elementos	Casco	Antorcha	Cilindro protector de gas	Pieza de Trabajo	Generador de Arco	Carrete de alambre	$\Sigma$	Pondera
Casco	1	0.5	0.5	1	0.5	0	3	0.23
Antorcha	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	3	0.23
Cilindro protector de gas	0	0.5	1	0	0.5	0	1	0.08
Pieza de Trabajo	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	3	0.23
Generador de Arco	0.5	0	0.5	0	1	0.5	1.5	0.12
Carrete de alambre	0.5	0.5	0	0.5	0	1	1.5	0.12
						$\Sigma$	13	1



### 3. Diseño Mecánico, eléctrico y de control del sistema

---

#### Diseño CAD y CAE

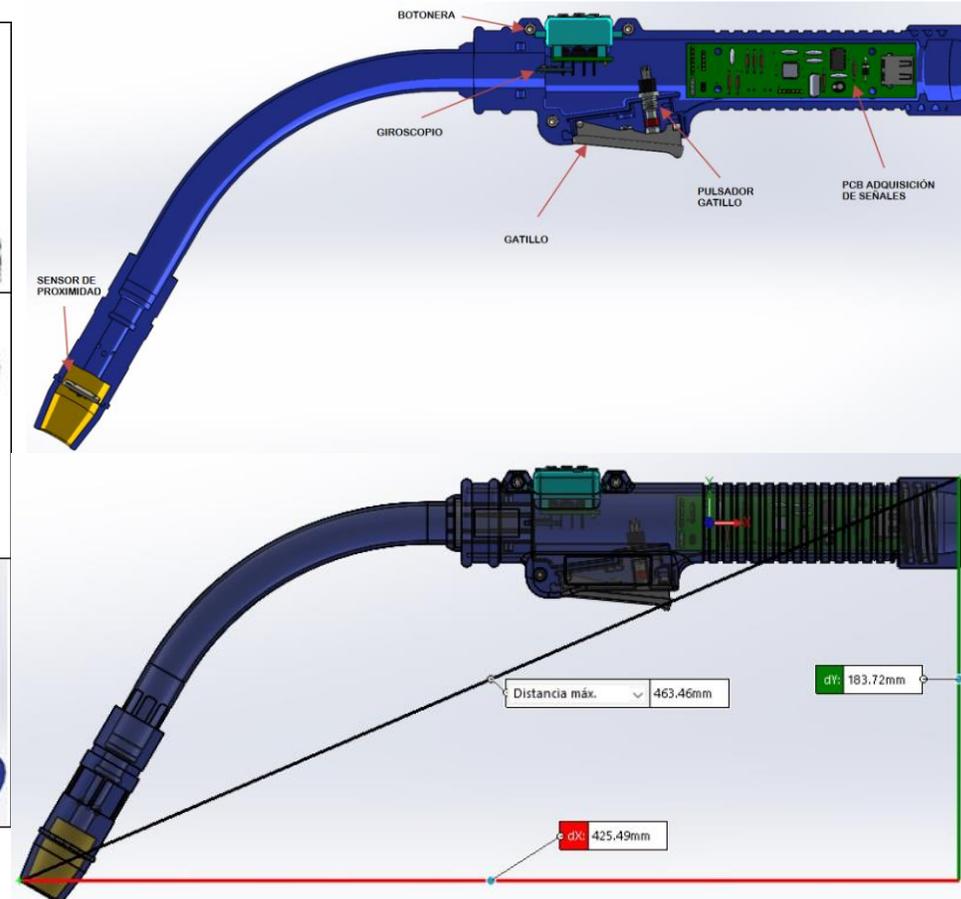
- Antorcha
- Soporte de Casco
- Piezas de trabajo

#### Diseño Eléctrico

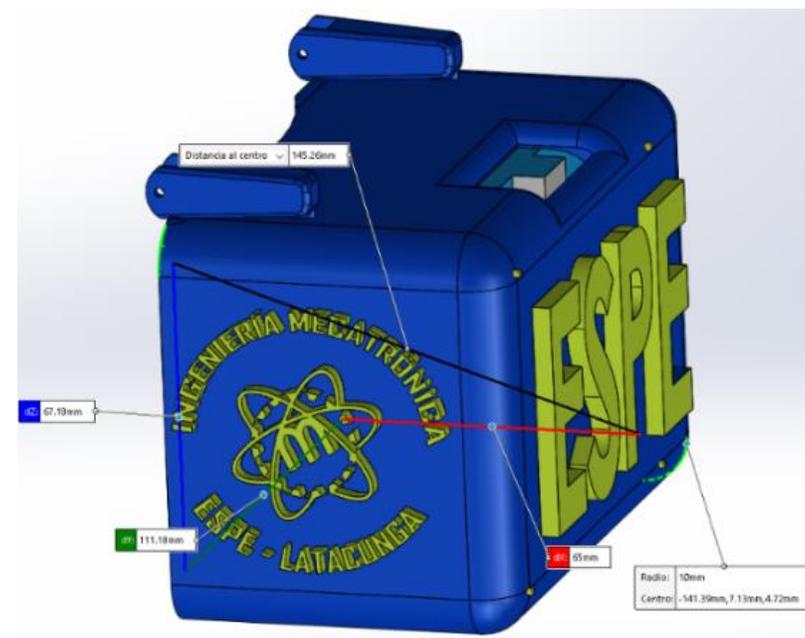
- Conversión de Protocolo TTL a USB
- Control de microcontrolador
- Alimentación Energética del sistema
- Conexión con la CPU
- Adquisición de Datos
- Diseño de los Circuito Impresos PCB

# Antorcha

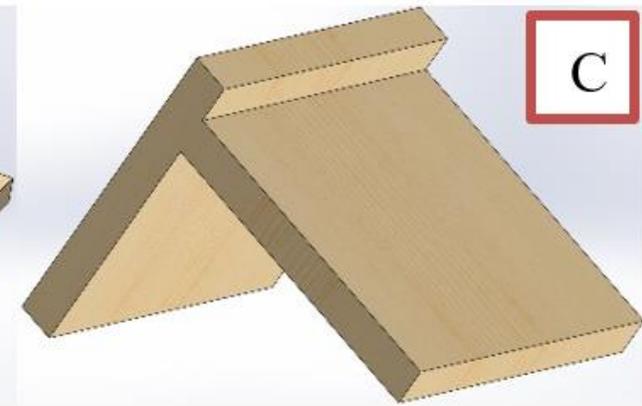
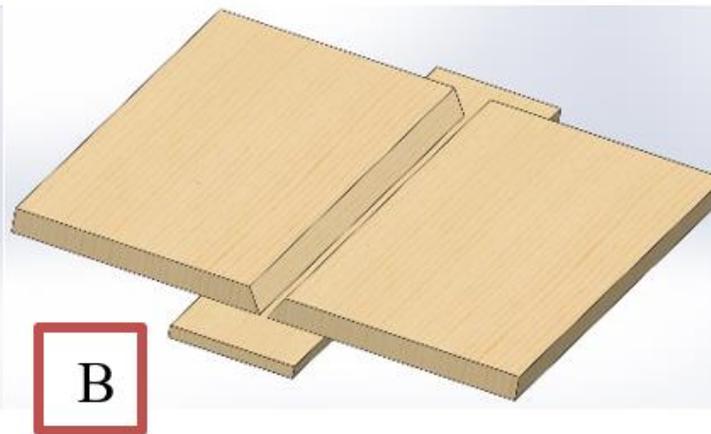
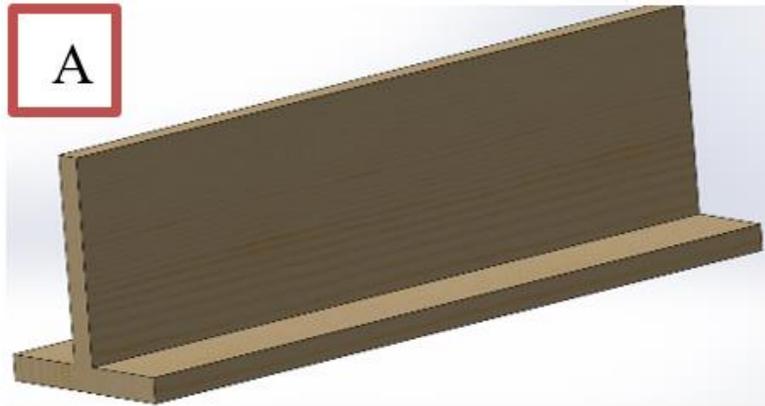
<p>ANTORCHA K2655-2 MAGUM PRO-550 (REAL)</p>	
<p>ANTORCHA K2655-2 MAGUM PRO-550 (MODELO CAD)</p>	
<p>PROTOTIPO ANTORCHA MODULO DE ENTRENAMIENTO</p>	



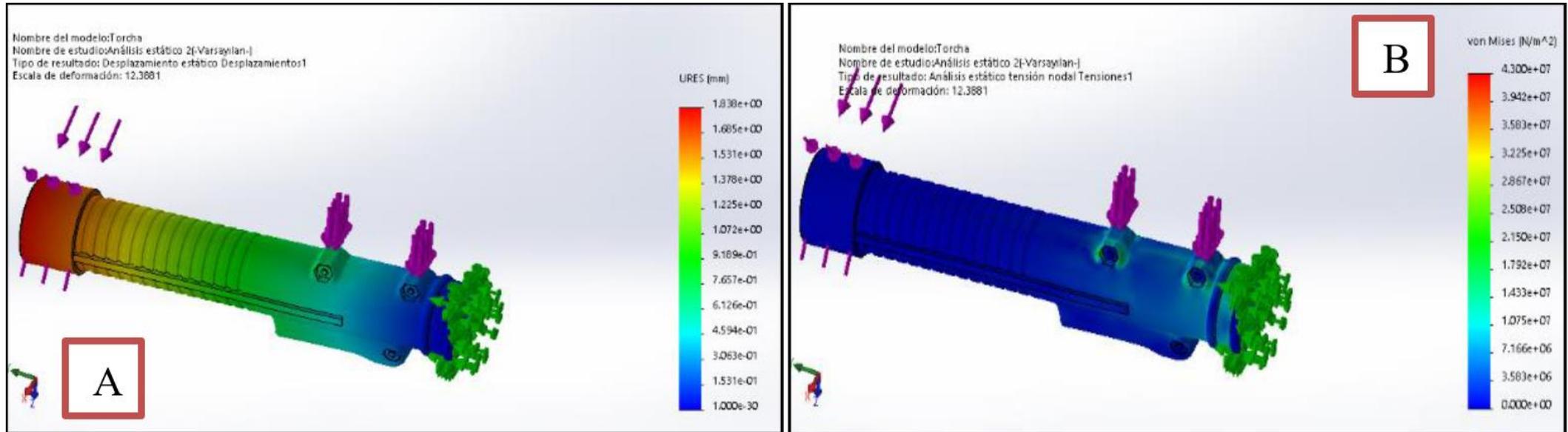
## Ubicación de componentes electrónicos sobre el Casco



*Uniones A) en T ,B) a tope y C) en esquina*

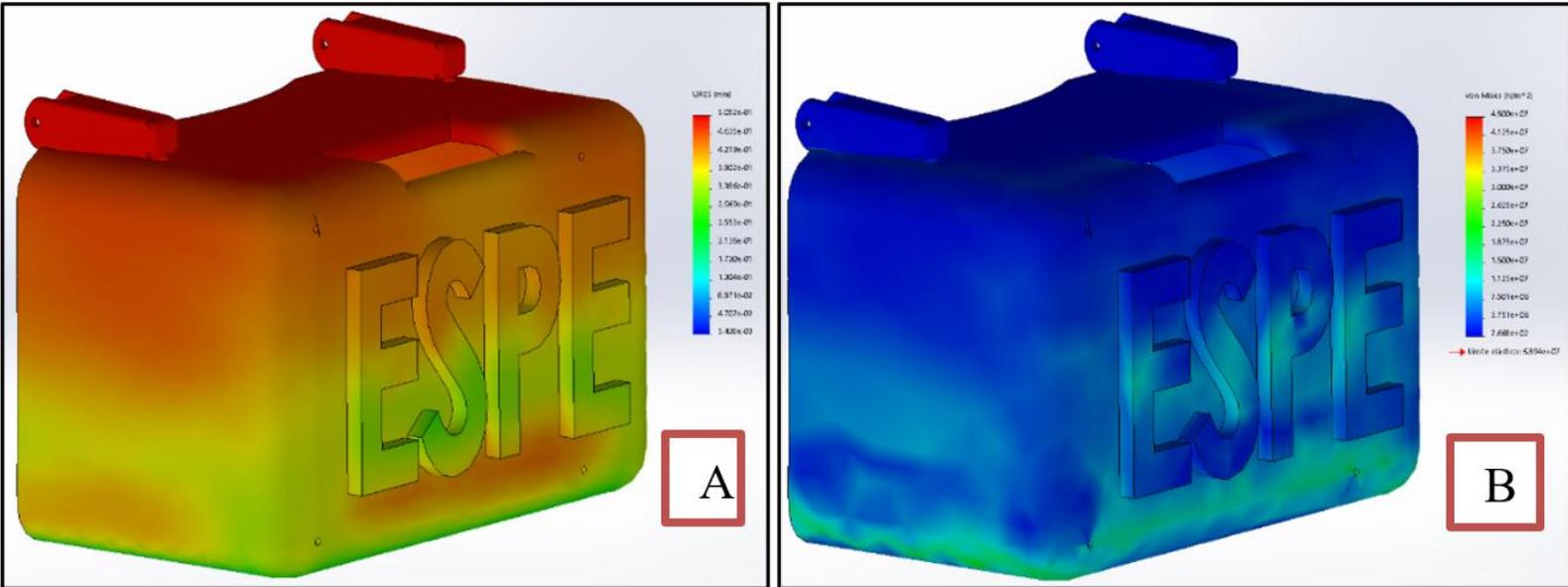


**A) Análisis de deformación, B) Análisis de Tensión de Von Mises**



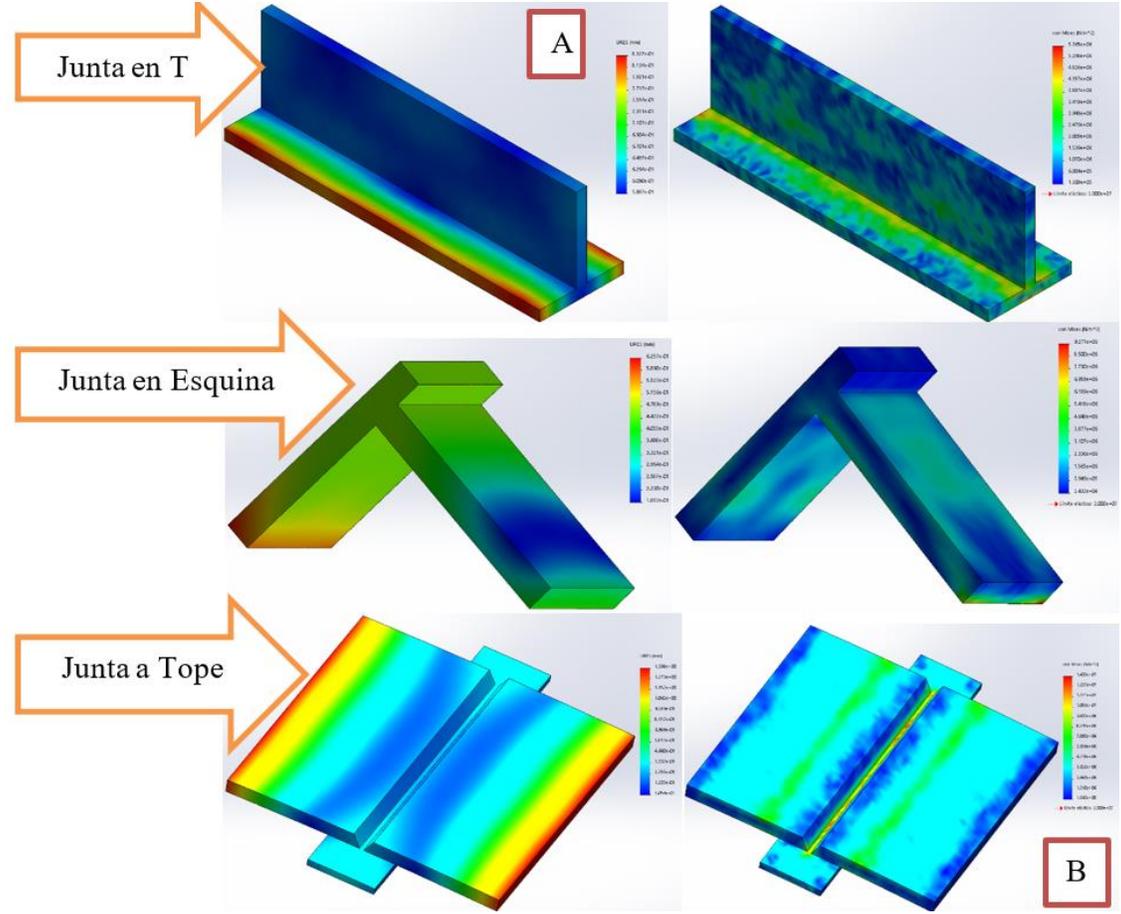
$$N = \frac{68.65 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{4.3 \times 10^7 \frac{N}{m^2}} = 1.59$$

**A) Análisis de deformación, B) Análisis de Tensión de Von Mises**



$$N = \frac{68.65 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{4.5 \times 10^7 \frac{N}{m^2}} = 1.53$$

**Columna A) Análisis de deformación, Columna B) Análisis de Tensión de Von Mises**



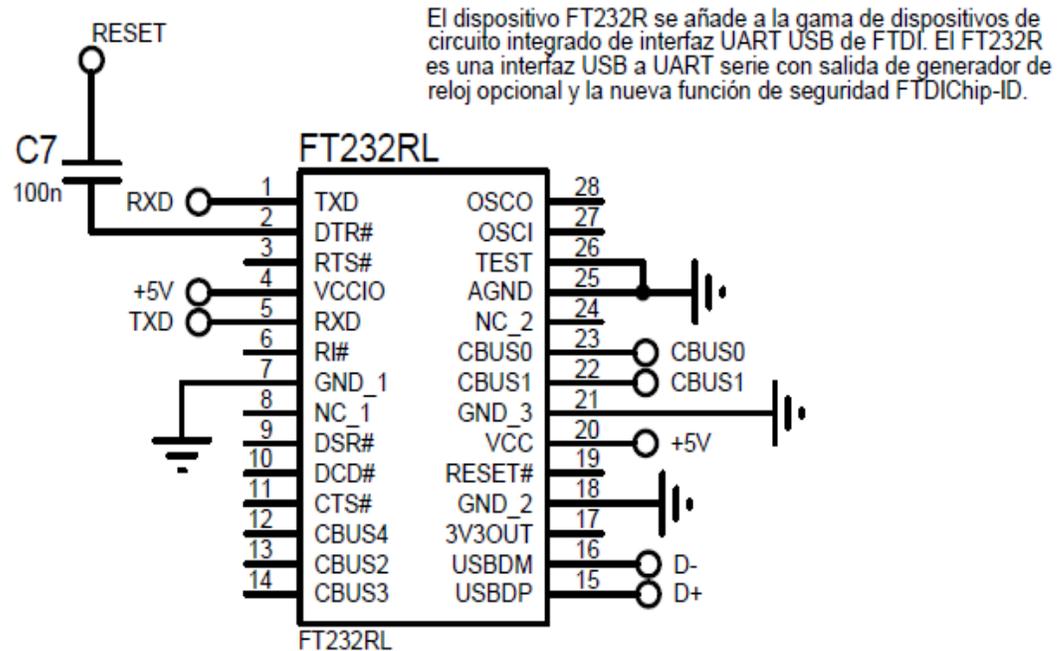
$$N = \frac{8.06 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1.403 \times 10^7 \frac{N}{m^2}} = 574.48$$

***División de subsistemas de la parte electrónica del proyecto***

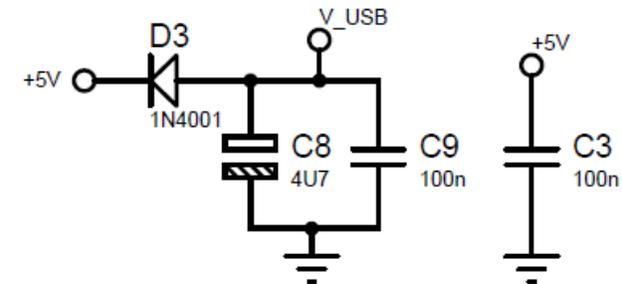


## Esquemático del subsistema de conversión del protocolo TTL a USB

### Convertor de protocolo TTL a USB

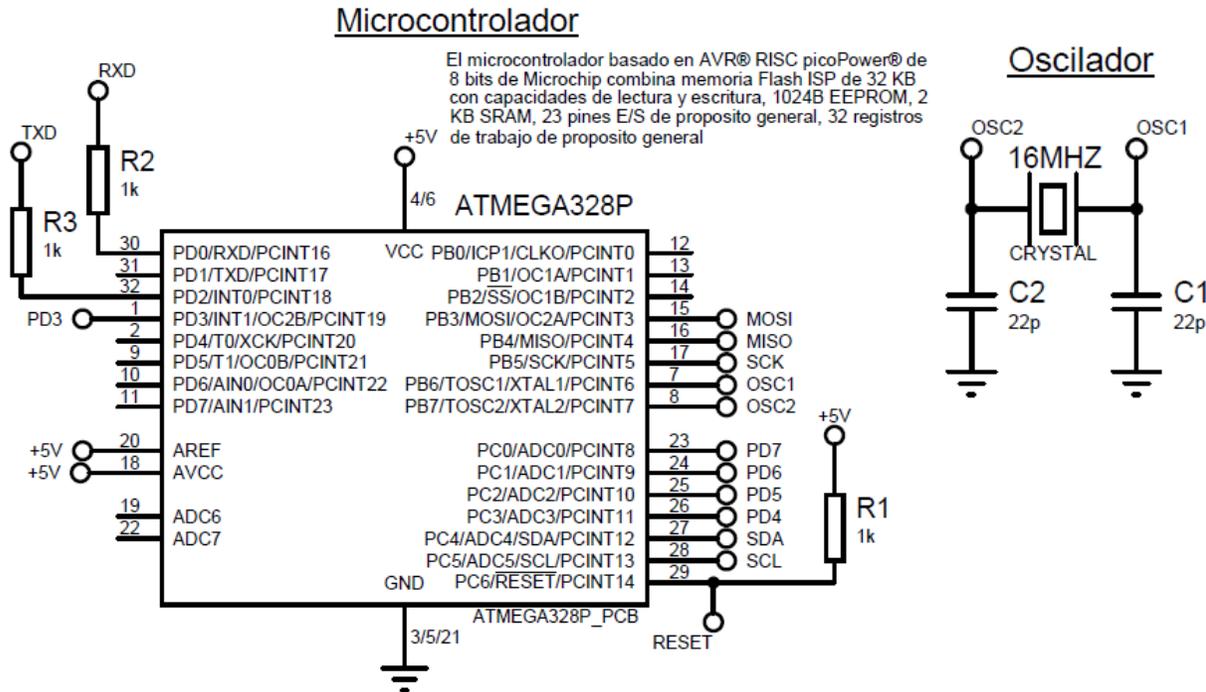


### Alimentación

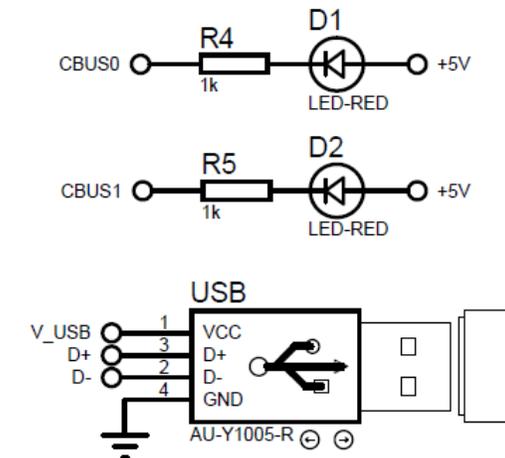


### Subsistema de alimentación

## Subsistema del microcontrolador



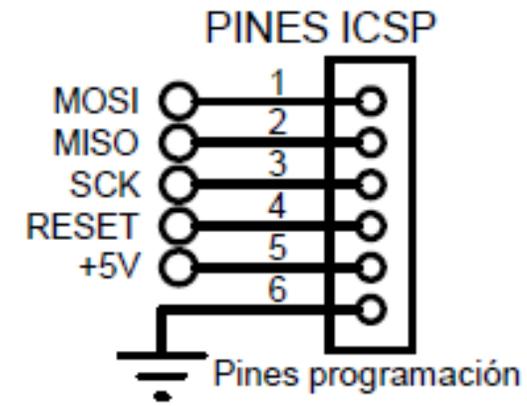
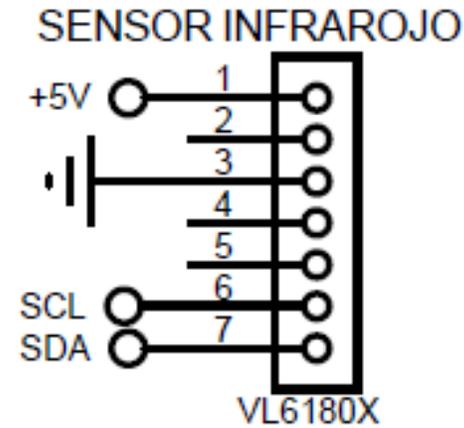
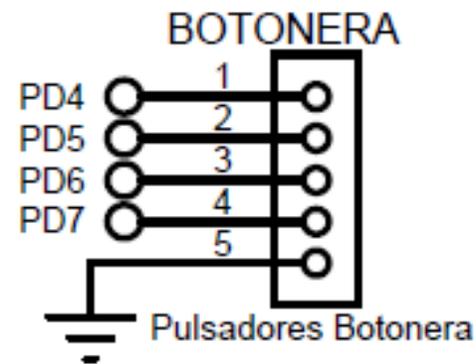
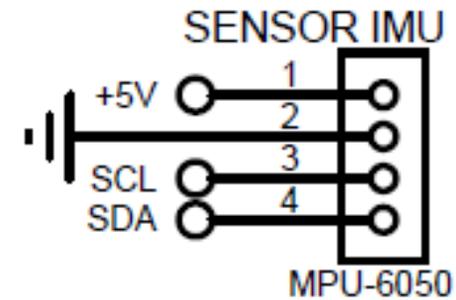
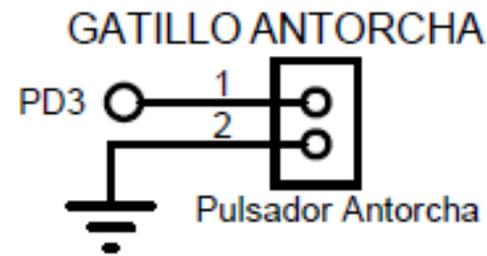
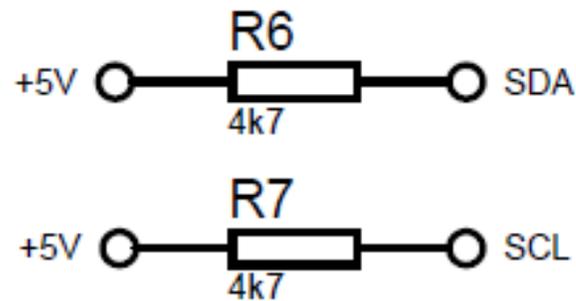
### Conexión Usb y señalización



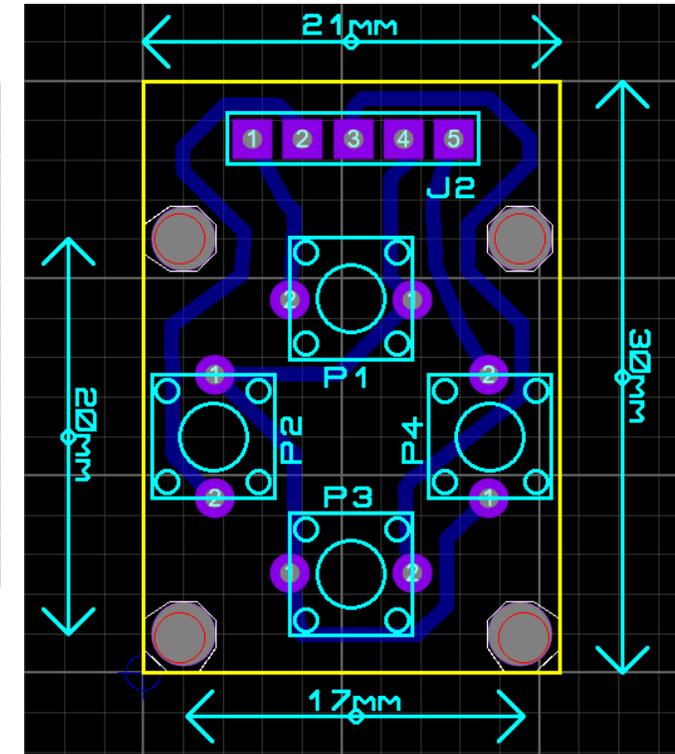
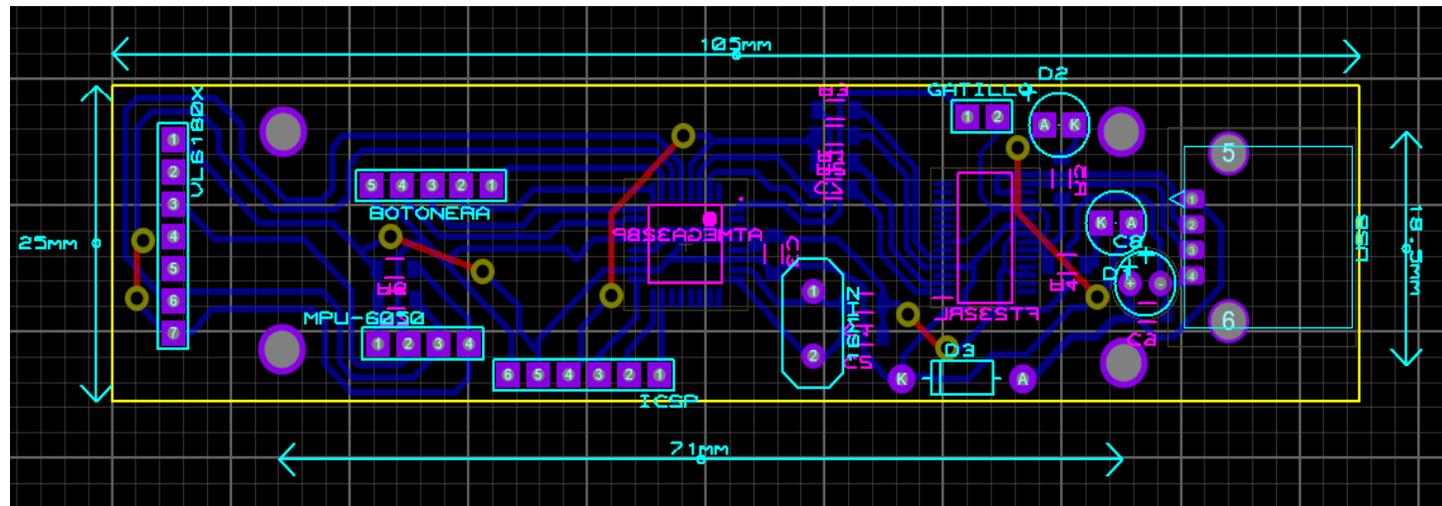
**Esquema de conexión del plug hembra USB y leds de señalética**

**Subsistema de adquisición de datos**

Comunicación de sensores por I2C, programación ICSP

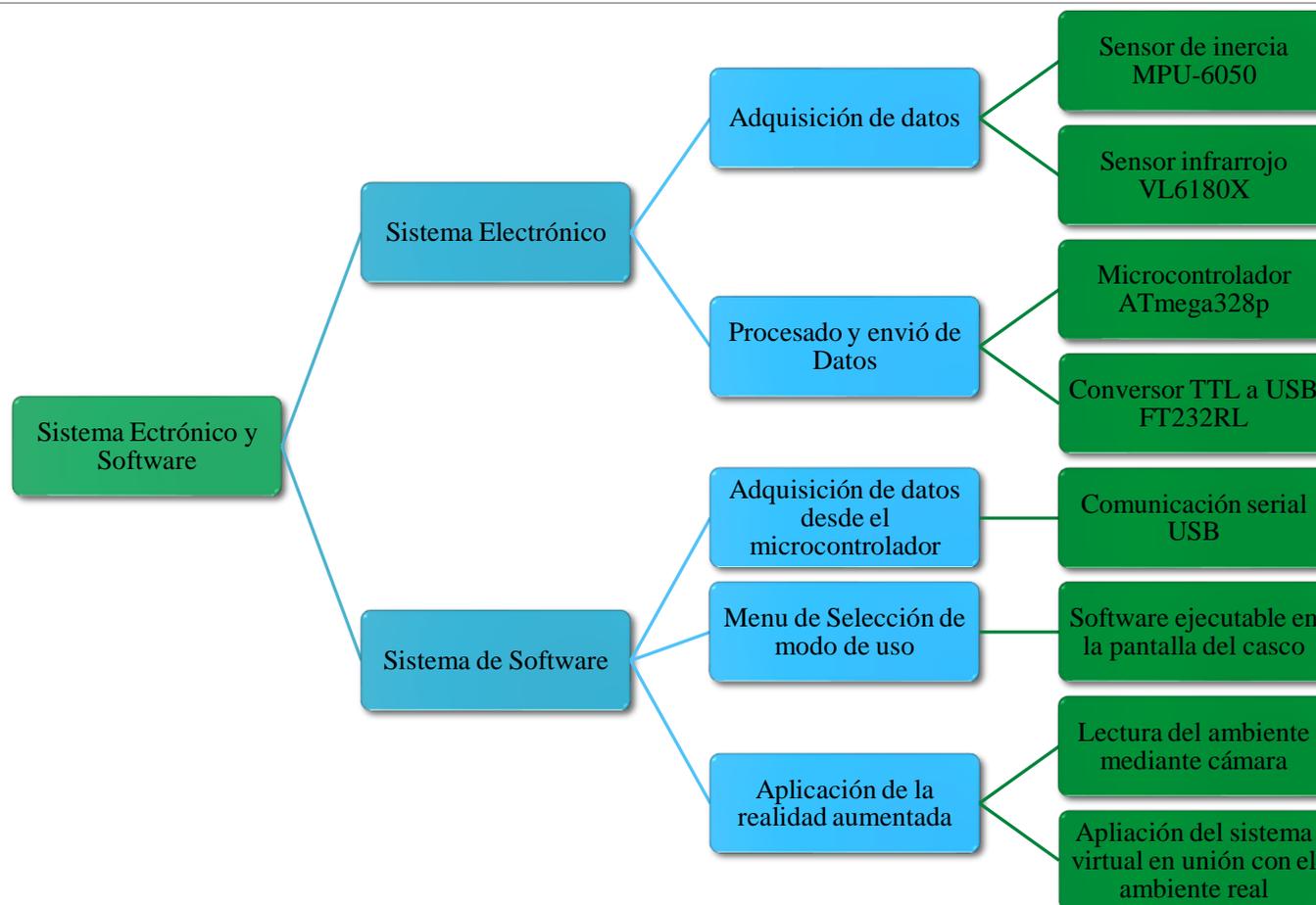


### Diseño del circuito impreso PCB principal a una sola capa



Diseño del circuito impreso PCB de la botonera a una sola capa

## Esquema de funcionamiento de los sistemas electrónicos y de software

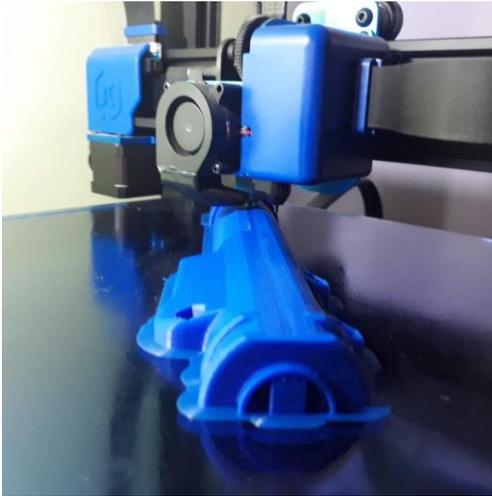


## Construcción, Pruebas y Resultados



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

### Proceso de impresión de los mangos (izquierdo y derecho)



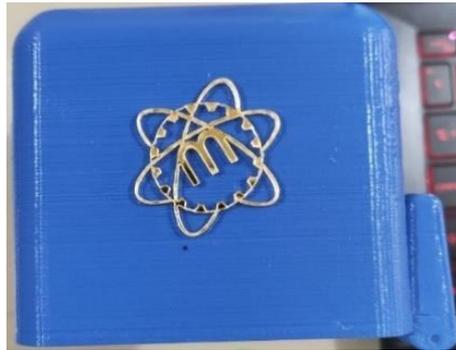
*Carcasa de antorcha ensamblada vista desde diferentes ángulos*

*Construcción, Pruebas y Resultados*

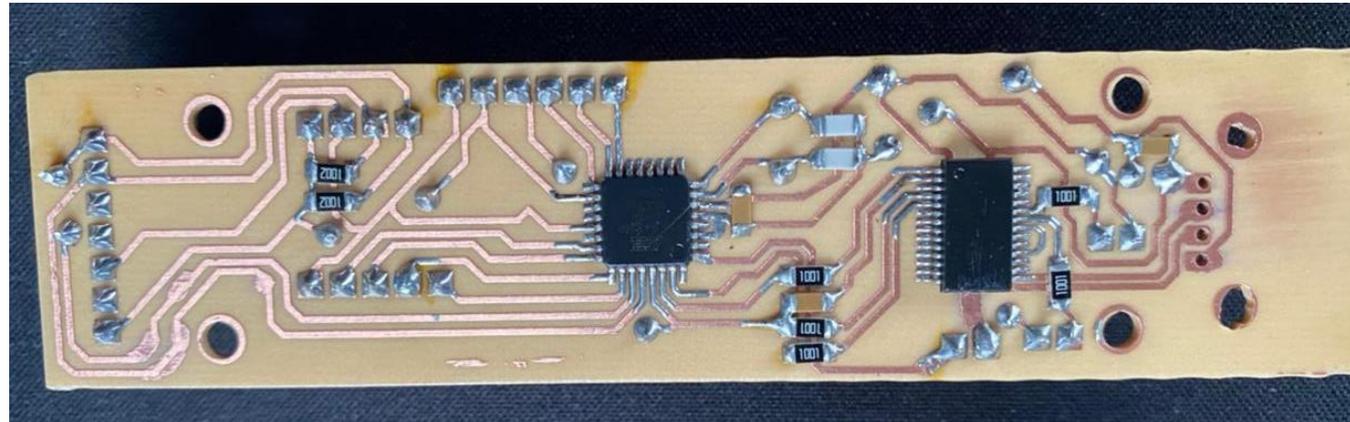


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

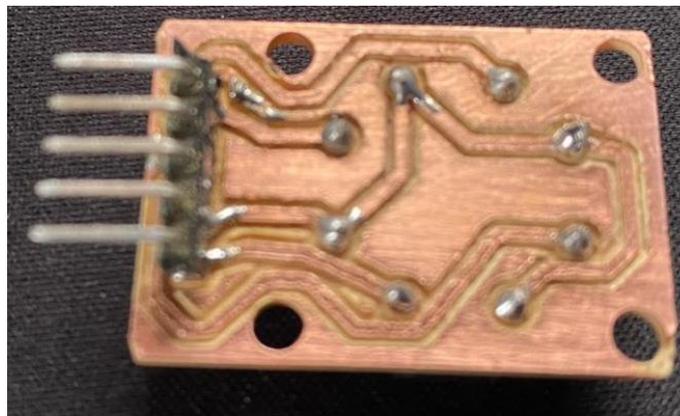
*Casco, Proceso de corte a laser y ubicación de letras en el visor*



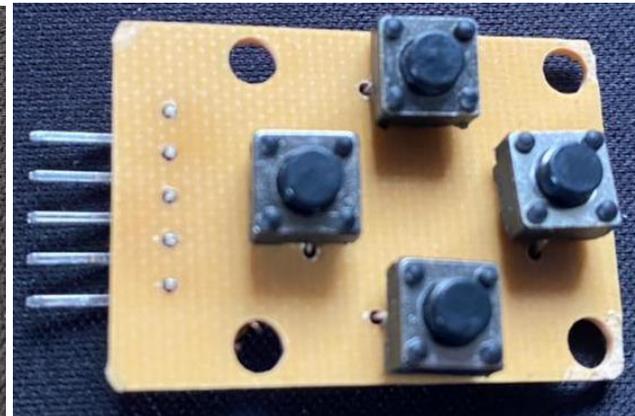
*Circuito impreso PCB principal vista inferior*



*Circuito impreso PCB de la botonera vista inferior*



*Circuito impreso PCB de la botonera vista superior*

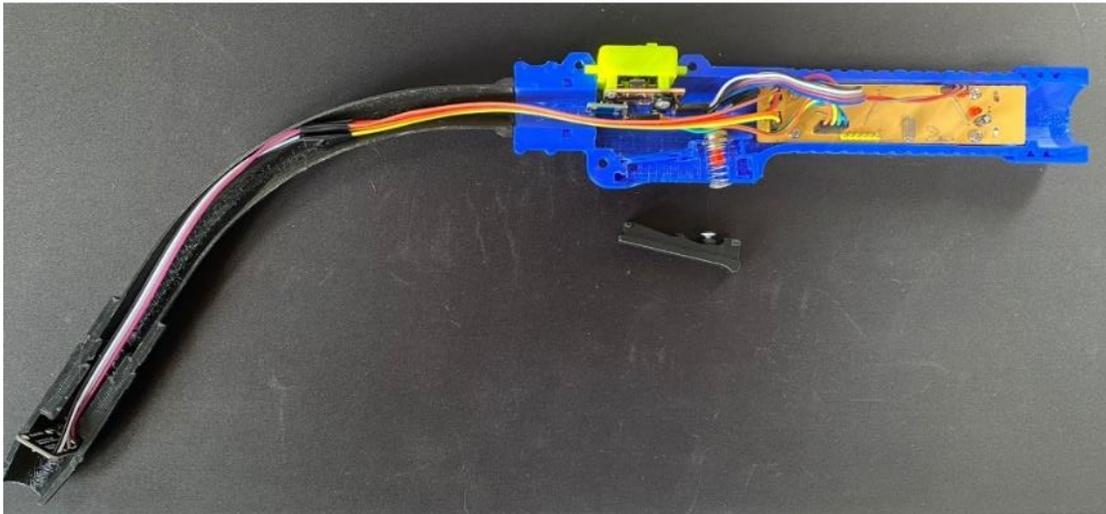


## Construcción, Pruebas y Resultados



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

### *Antorcha vista interior y ensamblada por completo*



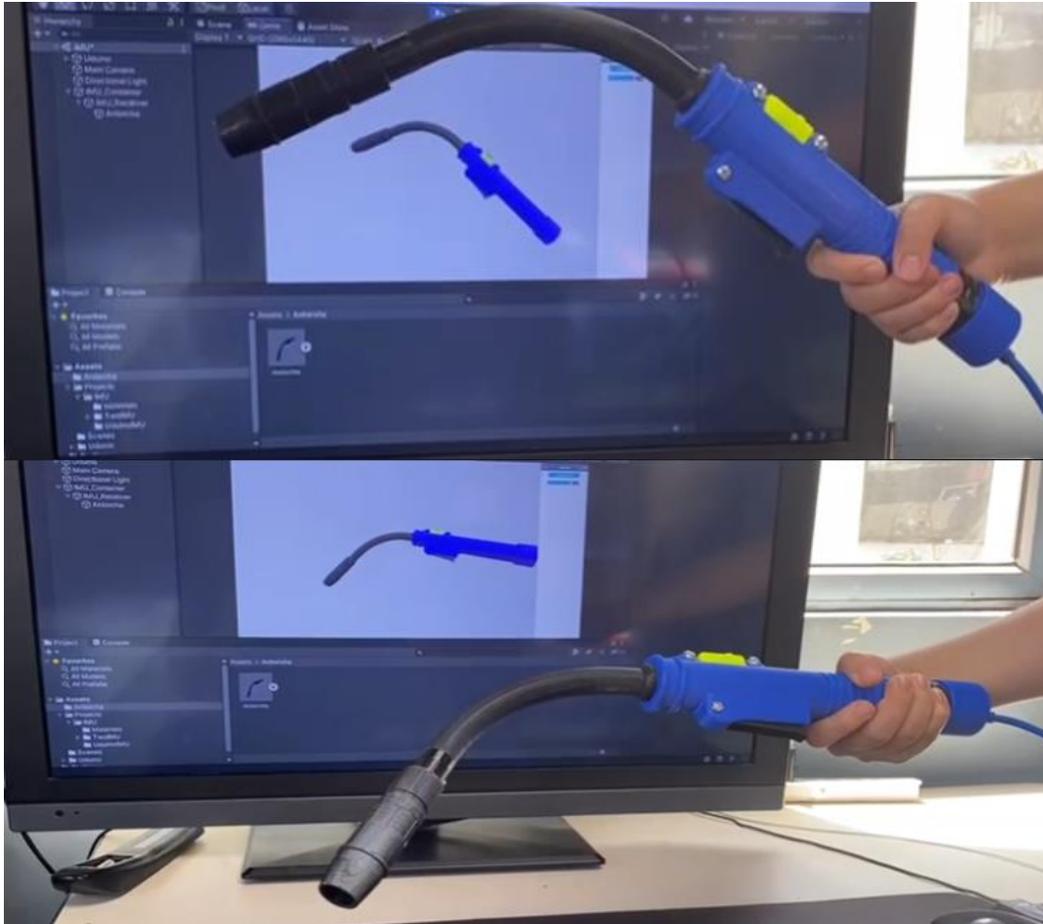
## **Funciones de la librería Uduino para el entorno de programación de Arduino**

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
Uduino uduino(const char* boardName)	Crea un objeto uduino. Solo puede haber un objeto Uduino por secuencia de comandos.
void addCommand(const char* commandName, void* function)	Registre un comando que pueda ser activado desde el entorno de Unity
bool isConnected()	Detecta si hay una placa conectada. Para optimizar el código, ponga la función principal en esta condición
void delay(unsigned int duration)	Función de retardo personalizada que interrumpirá la lectura de los mensajes entrantes
void update()	Esta función debe estar en el bucle principal.
void readSerial()	Llamada interna a la función "update()"

## **Funciones de la librería Uduino para el entorno de Unity**

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
void pinMode(int pin, PinMode mode)	Cree un nuevo pin digital y configure el modo si el pin no está registrado.
void pinMode(AnalogPin pin, PinMode mode)	Crea un pin analógico y configure el modo.
void sendCommand(string command, params object[] value)	Enviar un comando personalizado al Arduino.
void digitalWrite(int pin, State state=State.LOW, string bundle=null)	Escribir un valor digital en un pin
void digitalRead(int pin, string bundle=null)	Lectura de un valor digital (por ejemplo, un botón)
void analogWrite(int pin, int value, string bundle=null)	Escribir un valor analógico desde el Unity al Arduino

## Estimación de Pose



$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{A_x}{A_y}\right)$$

$$\theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right)$$

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right)$$

$$\theta_z = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z}\right)$$

## Construcción, Pruebas y Resultados



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

### Navegación por los botones de la interfaz de Unity

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA PARA AYUDAR A MEJORAR LA DESTREZA EN EL PROCESO DE SOLDADURA MIG DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA.

Tutor:  
Msc. Andrés Gordon

Autores:  
Bryan Paúl Torres Salazar  
Jorge Andrés Veloz Mena



INICIO EXIT

 **ESPE** Sede Latacunga  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**INSTRUCCIONES**  
Información sobre las funcionalidades del sistema completo y cada una de las etapas del sistema.

**ENTRENAMIENTO**  
Modo de práctica del sistema para soldadura MIG mediante la antorcha y el caso sensorizados.

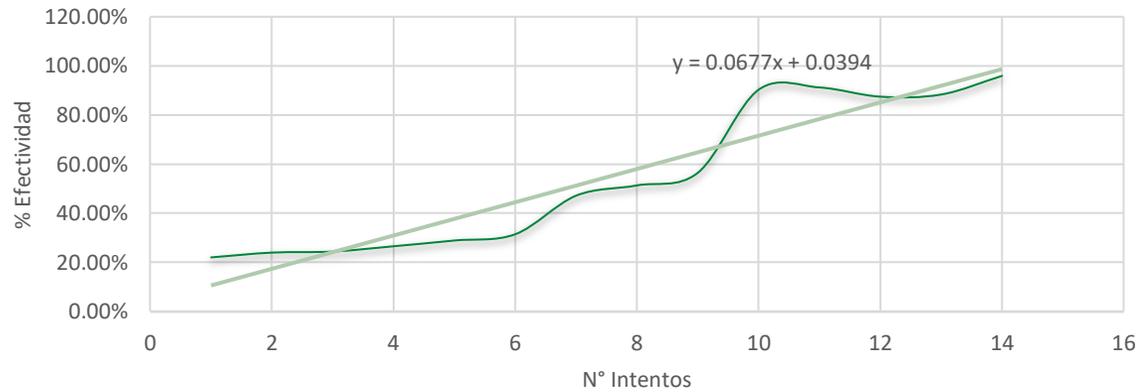
**EVALUACIÓN**  
Modo de evaluación de los parametros de soldadura practicados durante las prácticas del modo entrenamiento.

EXIT

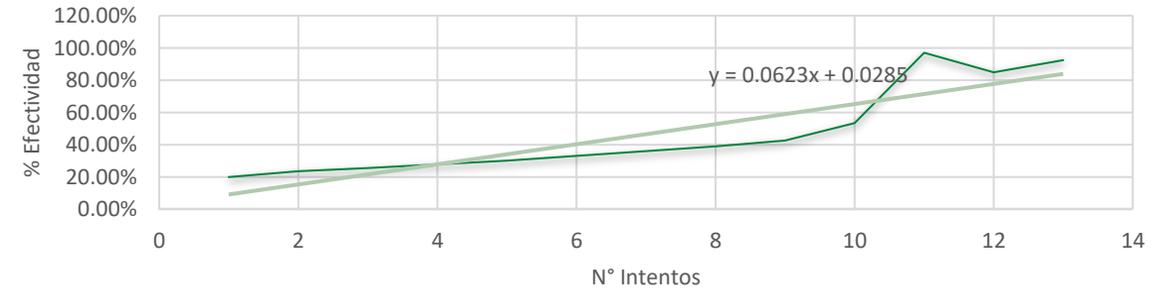


### Curvas de Aprendizaje Obtenidas

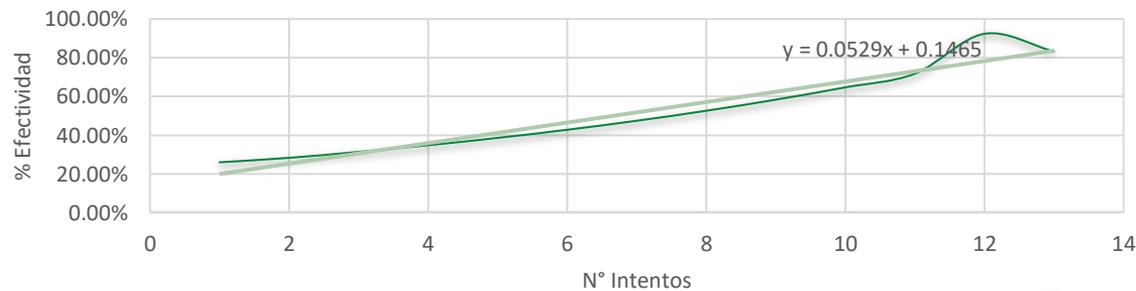
% Efectividad vs Intento - Estudiante 1



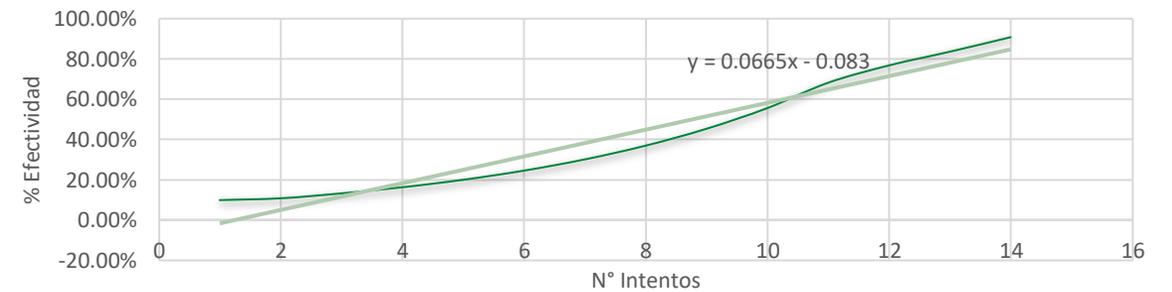
% Efectividad vs Intento - Estudiante 2



% Efectividad vs Intento - Estudiante 3



% Efectividad vs Intento - Estudiante 4



## Construcción, Pruebas y Resultados



### Pendiente de regresión en relación con el número de intentos

Usuario	Intento(x)	Pendiente(b)
1	10	2.25
2	11	2.05
3	12	1.88
4	14	1.61

Usuario	Pendiente(b)	Tasa de aprendizaje (b/a)
1	2.25	1.61
2	2.05	1.46
3	1.88	1.34
4	1.61	1.15
	Promedio	1.39

**Tasa de Aprendizaje**

## *Validación de la Hipótesis*

---

*$Sig_{simulador} > \alpha$ , acepte  $H_0$  (rechace  $H_1$ )*

*$Sig_{simulador} \leq \alpha$ , rechace  $H_0$  (acepte  $H_1$ )*

*$0.0435 \leq 0.05$ , rechace  $H_0$  (se acepte  $H_1$ )*

## ***Conclusiones***

---

- La realidad aumentada ha ido creciendo en usuarios en misma medida en que la tecnología ayuda a facilitar el desarrollo de procesos antes exclusivamente físicos, como pasa con la soldadura; mediante la recopilación de datos realizado en este trabajo se van presentado cada vez más implementaciones de simuladores de soldadura que buscan diferentes objetivos cada uno, pero acercándose más a simuladores más reales e intuitivos para personas que conocen de estos procesos.
- El simulador de soldadura desarrollado cuenta con una integración amigable para el usuario, que con el uso de botones permite realizar una fácil navegación por los distintos menús, combinado con unas pantallas de menú simple con pocos botones y selecciones claras, dejan a los usuarios realizar las prácticas de una manera más sencilla, esto acompañado del diseño de los cordones de soldadura dejan una agradable experiencia a la hora de usar el simulador.

## **Conclusiones**

---

- El correcto acoplamiento de los diversos sistemas de Hardware y Software se realizan de manera satisfactoria por la integración de equipos de hardware que utilizan el mismo protocolo de comunicación mediante conexión USB, para la cámara y el sistema microcontrolador, esto ayuda a que el trabajo realizado por la interfaz gráfica sea más fluido, lo que da una mejor portabilidad y con esto al implementar una pantalla con conexión HDMI con el computador da lugar a un sistema más robusto con un fácil acoplamiento a cualquier equipo que desea ejecutar el software.
- Por medio de la diversidad de datos obtenidos de las pruebas se concluye que el motor gráfico de Unity puede ser una importante herramienta en el proceso de diseño e implementación de sistemas educativos para poder adentrarse en el mundo de la realidad mixta, y así poder llevar a cabo mejores sistemas y formas de enseñanza involucrando más a los estudiantes.

## ***Conclusiones***

---

- En base a las pruebas realizadas con el simulador de soldadura; se evidencia un desarrollo en el porcentaje de efectividad de dichas pruebas, cuya calificación tiene una mejora significativa de un 37.98% en base a los resultados del participante sin conocimientos previos en el área de soldadura, por lo que se concluye un apreciable avance por medio de la repetición de las prácticas utilizando el simulador.
- Por medio de la comparación entre los resultados obtenidos de cada uno de los participantes se aprecia una mejoría en el porcentaje de efectividad a la hora de realizar la evaluación de soldadura, pero por la ponderación realizada a la hora de obtener este porcentaje, se puede concluir que uno de los aspectos que marca más la mejora general percibida es principalmente en el aspecto teórico de las evaluaciones.



## Recomendaciones

---

- Para mejorar la fiabilidad del sistema emplear sensores con menor tolerancia y con una mayor resistencia al ruido eléctrico.
- Usar un filtro pasa bajos para evitar que las variaciones de voltaje afecten a la medición de los sensores y mantenga la alimentación del microcontrolador estable.
- Para mejorar el rendimiento gráfico y de destreza motora se recomienda el uso de un software de realidad aumentada con mayor rendimiento en cuanto al motor gráfico se refiere, permitiendo al usuario una mejor experiencia de realidad aumentada y de poder usar una pantalla con mayor definición para mejorar la experiencia del usuario.



**GRACIAS**