



**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.**

Torres Salazar, Bryan Paul y Veloz Mena, Jorge Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

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

Msc. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

16 de febrero del 2022



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“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.”** fue realizado por los señores **Torres Salazar, Bryan Paul y Veloz Mena Jorge Andrés** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 16 febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:  
**ANDRES MARCELO  
GORDON GARCES**

.....

**Msc. Gordón Garcés, Andres Marcelo**

C.C.:1803698800

## REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDOS



TESIS.pdf

Scanned on: 15:32 February 14, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	978
Words with Minor Changes	370
Paraphrased Words	908
Ommited Words	2783



Website | Education | Businesses

Firmado electrónicamente por:  
ANDRES MARCELO  
GORDON GARCES

Msc. Gordón Garcés, Andres Marcelo

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Torres Salazar, Bryan Paul**, con cédula de ciudadanía N°1804635215 y **Veloz Mena Jorge Andrés**, con cédula de ciudadanía N°1804742854, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**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.**” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 16 febrero del 2022

.....  
**Torres Salazar, Bryan Paul**

C.C.: 1804635215

.....  
**Veloz Mena, Jorge Andrés**

C.C.: 1804742854



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, **Torres Salazar, Bryan Paul**, con cédula de ciudadanía N°1804635215 y **Veloz Mena Jorge Andrés**, con cédula de ciudadanía N°1804742854, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“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.”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 16 febrero del 2022

.....

**Torres Salazar, Bryan Paul**

C.C.: 1804635215

.....

**Veloz Mena, Jorge Andrés**

C.C.: 1804742854

### **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mi madre Paulina y a mis hermanos Juan José, Kevin Ricardo y Ana Paula quienes siempre me han acompañado durante el transcurso de toda mi carrera brindándome su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos con palabras de alientos y acciones llenas de bondad y amor. Quiero agregar que el esfuerzo que ha hecho día a día mi madre ha sido clave para cumplir este objetivo, ella es mi ejemplo a seguir pues siempre ha sabido salir adelante ante cualquier adversidad, espero algún día llegar a ser una persona tan fuerte, luchadora e increíble como ella, por tal motivo este trabajo lo he realizado de todo corazón para ti mamita querida.

**Torres Salazar, Bryan Paul**

### **Dedicatoria**

Dedico el trabajo realizado con mucho cariño y esfuerzo a mi familia que siempre estuvo apoyándome para poder llegar a cumplir mis metas, a mis hermanos Sebastián y María Emilia quienes con mi madre Marianela siempre confiaron en mí y me ayudaron a recorrer todo este camino, que entre risas y penas, me ha formado hasta convertirme en la persona que soy ahora y por eso y mucho más les agradezco.

**Veloz Mena, Jorge Andrés**

### **Agradecimiento**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme la oportunidad de vivir esta increíble experiencia y a mi amada familia por toda la confianza, el apoyo puesto en mí desde muy pequeño y por enseñarme a jamás rendirme ante ninguna adversidad. En segundo lugar, agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mi alma mater, a todos y cada uno de su cuerpo docente que siempre supieron guiarme la de mejor manera hasta alcanzar este objetivo.

También, quiero agradecer a mi tutor Andrés Gordón quien a pesar de la distancia debido a esta época de pandemia supo brindarnos el soporte necesario durante todo el desarrollo de este proyecto con su conocimiento.

Finalmente, quiero agradecer a toda la familia mecatrónica y en especial a mi grupo de amigos Andrés, Álvaro, Paúl y Karen con quienes pase muchas horas de mi carrera universitaria conviviendo, muchas veces fallando y otras venciendo, pero siempre aprendiendo de esta maravillosa carrera, sin su apoyo no lo hubiera logrado muchachos, gracias totales.

**Torres Salazar, Bryan Paul**



### **Agradecimiento**

Deseo expresar un sincero agradecimiento a mi familia por sus ánimos y ayuda a la hora de enfrentar los obstáculos que surgieron en el camino, los cuales fueron el inicio de superaciones y avances, tanto para el proyecto como para mí.

Un profundo agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga que me vio crecer y formarme como profesional, y a todos los docentes que, durante el camino, no solo fueron brindándome de conocimiento, sino de sus experiencias personales y motivaciones; las cuales fueron de ayuda para cultivarme como mejor persona en diversos aspectos de mi vida y así poder convertirme en un buen profesional para el país.

Por último, pero no menos importante expreso un agradecimiento a todos nuestros compañeros que entre alegrías y tristezas nos acompañaron hombro a hombro durante la carrera y, aunque muchos nos íbamos alejando al pasar de la carrera, nunca llegamos a separarnos; ya que aquellos con los que iniciamos esta gran etapa y todos los que nos fuimos encontrando en el camino, los llevamos en los recuerdos y las vivencias que permanecerán con nosotros hasta el final.

**Veloz Mena, Jorge Andrés**

**Tabla de contenidos**

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	8
Tabla de Contenidos.....	10
Índice de Tablas.....	16
Índice de Figuras.....	18
Resumen.....	23
Abstract.....	24
Planteamiento del problema.....	25
Introducción.....	25
Planteamiento del Problema .....	25
Antecedentes.....	26
Definición y Justificación del Problema .....	28
Objetivos.....	30
<i>Objetivo General</i> .....	30
<i>Objetivos específicos</i> .....	30

Hipótesis.....	31
Variables de investigación .....	31
<i>Variables Independientes:</i> .....	31
<i>Variables Dependientes:</i> .....	31
Fundamentación teórica.....	32
Introducción.....	32
Proceso de Soldadura GMAW .....	32
<i>Normativa del Proceso de Soldadura</i> .....	33
<i>Tipos de Juntas</i> .....	35
<i>Proceso de Soldadura MIG</i> .....	37
<i>Parámetros de Soldadura</i> .....	38
Curva de Aprendizaje .....	38
Tecnologías Inmersivas.....	39
Realidad Virtual (RV) .....	40
Realidad Aumentada (RA).....	42
<i>La Realidad Aumentada en la Educación</i> .....	43
Realidad Mixta (RM).....	44
Motores Gráficos.....	46
<i>El motor Unity</i> .....	46
<i>AR Foundation</i> .....	47
<i>ARKit SDK</i> .....	48

<i>ARCore SDK</i> .....	48
<i>Easy AR</i> .....	49
Fronius Virtual Welding .....	50
<b>Diseño y selección de componentes</b> .....	<b>51</b>
Introducción.....	51
Conceptualización del proyecto .....	51
<i>Diseño de conceptos</i> .....	53
Diseño a detalle .....	55
<i>Selección de Materiales</i> .....	56
<i>Selección de Componentes</i> .....	58
<i>Selección del Proceso de Manufactura</i> .....	63
<i>Creación de la Documentación Técnica</i> .....	66
Consideraciones de diseño .....	66
Diseño mecánico del sistema (CAD) .....	67
<i>Antorcha</i> .....	68
<i>Soporte de Casco</i> .....	71
<i>Piezas de Trabajo</i> .....	73
Ingeniería asistida por computadora (CAE).....	74
<i>Antorcha</i> .....	74
<i>Soporte de Casco</i> .....	77
<i>Piezas de Trabajo</i> .....	78

Diseño electrónico.....	80
<i>Conversión de Protocolo TTL a USB .....</i>	<i>80</i>
<i>Control de microcontrolador .....</i>	<i>81</i>
<i>Alimentación Energética del sistema.....</i>	<i>82</i>
<i>Conexión con la CPU .....</i>	<i>83</i>
<i>Adquisición de Datos .....</i>	<i>84</i>
<i>Diseño de los Circuito Impresos PCB .....</i>	<i>85</i>
Manufactura e implementación del módulo de entrenamiento.....	87
Introducción.....	87
Manufactura y ensamble de elementos .....	88
<i>Manufactura y ensamble Antorcha.....</i>	<i>88</i>
<i>Manufactura del visor y ensamble Casco.....</i>	<i>91</i>
<i>Manufactura y ensamble Piezas de Trabajo .....</i>	<i>92</i>
<i>Manufactura PCB .....</i>	<i>93</i>
Implementación .....	95
Diseño del Entorno Virtual.....	98
<i>Instrumentación de sensores .....</i>	<i>98</i>
<i>Comunicación Entorno Físico – Unity.....</i>	<i>105</i>
<i>Adquisición y manejo de datos en Unity .....</i>	<i>106</i>
<i>Importación de modelos 3D .....</i>	<i>110</i>
<i>Implementación de la realidad aumentada en EASY AR.....</i>	<i>111</i>

<i>Diseño de interfaz de usuario</i> .....	112
<b>Pruebas y resultados</b> .....	119
Introducción.....	119
Recopilación de Datos .....	119
Pruebas de Funcionamiento .....	124
<i>Evaluación de los estudiantes</i> .....	125
Análisis de datos .....	129
<i>Pendiente de Regresión</i> .....	129
<i>Curvas de Aprendizaje Obtenidas</i> .....	130
<i>Tasa de Aprendizaje</i> .....	132
Validación de Hipótesis .....	132
<i>Hipótesis Estadística</i> .....	133
<i>Error aceptado</i> .....	134
<i>Prueba estadística</i> .....	134
<i>Normalidad</i> .....	134
<i>Significancia</i> .....	135
Análisis de Costos.....	136
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	137
Conclusiones .....	137
Recomendaciones .....	139
<b>Bibliografía</b> .....	140

**Anexos..... 148**

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Soluciones de las necesidades planteadas</i> .....	54
<b>Tabla 2</b> <i>Pesos específicos de cada criterio</i> .....	55
<b>Tabla 3</b> <i>Comparación de materiales disponibles para el desarrollo de las piezas mecánicas.</i> .....	57
<b>Tabla 4</b> <i>Selección de partes fabricadas aplicadas al proyecto</i> .....	58
<b>Tabla 5</b> <i>Selección del sensor de distancia adecuado para el proyecto</i> .....	59
<b>Tabla 6</b> <i>Selección del sensor IMU para su implementación en el proyecto</i> .....	60
<b>Tabla 7</b> <i>Selección del microcontrolador para el proyecto</i> .....	61
<b>Tabla 8</b> <i>Selección de los conversos del protocolo TTL a USB</i> .....	62
<b>Tabla 9</b> <i>Selección del tipo de diseño de las placas PCB</i> .....	63
<b>Tabla 10</b> <i>Comparación de procesos de manufactura para plástico PETG</i> .....	64
<b>Tabla 11</b> <i>Comparación de procesos de manufactura de circuitos impresos PCB</i> .....	65
<b>Tabla 12</b> <i>Pesos Específicos de elementos para el simulador</i> .....	67
<b>Tabla 13</b> <i>Funciones de la librería Uduino para el entorno de programación de Arduino</i> .....	106
<b>Tabla 14</b> <i>Funciones de la librería Uduino para el entorno de Unity</i> .....	107
<b>Tabla 15</b> <i>Datos obtenidos de la parte teórica de las pruebas realizadas a los participantes</i> .....	126
<b>Tabla 16</b> <i>Datos obtenidos de la inclinación en las pruebas realizadas a los participantes</i> .....	127
<b>Tabla 17</b> <i>Datos obtenidos de la proximidad en las pruebas realizadas a los participantes</i> .....	127
<b>Tabla 18</b> <i>Datos de tiempo obtenidos durante las pruebas prácticas realizadas a los participantes</i> .....	128



<b>Tabla 19</b> <i>Porcentaje de eficiencia obtenido mediante las evaluaciones a los participantes</i> .....	128
<b>Tabla 20</b> <i>Pendiente de regresión en relación con el número de intentos</i> .....	130
<b>Tabla 21</b> <i>Tasa de Aprendizaje</i> .....	132
<b>Tabla 22</b> <i>Tasa de aprendizaje obtenida por el simulador de soldadura</i> .....	133
<b>Tabla 23</b> <i>Descriptivos estadísticos de las muestras</i> .....	134
<b>Tabla 24</b> <i>Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk</i> .....	135
<b>Tabla 25</b> <i>Análisis de costos</i> .....	136

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Tipos de uniones para soldadura .....	35
<b>Figura 2</b> Diagrama ejemplo de equipos y dispositivos utilizados dentro de un entorno inmersivo.....	39
<b>Figura 3</b> Diagrama conceptual de un sistema de Realidad Aumentada.....	42
<b>Figura 4</b> El Magic Book y sus aplicaciones en materias de ciencias sociales .....	44
<b>Figura 5</b> Mapa de realidad según Inter (VR, AR, MR) .....	45
<b>Figura 6</b> Esquema explicativo de AR Foundation y los SDKs que lo conforman.....	47
<b>Figura 7</b> Funciones admitidas de AR Foundation dentro del entorno de Unity .....	49
<b>Figura 8</b> Sistema de soldadura Fronius .....	50
<b>Figura 9</b> Necesidades para el aprendizaje de soldadura mediante un sistema de simulación .....	51
<b>Figura 10</b> Gráfica de Proceso del diseño a detalle del sistema .....	56
<b>Figura 11</b> Comparación visual de Antorchas.....	68
<b>Figura 12</b> Ubicación de componentes electrónicos dentro de la antorcha de soldadura .....	69
<b>Figura 13</b> Despiece antorcha y listado de componentes.....	70
<b>Figura 14</b> Dimensiones de la Antorcha .....	71
<b>Figura 15</b> Ubicación de componentes electrónicos sobre el Casco .....	71
<b>Figura 16</b> Despiece casco y listado de componentes .....	72
<b>Figura 17</b> Dimensiones casco y visor.....	73
<b>Figura 18</b> Uniones A) en T ,B) a tope y C) en esquina.....	73
<b>Figura 19</b> A) Análisis de deformación, B) Análisis de Tensión de Von Mises.....	75
<b>Figura 20</b> Análisis de caída a 1110 milímetros.....	77
<b>Figura 21</b> A) Análisis de deformación, B) Análisis de Tensión de Von Mises.....	77

<b>Figura 22</b> <i>Columna A) Análisis de deformación, Columna B) Análisis de Tensión de Von Mises</i> .....	79
<b>Figura 23</b> <i>División de subsistemas de la parte electrónica del proyecto</i> .....	80
<b>Figura 24</b> <i>Esquemático del subsistema de conversión del protocolo TTL a USB</i> .....	81
<b>Figura 25</b> <i>Subsistema del microcontrolador</i> .....	82
<b>Figura 26</b> <i>Subsistema de alimentación</i> .....	83
<b>Figura 27</b> <i>Esquema de conexión del plug hembra USB y leds de señalética</i> .....	83
<b>Figura 28</b> <i>Subsistema de adquisición de datos</i> .....	84
<b>Figura 29</b> <i>Diseño del circuito impreso PCB principal a una sola capa</i> .....	85
<b>Figura 30</b> <i>Diseño del circuito impreso PCB de la botonera a una sola capa</i> .....	86
<b>Figura 31</b> <i>Representación del sistema final en funcionamiento</i> .....	87
<b>Figura 32</b> <i>Esquema de funcionamiento de los sistemas electrónicos y de software</i> .....	88
<b>Figura 33</b> <i>Codificación tridimensional de la carcasa Botonera y proceso de impresión</i> .....	89
<b>Figura 34</b> <i>Proceso de impresión de los mangos (izquierdo y derecho)</i> .....	89
<b>Figura 35</b> <i>Gatillo y botones ensamblados</i> .....	90
<b>Figura 36</b> <i>Carcasa de antorcha ensamblada vista desde diferentes ángulos</i> .....	90
<b>Figura 37</b> <i>Codificación tridimensional del soporte para el casco</i> .....	91
<b>Figura 38</b> <i>Proceso de impresión de soporte visor</i> .....	92
<b>Figura 39</b> <i>Casco, Proceso de corte a laser y ubicación de letras en el visor</i> .....	92
<b>Figura 40</b> <i>Piezas realizadas en madera</i> .....	93
<b>Figura 41</b> <i>Circuito impreso PCB de la botonera vista inferior</i> .....	93
<b>Figura 42</b> <i>Circuito impreso PCB de la botonera vista superior</i> .....	94
<b>Figura 43</b> <i>Circuito impreso PCB principal vista inferior</i> .....	94
<b>Figura 44</b> <i>Circuito impreso PCB principal vista superior</i> .....	94

<b>Figura 45</b> <i>Ensamble de la botonera de la antorcha</i> .....	95
<b>Figura 46</b> <i>Colocación de la botonera ensamblada en la antorcha</i> .....	96
<b>Figura 47</b> <i>Ensamble y colocación del módulo del sensor MPU-6050</i> .....	96
<b>Figura 48</b> <i>Ensamble y colocación del módulo del sensor VL6180X</i> .....	96
<b>Figura 49</b> <i>Colocación y conexión del pulsador del gatillo en la antorcha</i> .....	97
<b>Figura 50</b> <i>Ensamble y conexión del circuito impreso PCB principal con los pulsadores y sensores</i> .....	97
<b>Figura 51</b> <i>Antorcha vista interior y ensamblada por completo</i> .....	98
<b>Figura 52</b> <i>Lectura de las aceleraciones y velocidades con el sensor IMU MPU-6050</i> .....	99
<b>Figura 53</b> <i>Obtención de la inclinación del sensor IMU mediante el procesado de las aceleraciones</i> .....	100
<b>Figura 54</b> <i>Obtención de la inclinación del sensor IMU mediante el procesado de las velocidades angulares</i> .....	101
<b>Figura 55</b> <i>Obtención de la inclinación del sensor IMU aplicando un filtro complementario</i> .....	102
<b>Figura 56</b> <i>Adquisición de los parámetros <math>q</math> que representa la rotación de la antorcha</i> .....	103
<b>Figura 57</b> <i>Lectura de datos de distancia desde el sensor VL6180X</i> .....	104
<b>Figura 58</b> <i>Lectura de datos de distancia desde el sensor VL6180X con filtro de media movil</i> .....	104
<b>Figura 59</b> <i>Programación del ATmega328p para el envío de datos del sensor IMU MPU6050</i> .....	108
<b>Figura 60</b> <i>Programación en C# para leer los datos y pasar a la rotación de un objeto de Unity</i> .....	108
<b>Figura 61</b> <i>Prueba de lectura de datos del sensor de IMU y procesado mediante Unity</i> .....	109

<b>Figura 62</b> <i>Cordón Soldadura en Blender</i> .....	110
<b>Figura 63</b> <i>Modelo importado en Unity</i> .....	110
<b>Figura 64</b> <i>Interfaz EasyAR</i> .....	111
<b>Figura 65</b> <i>Creación de License Key</i> .....	111
<b>Figura 66</b> <i>Implementación de "License Key" en Unity</i> .....	112
<b>Figura 67</b> <i>Sistema de navegación de la interfaz por medio de la antorcha</i> .....	112
<b>Figura 68</b> <i>Navegación por los botones de la interfaz de Unity</i> .....	113
<b>Figura 69</b> <i>Menú de inicio de la interfaz gráfica de usuario</i> .....	114
<b>Figura 70</b> <i>Menú 1 del modo de instrucciones de la interfaz gráfica de usuario</i> .....	114
<b>Figura 71</b> <i>Pantallas informativas sobre el proceso dictadura MIG en la interfaz gráfica de usuario</i> .....	115
<b>Figura 72</b> <i>Pantalla 1 del modo de entrenamiento de la interfaz gráfica de usuario</i> .....	116
<b>Figura 73</b> <i>Pantalla 2 del modo de entrenamiento de la interfaz gráfica de usuario</i> .....	116
<b>Figura 74</b> <i>Pantalla 1 del modo de evaluación de la interfaz gráfica de usuario</i> .....	117
<b>Figura 75</b> <i>Pantalla 2 del modo de evaluación de la interfaz gráfica de usuario</i> .....	117
<b>Figura 76</b> <i>Evaluación y porcentaje de efectividad obtenidos</i> .....	118
<b>Figura 77</b> <i>Presentación de los resultados obtenidos en el modo de evaluación una vez culminada la práctica</i> .....	120
<b>Figura 78</b> <i>Pantallas de evaluación para la selección de parámetros</i> .....	121
<b>Figura 79</b> <i>Referencia de la inclinación de la antorcha MIG en la soldadura en posición plana</i> .....	122
<b>Figura 80</b> <i>Representación de la medición de los ángulos durante la soldadura con la antorcha</i> .....	123
<b>Figura 81</b> <i>Representación de la medición de proximidad durante la práctica de soldadura</i> .....	123

<b>Figura 82</b> <i>Calificación final de las prácticas, Porcentaje de Efectividad</i> .....	124
<b>Figura 83</b> <i>Proceso a desarrollar por cada práctica de los participantes</i> .....	125
<b>Figura 84</b> <i>Ponderación vs Intento - Estudiante 1</i> .....	130
<b>Figura 85</b> <i>Ponderación vs Intento - Estudiante 2</i> .....	131
<b>Figura 86</b> <i>Ponderación vs Intento - Estudiante 3</i> .....	131
<b>Figura 87</b> <i>Ponderación vs Intento - Estudiante 4</i> .....	131

## **Resumen**

En el mercado nacional las empresas exigen un nivel de preparación muy alto en procesos industriales y el desarrollo de los métodos de enseñanza ha ido cambiando con el paso del tiempo, a esto se suma el creciente avance tecnológico. Es decir, los estudiantes necesitan de diversas herramientas que puedan suplir esos conocimientos no solo en la parte teórica sino también en la parte práctica de diversos procesos. En el presente proyecto se diseña e implementa un módulo de entrenamiento mediante la realidad aumentada para mejorar la destreza en el proceso de soldadura MIG, este trabajo pretende poder ayudar a los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga en el desarrollo de destrezas en el área de la soldadura por medio de una estación versátil y, además de medir ciertos conocimientos teórico sobre dicho proceso por medio de pruebas de funcionamiento a estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica y a una persona sin ningún conocimiento del proceso de soldadura en general; se obtiene una tasa de aprendizaje de los estudiantes para la utilización de módulo de entrenamiento y con la misma se verifica una correlación entre el sistema de entrenamiento de soldadura simulada con la mejora en la destreza de los usuarios durante este proceso. Para poder demostrar la existencia de dicha correlación se ha tomado un trabajo similar donde se realiza un simulador de soldadura mediante la realidad virtual y por medio de análisis estadísticos de los datos obtenidos por dicho trabajo.

Palabras Clave:

- **SOLDADURA**
- **REALIDAD AUMENTADA**
- **ENTRENAMIENTO MIG**
- **UNITY**
- **EASYAR**

**Abstract**

In the national market, companies demand a very high level of preparation in industrial processes and the development of teaching methods has been changing over time, in addition to the growing technological progress. Students need different tools that can supply this knowledge not only in the theoretical part but also in the practical part of different processes. In this project we design and implement a training module through augmented reality to improve the skills in the MIG welding process, this work aims to help students of the University of the Armed Forces ESPE Latacunga headquarters in the development of skills in the area of welding through a versatile station and also to measure certain theoretical knowledge about the process through performance tests to students of Mechatronics Engineering and a person without any knowledge of the welding process in general; A learning rate of the students for the use of the training module is obtained and with it a correlation between the simulated welding training system and the improvement in the users' skills during this process is verified. In order to demonstrate the existence of such correlation, a similar work has been taken where a welding simulator is made by means of virtual reality and by means of statistical analysis of the data obtained by such work.

Key words:

- **WELDING**
- **AUGMENTED REALITY**
- **MIG TRAINING**
- **UNITY**
- **EASYAR**



## Capítulo I

### 1 Planteamiento del problema

#### 1.1 Introducción

Las herramientas que se han utilizado en la educación de las personas con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología han ido cambiando, evolucionando de la mano con las nuevas tecnologías y de apoco se han ido introduciendo conceptos y métodos más eficientes y que conciben mejores resultados en el aprendizaje de diversos temas y especialidades de las personas. Pero todo este avance la mayor parte ha sido enfocada a nutrir el conocimiento teórico de las personas en una gran cantidad de temas, con la globalización de la información las personas han tenido a su alcance una masiva cantidad de datos y conocimientos por lo cual aumento la posibilidad de que más personas consigan tener estudios formales o autodidactas de diversos temas.

En esta creciente globalización de información se ha encontrado una gran brecha de capacitación en ámbitos puramente teóricos con ámbitos que requieren de implementos físicos que complementen la información teórica con la práctica muchas veces necesaria, para lo cual necesitan disponer de equipos específicos para el mejor entrenamiento de diversas habilidades y la mejor asimilación de la teoría.

#### 1.2 Planteamiento del Problema

Dentro de los laboratorios Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga existe una cantidad limitada de maquinaria especializada, motivo por el cual algunos procesos industriales tratados en la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecatrónica se los abordan de una manera un poco más teórica que en una carrera técnica.

Debido a la poca interacción entre el estudiante de ingeniería y máquinas industriales de este tipo, los estudiantes no asimilan todos esos conocimientos de una mejor manera, como si se impartiesen esos conocimientos con un enfoque práctico y didáctico.

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 estos 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.

En la actualidad la educación virtual se ha vuelto el día a día de los estudiantes universitarios que necesitan de mejores métodos virtuales de aprendizaje, debido a que se carece de muchos equipos especializados que permitan hacer prácticas de las materias técnicas y así poder aprovechar mejor el conocimiento teórico.

### **1.3 Antecedentes**

Dentro de los laboratorios Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga existe una cantidad limitada de maquinaria especializada, motivo por el cual algunos procesos industriales tratados en la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecatrónica se los abordan de una manera un poco más teórica que en una carrera técnica.

La implementación de nuevas tecnologías para la resolución de problemas existentes es una corriente que ha ido en aumento durante los años por lo que la integración de tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada está cada vez más cerca aunque desde hace tiempo ha tenido problemas de crecimiento en el mercado, ya que si bien se ha trabajado bastante para desarrollar esta tecnología aún falta mucho camino por

delante, pero se ha visto un incremento de las aplicaciones de esta tecnología en el entretenimiento y la educación, y dichos avances han sido posibles por el desarrollo de herramientas que facilitan la aplicación de la realidad mixta en proyectos de diversos tipos, ahora la corriente solo espera el aumento de usuarios para impulsar cada vez más su avance (Heras Lara & Villarreal Benítez, 2007).

Con el aumento en las tecnologías se fueron implementando soluciones de realidad aumentada en procesos de carácter industrial, como en la Universidad de Morelia donde, se realizó una aplicación de la realidad aumentada al mantenimiento de maquinaria industrial de cinco ejes (García Escobedo, 2015). Desde ahí cada vez más se introdujo la realidad aumentada en el desarrollo de proyectos como el Simulador de Ensamble de Dispositivos Electrónicos por medio de Realidad Aumentada usando un Sensor Kinect realizado por (Macmahon, Merino, Maza Valle, Jiménez, & Pérez Delgado, 2018).

Uno de los campos en los que se empezó a incursionar con la realidad aumentada es en la enseñanza por sus resultados obtenidos como afirman:

“El uso de las tecnologías de realidad aumentada en el contexto educativo permite ofertar al alumno nuevas fórmulas de aprendizaje eficaces y divertidas, al crear espacios virtuales con los que interactuar viviendo una experiencia personalizada y única. Este hecho implica un cambio que apoya y mejora el proceso de aprendizaje y apuesta por la construcción de materiales curriculares interactivos”. (Videla Rodríguez, Sanjuán Pérez, Martínez Costa, & Seoane Nolasco, 2017, pág. 15)

Al encontrarse inmerso la realidad aumentada en el ámbito educativo empezaron a salir trabajos para poder aprovechar de mejor manera esta nueva tecnología en universidades como el trabajo realizado en la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, que hicieron el diseño de una herramienta de aprendizaje con realidad aumentada aplicada

a la capacitación técnica lo cual no solo contemplaba una función puramente teórica de la materia, sino también un enfoque de realidad virtual para mejorar la enseñanza (Aconda Analuiza, 2019), como este trabajo se empezaron a realizar realidad virtual con aplicaciones móviles para el apoyo del proceso de enseñanza y aprendizaje del uso de los equipos del laboratorio, como por ejemplo el desarrollo de una aplicación móvil para la enseñanza de Máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) de laboratorio en la Carrera de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana en el que ya se trabajaba con el concepto de mejora del aprendizaje, por medio de realidad virtual aplicada a la enseñanza del funcionamiento de máquinas CNC (Jaramillo Aguiar, Macas Narvaez, & Hurtado Larrea, 2020).

#### **1.4 Definición y Justificación del Problema**

La industria de la soldadura dentro del país se verá altamente beneficiada con el entrenamiento constante del proceso dentro de la carrera de Ingeniería Mecatrónica ya que los estudiantes de esta carrera tienen gran afinidad con el diseño de productos, así como los procesos generando mayor competitividad, elevando los estándares de calidad de los productos.

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.

La enseñanza tradicional muy difícilmente contribuye a desarrollar habilidades, capacidades y competencias en los estudiantes. Es evidente entonces la necesidad de

cambio en la concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje, sin que esto signifique que la clase expositiva deje de ser eficiente. Se trata simplemente de complementar la adquisición de contenidos con el desarrollo de habilidades, capacidades y actitudes indispensables en el entorno técnico actual, con el apoyo de entornos virtuales.

Basado en sus características esta tecnología ofrece la capacidad de permitir a los estudiantes visualizar conceptos complejos o abstractos, observar eventos a escala atómica o planetaria, sin importar la distancia, el tiempo o los factores de seguridad que de otro modo harían que esto fuera imposible en la realidad. La realidad virtual ofrece muchas ventajas a la educación, incluida la entrega de información a través de múltiples canales, el direccionamiento de los diferentes estilos de aprendizaje y, además, el aprendizaje basado en la experiencia (Bell & Fogler, 1995)

El presente módulo de entrenamiento virtual de soldadura permite desarrollar actitudes de responsabilidad, así como habilidades para la investigación y también la necesidad de aprender conceptos nuevos. Permite incorporar exitosamente a la educación todas las estrategias y técnicas del aprendizaje activo, cooperativo y creativo. Con la tecnología de realidad virtual el alumno puede enfrentar situaciones variables y mundos complejos por medio de las simulaciones realizadas por computadora e incorporadas a un sistema de realidad virtual que da la posibilidad de tener múltiples sesiones de práctica y ampliar la gama de situaciones a las que se enfrenta un alumno; asimismo, proporciona información sobre el rendimiento del usuario, lo que permite controlar y registrar efectivamente los avances de cada uno de los participantes.

Durante el desarrollo de alguna práctica o una visita industrial existen situaciones en las que los estudiantes podrían quedar expuestos a alguna situación de riesgo, y en caso de que por algún error se violen las medidas de seguridad establecidas, puede ocurrir un accidente con desenlaces fatales. Por tal motivo al implementar este módulo de enseñanza

se espera disminuir el riesgo y el temor de los estudiantes al utilizar este tipo de maquinaria y la preferencia en esta industria por parte del estudiante de ingeniería en el país promoviendo la generación de nuevas oportunidades laborales y el crecimiento de nuevas empresas especializadas, abaratando costos de producción, así como generando mayor competitividad, elevando los estándares de calidad de los productos.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 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.

### **1.5.2 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.
- 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.

## **1.6 Hipótesis**

¿La implementación de un módulo de entrenamiento mediante realidad aumentada ayudará a mejorar la destreza en el proceso de soldadura MIG de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga?

## **1.7 Variables de investigación**

### **1.7.1 Variables Independientes:**

Módulo de entrenamiento en el proceso de soldadura MIG mediante realidad aumentada.

### **1.7.2 Variables Dependientes:**

La destreza en el proceso de soldadura MIG de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

## Capítulo II

### 2 Fundamentación teórica

#### 2.1 Introducción

Con el aumento de las tecnologías enfocadas en la realidad mixta desde su inicio como realidad virtual en la década de los setenta como que el ganador del *Turing Award*, Ivan Sutherland conocido como en creador de los gráficos por computadora dice “La pantalla es una ventana a través de la cual uno ve un mundo virtual. El desafío es hacer que ese mundo se vea real, actúe real, suene real, se sienta real” (Jiménez, 2014, pág. 3).

La tecnología de la realidad virtual y realidad aumentada puede dar un gran avance a las formas en que los humanos interactuamos con los entornos simulados y diseñados por computadoras en los mismos entornos o hasta podría cambiar la forma en la que interactuamos con el mundo que nos rodea. La aplicación de la realidad mixta, que es la combinación de la realidad virtual con la realidad aumentada, empieza a tener cada vez más aplicaciones no solo en el ámbito industrial y del entretenimiento ya que en estos campos sobre todo en el del entretenimiento sobre salió, por su novedosa idea de poder crear mundos inimaginables a través de una computadora y fue recurrentemente usado en los medios que presentaban historias de ciencia ficción.

Por la gran admiración y expectativas que ofrecía la realidad mixta las empresas empezaron a indagar cada vez más en el área dado así mejores productos y con ello una mayor facilidad a las personas de adquirirlos a precios cada vez más bajos por la creciente oferta de estos sistemas. Por esa facilidad de adquisición se empezó a dar aplicaciones en ámbitos como la educación.

#### 2.2 Proceso de Soldadura GMAW

La soldadura es un proceso para la unión de partes u objetos de carácter metálico al que se suele recurrir cuando los otros procesos para la unión de materiales no pueden unir



de forma satisfactoria los objetos requeridos, como por ejemplo el ensamble de partes de una pieza compleja o de una instalación, en esos casos lo más recomendable sería la utilización de un método de soldadura. La soldadura como procedimiento de unión entre partes u objetos metálicos constituye un procedimiento muy versátil, aplicable en general a prototipos y pequeñas series de manufactura (Molera Solá, 1992).

Los procesos de soldadura GMAW, se han convertido con el paso del tiempo en unos de los procesos de soldadura más popularizados y difundidos en la toda la industria metalmecánica y metalúrgica a nivel mundial y sus usos pueden ser muy diversos ya que la soldadura GMAW puede utilizarse con todo tipo de metales comerciales muy utilizados en la gran parte de las industrias, como puede ser el aluminio, los diferentes tipos de aceros al carbono y aleaciones, metales inoxidables, magnesio, cobre, etc. (Uribe, 2010)

Casi todos los tipos de hierro y acero pueden unirse con el proceso de soldadura GMAW, y que incluso los hierros que en su composición se encuentran libres de porcentaje de carbono, los aceros al bajo carbono, los aceros de alta resistencia entre otros tipos pueden soldarse con mucha facilidad por medio de estos procesos de soldadura. Una de las muchas ventajas que poseen estos procesos es su fácil aplicación y al no salpicar en exceso siempre y cuando se realicen las posee un cordón de soldadura final de gran calidad (Uribe, 2010).

### **2.2.1 Normativa del Proceso de Soldadura**

Con la globalización y para facilitar los avances y manejos de los procesos de soldadura se planteó unificar su forma de aplicación por medio de estándares de calidad para poder corregir muchos de los errores que se encontraban en la realización de estos procesos, con lo cual se creó una serie de normas que servirían como una referencia para la verificación del estado de las partes soldadas. Un ejemplo de estos estándares es el estándar ASME (American Society of Mechanical Engineers), esta organización profesional fundada en

1880 ha generado diversas normas que han sido aceptadas y utilizadas en todo el mundo y se encuentran presentes en todas las etapas de la producción (Alonso Marcos, 2020).

Existen algunos códigos que sirven para estandarizar la calidad de las soldaduras para poder tener una mayor seguridad en el manejo de los diversos procesos de soldadura, de dichas normas de las más utilizadas a nivel mundial son: ASME (American Society of Mechanical Engineers), API (American Petroleum Institute) y AWS (American Welding Society), por medio de estas asociaciones profesionales sin fines de lucro se realizan las revisiones y clasificación de los diversos tipos de soldaduras (HLCSISTEMAS, 2020).

**Código de Soldadura ASME.** Los códigos ASME orientados a la soldadura se basan principalmente en la fabricación de calderas y recipientes a presión que principalmente se utilizan en el sector eléctrico, pero también y utilizan bastante en los diversos sectores industriales en los cuales se realizan los controles de parámetros de calidad de estructuras de acero hasta las plantas de energía nuclear (HLCSISTEMAS, 2020).

Estos códigos según una publicación de la organización nos dicen que más de 100 países aceptan estas normativas profesionales y más de 6000 fábricas cuentan con certificados de calidad de la ASME (HLCSISTEMAS, 2020).

**Código de Soldadura API.** Uno de los mayores campos de uso de los códigos API aplicados en la soldadura es en la industria petrolera, principalmente en la construcción de oleoductos, aunque también se utilizan para la fabricación de tanques a presión, tanques atmosféricos y accesorios; los códigos API establecen ciertos criterios mínimos de calidad que toda soldadura debe tener, para lo cual para estar sujetos a los estándares API la calidad debe cumplir estos criterio o excederlos (HLCSISTEMAS, 2020).

**Código de Soldadura AWS.** El código AWS es usado principalmente estructuras soldadas hechas con acero de carbono y de baja aleación para construcción ya que es un código de soldadura de acero estructural cuya última edición está dada con fecha del 2015;

esta norma es aplicada para la edificación de puentes y edificios, entre otros y poseen diversos códigos de AWS para diferentes tipos de estructuras, como estructuras soldadas de acero, de aluminio, de acero de refuerzo, de puentes, etc. (HLCSISTEMAS, 2020).

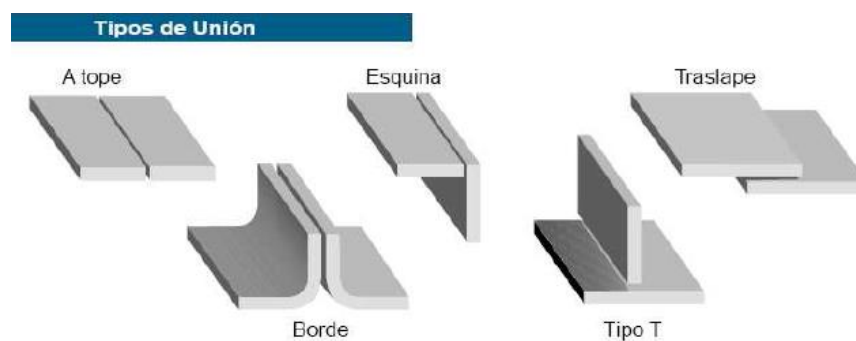
### 2.2.2 Tipos de Juntas

La soldadura es normalmente conocida como un proceso que sirve para la unión entre metales tiene algunos tipos de juntas, que son los tipos y posiciones en las que se encuentran los metales a los cuales se les va a aplicar la soldadura como se muestra en la Figura 1, la importancia de diferenciar los tipos de juntas se encuentra en la forma correcta de realizar la soldadura ya que no solo depende del tipo de metales, ni del proceso de soldadura a utilizar sino también depende del tipo de junta que se está soldando y eso nos hace separar los tipos de juntas en:

- Junta a tope
- Junta Solapada
- Junta de esquina o de ángulo exterior
- Junta en T o de ángulo interior
- Junta a borde
- Soldadura de superficie
- Junta de ranura

**Figura 1**

*Tipos de uniones para soldadura*



*Nota.* Adaptado de tipos sold [Fotografía], por Proyectos Piping, 2014, Proyectos Piping (<http://proyectopiping.blogspot.com/2014/07/terminos-y-definiciones-de-soldadura.html>).

**Junta a Tope.** Es una de las juntas más utilizadas en la industria y consiste en unir ambas placas metálicas en el mismo plano y se deben preparar los bordes para la soldadura, esta junta tiene como objetivo una penetración completa y que la transición entre las placas sea lo mejor posible (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

**Junta Solapada.** Este tipo de junta consiste en dos placas metálicas que se encuentran una sobre otra y se superponen, estas juntas tienen un resultado satisfactorio para su uso en la sustitución parcial de paneles exteriores y de mayor aplicación en la fabricación de carrocerías de vehículos (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

**Junta de Ángulo Interior y Exterior.** Estos tipos de juntas consisten en unir dos placas metálicas que se encuentran situadas en distintos planos bien sean ortogonales o superpuestas, para poder llenar los bordes de las placas creadas se usa material de aporte, estas soldaduras pueden ser sencillas o dobles dependiendo de si se suelda a un lado o ambos (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

**Junta a Borde.** Las soldaduras a bordes se realizan uniendo los bordes de dos o más placas metálicas, las cuales por lo general son laminas delgadas en donde los bordes se encuentran paralelos con al menos uno de sus bordes en común por lo que se utiliza principalmente para láminas de espesores finos en las que no se requiera de aporte de material, como en las soldaduras oxiacetilénica y TIG (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

**Soldadura de Superficie.** En este tipo de soldadura se halla la mayor diferencia con el resto de las juntas soldadas porque no se intenta unir dos placas metálicas, esta soldadura se basa en el depósito de material de relleno sobre una superficie con propósito de aumentar el grosor de la placa o proporcionarle un recubrimiento protector a la superficie de la misma (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

**Junta de Ranura.** La soldadura de placas por medio de las juntas de ranura se utiliza principalmente cuando se necesitan unir dos o más placas por medio de agujeros o ranuras que poseen una o más placas, en las cuales se rellenas dichas ranuras con metal fundido del proceso de soldadura (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

### **2.2.3 Proceso de Soldadura MIG**

Desde los comienzos de los cuarenta que se crearon las pistolas de soldadura TIC (Tungsteno Inerte Gas), ha venido desarrollando una tecnología que adapte los beneficios de la soldadura TIG a las necesidades de las industrias al tener que soldar espesores mayores a 3 o 5 milímetros, para lo cual cambiaron el diseño de pistola para sustituir el tungsteno no consumible con un electrodo en alambre, el cual se encontraría conectado a una fuente de alimentación, que al entrar el contacto salta un arco eléctrico que caliente ambos metales hasta la fusión y por medio de un alimentador de electrodo en alambre se mantiene un aporte continuo a la fusión, que es lo que realiza el cordón de soldadura (Alonso Marcos, 2020).

En general los procesos MIG y MAG han llegado a convertirse en los procesos de uniones soldadas más utilizados en la industria, aunque se siguen usando de la mano con procesos de soldadura manuales como el proceso TIC y SMAW, ya que cada uno de estos procesos tienen sus ventajas y se aplican en diferentes circunstancias (Alonso Marcos, 2020).

Según nos presenta Alonso Marcos (2020), las características de los procesos GMAW son:

- Deja cordones limpios y sin escoria de una manera más rápida que otros métodos.
- La longitud de los cordones es casi ilimitada lo que conlleva a necesitar menos empalmes entre cordones.
- Es mucho más fácil de usar con chapas finas por su control en la cantidad de calor que se aporta.

- Es válido para soldaduras de diversos tipos de aceros y también de metales como aluminio, níquel cobre, entre algunos otros.
- Los equipos necesarios suelen ser más costosos en comparación con otros métodos de soldadura.
- Las soldaduras MIG y MAG se encuentran limitadas en trabajos de campo ya que las corrientes de aire podrían desplazar los gases protectores mientras se realiza la soldadura.
- Los parámetros que deben ser configurados para obtener una buena soldadura son los complejos que, en el resto de los procesos, pero ya existen equipos que facilitan la tarea.

#### **2.2.4 Parámetros de Soldadura**

Para realizar una buena soldadura se deben tener en cuenta ciertos parámetros que se deben configurar antes de empezar a realizar los cordones de soldadura con el proceso de soldadura MIG, pero entre todos los parámetros que influyen en el resultado de una buena soldadura los principales o que más afectan a la misma son: la intensidad de corriente, el tensión de corriente, la velocidad de arrastre del hilo, la velocidad de arrastre de la pistola o antorcha y el caudal del gas; lo cual hace que el conocimiento de estos parámetros y como afectan a la soldadura en función de que tipo de metal y con que junta se desea soldar, sea de vital importancia a la hora de aprender sobre soldadura (Ingemecánica, 2022).

#### **2.3 Curva de Aprendizaje**

Este modelo trata de explicar los fenómenos en los cuales se trata de aumentar el rendimiento o la eficacia de un proceso en un intervalo de tiempo. Es decir, en el modelo se compara la práctica y la mejora que se produce en esta, durante el intervalo de tiempo que tarda en ser alcanzada.

Actualmente, la curva de aprendizaje se puede realizar de dos maneras. En la primera se trata de indicar la cantidad de labor durante un intervalo de tiempo mientras que en la segunda se trata de mostrar el tiempo necesario para alcanzar un trabajo. (Chango & Zambrano)

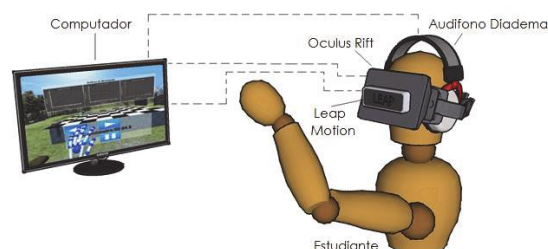
## 2.4 Tecnologías Inmersivas

Se puede definir a estas como la implicación de la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) en diferentes procesos de aprendizaje, entrenamiento o enseñanza de prácticas educativas, industriales, etc. El objetivo de implementar estas tecnologías es que el usuario que experimente esta experiencia se sienta inmerso dentro de diferentes realidades que cumplan con la meta planteada.

En la actualidad, Cantón Enríquez & Arrellano Pimentel (2017) sugieren que “los sistemas de realidad virtual inmersivos tienen una creciente relevancia en el ámbito educativo como herramientas didácticas que motivan el aprendizaje a través de dos conceptos clave: la inmersión y la interacción.” (p. 8), por lo tanto, el uso o la implementación de estas tecnologías dentro del ámbito de la ingeniería podría traer grandes beneficios a mediano y largo plazo.

### Figura 2

*Diagrama ejemplo de equipos y dispositivos utilizados dentro de un entorno inmersivo.*



*Nota.* Tomado de Diseño y desarrollo de un entorno virtual inmersivo para instruir el principio de superposición de movimientos a estudiantes de ingeniería [Gráfico], por (Castro González, Barbosa, Prada Jiménez, & Conde Méndez, 2017)

Técnicamente, Gutierrez & Hernández (2003) definen a un entorno inmersivo como “un sistema compuesto de hardware específico que consigue la estimulación de los sentidos, principalmente de la vista mediante la proyección de imágenes, para hacer que el usuario se sienta dentro de un modelo digital, junto a un software de simulación en tiempo real que genere las imágenes que el usuario verá. El sistema monitoriza además la posición y orientación de partes del cuerpo usuario, en especial la orientación de la cabeza, de manera que aquello que el usuario ve se corresponde en todo momento con la dirección en la que mira. “

## **2.5 Realidad Virtual (RV)**

Existen una gran variedad de definiciones respecto al significado de la realidad virtual acuñadas por varios autores, sin embargo, se puede destacar que:

Es una experiencia compuesta a través de la cual los usuarios pretenden reemplazar la realidad física con un entorno de fantasía generado por computadora. Pérez Martínez (2011) menciona que la realidad virtual “comprende la interfaz hombre-máquina (human-machine), que permite al usuario sumergirse en una simulación gráfica 3D generada por ordenador, y navegar e interactuar en ella en tiempo real, desde una perspectiva centrada en el usuario.” (p. 5).

También, Escartín (2000) en su publicación menciona que la realidad virtual “es una simulación tridimensional en computadoras que proporciona información sensorial (visión, sonido y/o otros), con el propósito de hacer que el participante sienta que está en un cierto lugar”. Para llevarse a cabo, la RV hace uso de dispositivos llamados lentes o cascos de realidad virtual. Estos hacen posible que los usuarios perciban escenarios en 360° con alta definición.



Otros autores han afirmado lo siguiente:

Brudniy y Demilhanova citados en (Flores Cruz, Camarena Gallardo, & Avalos Villareal, 2014, pág. 6) plantean a la realidad aumentada como la forma más avanzada de relación entre una persona y un sistema informático, dicha relación permite una interacción directa entre el usuario y el ambiente generado artificialmente, ambiente que está destinado a estimular alguno o todos los sentidos humanos, caracterizándose principalmente por crear una ilusión a nivel cerebral de participación directa en dicho ambiente.

La definición de realidad virtual dada por Jiménez (2014) nos dice que “la realidad virtual es un sistema de computación usado para crear un mundo artificial en el cual el usuario tiene la impresión de estar y la habilidad de navegar y manipular objetos en él”. Por lo que con este concepto se puede definir a la realidad virtual como una plataforma que ofrece al usuario la posibilidad de estar en un entorno creado por computadora en el que el usuario puede percibir todo lo que se encuentra en dicho entorno.

Finalmente, Gutierrez & Hernández (2003) en su artículo comentan que “Una buena definición de Realidad Virtual podría ser algo así como: “el uso de tecnología informática para crear la sensación de un mundo tridimensional interactivo en donde los objetos poseen la sensación de presencia espacial”. Pero incluso esta definición presenta puntos discutibles, como la ausencia de la palabra inmersión, o la presencia de la palabra interactivo.”, sin embargo, se puede encontrar una similitud entre todos estos conceptos mencionados anteriormente en los cuales la realidad virtual aprovecha la interacción humano máquina para generar nuevos entornos artificiales los cuales brindan cierto beneficio al usuario ya sea en tareas de aprendizaje, reconocimiento o adaptación.

## 2.6 Realidad Aumentada (RA)

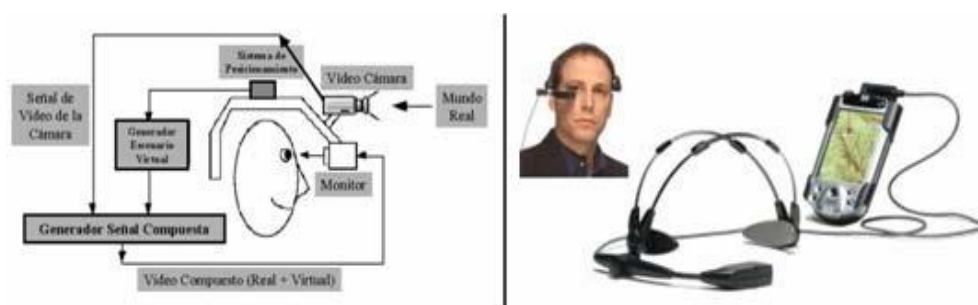
Es definida según Prendes Espinosa (2015) como “una tecnología que superpone a una imagen real obtenida a través de una pantalla imágenes, modelos 3D u otro tipo de informaciones generados por ordenador.” (p. 188), describiendo de una manera bastante específica el enfoque de esta tecnología que actualmente se encuentra en expansión.

“La Realidad Aumentada está relacionada con la tecnología Realidad Virtual que sí está más extendida en la sociedad; presenta algunas características comunes como por ejemplo la inclusión de modelos virtuales gráficos 2D y 3D en el campo de visión del usuario; la principal diferencia es que la Realidad Aumentada no reemplaza el mundo real por uno virtual, sino al contrario, mantiene el mundo real que ve el usuario complementándolo con información virtual superpuesta al real.” (Basogain, Olabe, Espiosa, Rouèche, & Olabe, 2007, pág. 24)

La realidad aumentada (AR) es una versión mejorada del mundo físico real que se logra mediante el uso de elementos visuales digitales, sonido u otros estímulos sensoriales entregados a través de la tecnología. Es una tendencia creciente entre las empresas involucradas en la informática móvil y las aplicaciones comerciales en particular.

### Figura 3

*Diagrama conceptual de un sistema de Realidad Aumentada*



*Nota.* Tomado de Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente [Gráfico], por (Basogain, Olabe, Espiosa, Rouèche, & Olabe, 2007)

Algunos de los usos que se da a la realidad aumentada en la actualidad son:

- Los sistemas de navegación mejorados utilizan la realidad aumentada para superponer una ruta sobre la vista en vivo de la carretera.
- Durante los partidos de fútbol, los locutores utilizan AR para dibujar líneas en el campo para ilustrar y analizar jugadas.
- El gigante de muebles y artículos para el hogar IKEA ofrece una aplicación AR (llamada IKEA Place) que permite ver cómo se verá y encajará un mueble en el espacio.
- Los pilotos de combate militares ven una proyección AR de su altitud, velocidad y otros datos en la visera de su casco, lo que significa que no necesitan desperdiciar el enfoque mirando hacia abajo para verlos.
- Los neurocirujanos a veces usan una proyección AR de un cerebro tridimensional para ayudarlos en las cirugías.
- En sitios históricos como Pompeya en Italia, AR puede proyectar vistas de civilizaciones antiguas sobre las ruinas actuales, dando vida al pasado.
- El personal de tierra en el aeropuerto de Singapur usa gafas AR para ver información sobre contenedores de carga, lo que acelera los tiempos de carga

### **2.6.1 La Realidad Aumentada en la Educación**

“El uso de las tecnologías en la vida diaria se vuelve cada vez más necesario. La educación sobre todo en los jóvenes, el uso de las tecnologías rivaliza mucho por la atención tanto dentro como fuera del salón de clases compitiendo por el tiempo invertido para la adecuada comprensión y aprendizaje. Una de esas tecnologías que está ganando terreno es la Realidad Aumentada, la cual al contrario de la realidad virtual, define sobre los objetos reales objetos digitales creados por computadora, En la actualidad en el mercado existe una infinidad de soluciones que involucran a la Realidad Aumentada, entre las más conocidas

está la de la publicidad, por lo que adentrarse a este mundo y sobre todo para la educación, conlleva a una serie de cuestionamientos y adecuaciones necesarias de la tecnología para esta rama en particular.” (Díaz Campos, 2016, pág. 47)

“Quizá una de las aplicaciones más conocidas de la Realidad Aumentada en la educación sea el proyecto Magic Book del grupo activo HIT de Nueva Zelanda. El alumno lee un libro real a través de un visualizador de mano y ve sobre las páginas reales contenidos virtuales. De esta manera cuando el alumno ve una escena de Realidad Aumentada que le gusta puede introducirse dentro de la escena y experimentarla en un entorno virtual inmersivo.” (Basogain, Olabe, Espiosa, Rouèche, & Olabe, 2007, pág. 2)

#### Figura 4

*El Magic Book y sus aplicaciones en materias de ciencias sociales*



*Nota.* Tomado de Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente [Imagen], por (Basogain, Olabe, Espiosa, Rouèche, & Olabe, 2007)

### 2.7 Realidad Mixta (RM)

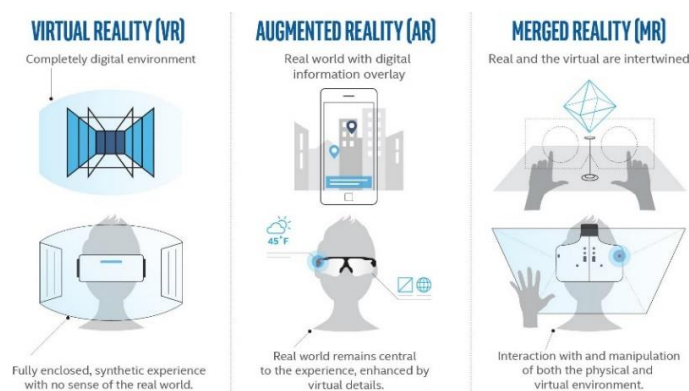
“La RM es un concepto más abstracto que la AR y la VR, ya que no es una tecnología por sí sola, sino que es una combinación de estas tecnologías. El entendimiento general es que la MR está entre la AR y la VR, pero esto realmente solo añade complicaciones irrelevantes y hace que todo sea confuso. Una de las explicaciones más usadas que se da online es mediante el uso del continuo realidad-virtualidad antes mencionado.” (Merino, 2013, pág. 4)

Milgram y Kishino citados en (Flórez Aristizábal, 2013, pág. 3) mencionan que “existe una brecha entre lo que se conoce como Realidad Real y Realidad Virtual, es en esta brecha donde se encuentran la Realidad Aumentada y la Virtualidad Aumenta. El concepto de un “continuo de virtualidad” se relaciona a la mezcla de clases de objetos presentados en una situación particular donde los ambientes reales se encuentran en un extremo del continuo y los ambientes virtuales en el otro extremo. El extremo real consiste solamente de objetos reales como los que se podrían observar a través de una pantalla de video convencional; por otra parte, en el otro extremo (virtual), el ambiente consiste únicamente de objetos virtuales, un ejemplo sería una simulación gráfica por computadora. La realidad mixta (RM) es la tecnología que se encuentra entre los dos extremos del continuo de virtualidad, entre el mundo real y el virtual.”

La realidad mixta es la fusión de mundos reales y virtuales para producir nuevos entornos y visualizaciones, donde los objetos físicos y digitales coexisten e interactúan en tiempo real. La realidad mixta no tiene lugar exclusivamente ni en el mundo físico ni en el mundo virtual, sino que es un híbrido de realidad aumentada y realidad virtual.

### Figura 5

Mapa de realidad según Inter (VR, AR, MR)



*Nota.* Tomado de Realidad Aumentada vs. Realidad Virtual vs. Realidad Mixta: Una Guía Introductoria [Gráfico], por (Designers, 2020)

## **2.8 Motores Gráficos**

Un motor gráfico es un software usado por aplicaciones y programas para dibujar gráficos en la pantalla de nuestro ordenador, smartphone o tablet.

También se lo puede definir como interfaces de programación (API) que aceptan comandos de una aplicación y el sistema operativo para crear imágenes y texto que se dirigen al controlador de gráficos y al hardware.

En referencia a la implementación de los motores gráficos para el desarrollo de videojuegos Morrales Urrutia et al., (2010) mencionan que “Un videojuego es un medio de entretenimiento que involucra a un usuario, denominado jugador, en una interacción constante entre una interfaz y un dispositivo de video. Los videojuegos recrean entornos y situaciones virtuales en los que el jugador puede controlar uno o varios personajes para alcanzar objetivos por medio de determinadas reglas.”

### **2.8.1 El motor Unity**

“Unity es un motor de desarrollo de videojuegos, una suite de herramientas diseñadas para facilitar la labor de trabajar en los distintos aspectos de un videojuego, tales como los gráficos, las físicas, las animaciones o la inteligencia artificial. Además, Unity tiene determinadas características que han ayudado a su adopción por parte de las empresas y profesionales y a su rápido crecimiento.” (Domínguez Díaz, Castro González, & Navarro Pulido, 2018, pág. 17)

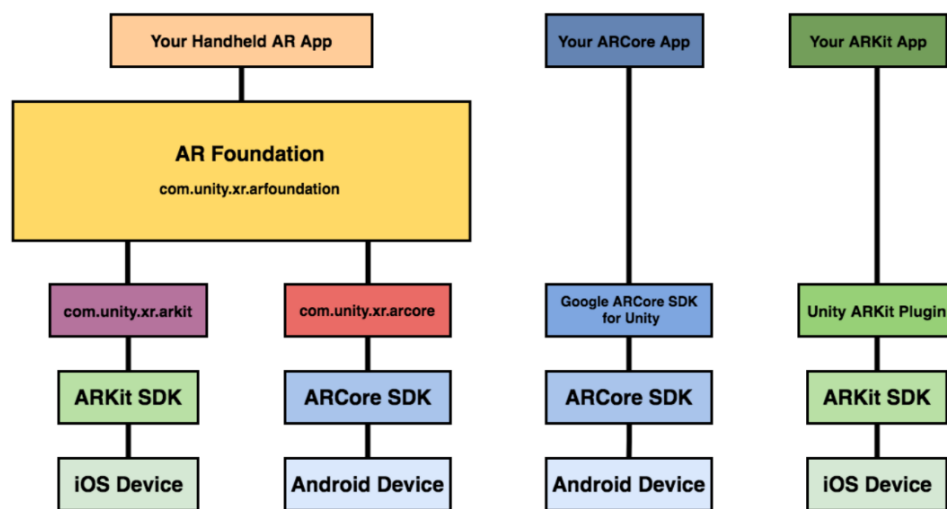
“Es un motor de realidad virtual desarrollado por la compañía de software Unity Technologies, es multiplataforma lo que lo hace atractivo para desarrolladores, es compatible con varias plataformas comerciales de videojuegos, tiene herramientas para 2D y 3D lo que lo hace perfecto para personas que desean enfocarse en juegos pequeños su plataforma acepta programación bajo lenguaje C# y Java, existen dos tipos de licencia una es de tipo gratuita y otra pagada” (Wang, y otros, 2010)

### 2.8.2 AR Foundation

“AR Foundation es una plataforma unificada para desarrollar todo tipo de aplicaciones AR. Esta arquitectura puede acomodar todo tipo de SDK subyacentes y admitir la adición de otros AR SDK subyacentes en el presente y en el futuro. Los desarrolladores ya no necesitan preocuparse por cómo usar el SDK para la plataforma iOS y cómo usar la plataforma Android. AR Foundation hace un paquete de ellos. De esta manera, las personas solo necesitan prestar atención al desarrollo de la aplicación AR en sí mismo, y su capa inferior juzgará por sí mismo y llamará a la API correspondiente según las diferentes plataformas.” (Cao, 2021)

**Figura 6**

*Esquema explicativo de AR Foundation y los SDKs que lo conforman*



*Nota.* Tomado del ecosistema AR portátil de Unity AR Foundation: ARCore y ARKit [Gráfico], por (CSDN, 2020)

### **2.8.3 ARKit SDK**

“ARKit es la nueva API de Realidad Aumentada desarrollada por Apple, utilizada en Dispositivos iPhone/iPad. Esta API solo está disponible para usuarios de dispositivos con Apple A9 y posteriores procesadores” (Cao, 2021)

ARKit es una tecnología de realidad aumentada que utiliza los datos recogidos por las cámaras y sensores de los dispositivos para medir el entorno en el que se encuentran y mostrar objetos sobre él.

### **2.8.4 ARCore SDK**

“Es la plataforma de Google para crear experiencias de realidad aumentada. Usando diferentes API, ARCore permite que el teléfono detecte su entorno, comprenda el mundo e interactúe con la información. Algunas de las API están disponibles en Android e iOS para habilitar experiencias AR compartidas.” (ARCore API, 2021)

Utiliza tres capacidades clave para integrar contenido virtual con el mundo real como se ve a través de la cámara del teléfono:

- El seguimiento del movimiento permite que el teléfono pueda entender y realizar un seguimiento de su posición en relación con el mundo.
- La comprensión del medio ambiente permite que el teléfono pueda detectar el tamaño y la ubicación de todo tipo de superficies: superficies horizontales, verticales y en ángulo como el suelo, una mesa de café o paredes.
- La estimación de la luz permite que el teléfono pueda estimar las condiciones actuales de iluminación del entorno.



**Figura 7**

*Funciones admitidas de AR Foundation dentro del entorno de Unity*

<b>Unity's AR Foundation Supported Features</b>				
<b>Functionality</b>	<b>ARCore</b>	<b>ARKit</b>	<b>Magic Leap</b>	<b>HoloLens</b>
Device tracking	✓	✓	✓	✓
Plane tracking	✓	✓	✓	
Point clouds	✓	✓		
Anchors	✓	✓	✓	✓
Light estimation	✓	✓		
Environment probes	✓	✓		
Face tracking	✓	✓		
Meshing			✓	✓
2D Image tracking	✓	✓		
Raycast	✓	✓	✓	
Pass-through video	✓	✓		
Session management	✓	✓	✓	✓

*Nota.* Tomado de AR Foundation [Gráfico], por (Unity Technologies, 2021)

### **2.8.5 Easy AR**

“Es el primer motor AR gratuito de plataforma completa en China. Este motor AR tiene las siguientes características: tiene buenas características de soporte multiplataforma y puede admitir Windows, Mac OS, Android, IOS y otras plataformas. Sin embargo, carece de funciones potentes, como el reconocimiento de objetos en 3D, el reconocimiento en la nube, las gafas inteligentes y el empaquetado en la nube.” (Cao, 2021)

Este motor ofrece múltiples funciones AR como:

- Seguimiento de imágenes planas: una tecnología que reconoce y rastrea la posición, la rotación y la escala de una imagen previamente seleccionada en el mundo real, como la portada de un libro, una fotografía o una tarjeta de presentación.

- Seguimiento de superficie (SLAM): una tecnología para detectar superficies y realizar un seguimiento de los objetos dentro de ella.
- Seguimiento de objetos 3D: una tecnología para localizar y rastrear la posición y orientación de objetos 3D reales en lugar de imágenes planas.
- Grabación de pantalla: una característica que nos permite tomar videos de la escena AR mientras la estamos reproduciendo.

## 2.9 Fronius Virtual Welding

Es un módulo de entrenamiento actualmente comercializado a nivel mundial, en donde los estudiantes pueden aprender, practicar y consolidar sus habilidades básicas de soldadura paso a paso bajo condiciones realistas. Con el borne StandUp o con Mobile Case, pueden capacitar con antorchas de soldadura ergonómicamente formadas, piezas de trabajo típicas y parámetros de soldadura ajustables, sin riesgos de seguridad. Con cuatro paquetes de funciones, se pueden practicar tres variantes de procesos: MMA, MAG, MAG mecanizado y TIG.

### Figura 8

*Sistema de soldadura Fronius*



*Nota.* Tomado de Virtual Welding Fronius [Gráfico], por (Fronius International GmbH, 2022)

## Capítulo III

### 3 Diseño y selección de componentes

#### 3.1 Introducción

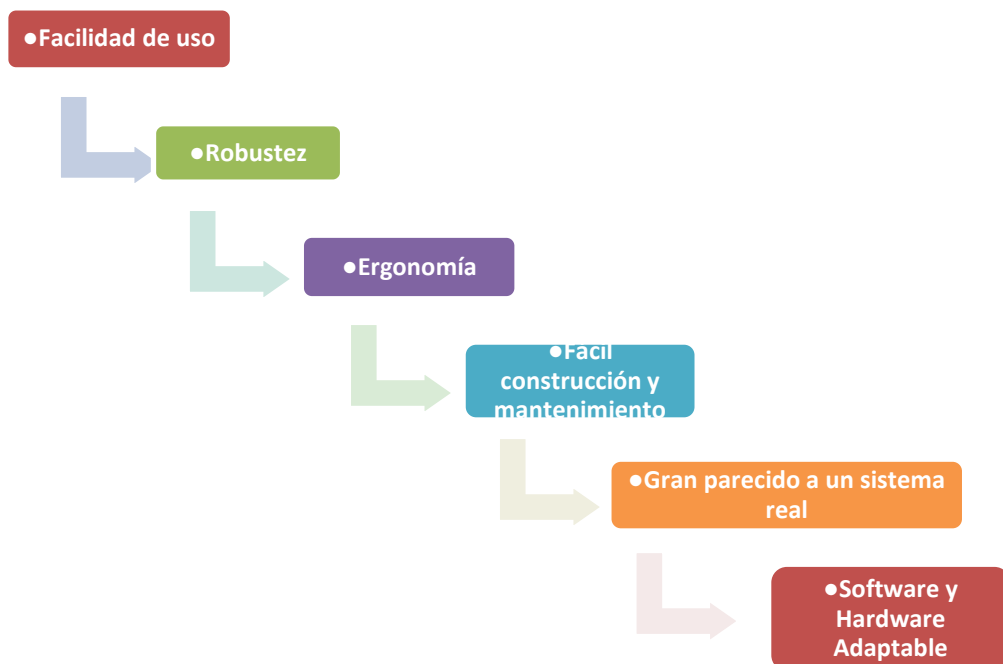
En el presente capítulo se analizan cada uno de los requerimientos del usuario, se detalla el diseño concurrente de los sistemas mecánicos y electrónicos del simulador, la selección de los componentes que integran el sistema y se analiza su funcionamiento ante diversos factores.

#### 3.2 Conceptualización del proyecto

Partiendo desde el concepto de diseño en el cual se busca solucionar una necesidad a partir de adaptar un sistema a un problema determinado, se han considera algunas de las necesidades detectadas como estudiantes de la universidad, al haber tomado la catedra de soldadura, siendo consideradas como las más importantes las siguientes:

**Figura 9**

*Necesidades para el aprendizaje de soldadura mediante un sistema de simulación*



Todas y cada una de las necesidades planteadas en la Figura 9 serán analizadas a continuación:

- **Facilidad de uso**

Al ser un dispositivo enfocado a la enseñanza es primordial que sea interactivo facilitando en gran medida su uso antes durante y después del proceso de enseñanza.

- **Robustez**

Al estar sometido a un uso constante durante el aprendizaje los dispositivos físicos que integren este sistema de simulación deben asegurar una vida útil lo más larga posible. Mas adelante se realizará un análisis detallado de cada uno de los materiales y los componentes a implementar dentro del simulador.

- **Ergonomía**

El módulo de enseñanza debe ser ergonómico, debido a los extensos periodos de tiempo que invertirá el usuario durante el aprendizaje mejorando la interacción de este con el dispositivo y también garantizando que el dispositivo sea confortable.

- **Fácil construcción y mantenimiento**

Debido a que el dispositivo está enfocado a estudiantes de ingeniería la facilidad durante el proceso de instalación debe ser primordial ya que en ciertos casos las fallas de instalación pueden generar error en el proceso de aprendizaje.

Se sugiere que el equipo debe ser modular facilitando así su armado y desarmado del dispositivo en el caso de que se requiera dar un mantenimiento mecánico o eléctrico, es

decir durante el remplazo de alguna pieza de la carcasa o de algún componente electrónico los cuales conformen ese sistema.

- **Gran parecido a un sistema real**

Debido a que es un sistema de enseñanza técnica, es primordial que el dispositivo o sistema a desarrollar tengan una alta similitud con el dispositivo de soldadura real ya sea en apariencia y en funcionamiento ya que de esta forma el estudiante de ingeniería podrá verse inmerso en un ambiente real adaptándose hasta cierto punto a una futura manipulación de un proceso netamente real.

- **Software y Hardware Adaptable**

La adaptabilidad del módulo de enseñanza debe estar enfocada en la instalación de este módulo en diferentes tipos de hardware con diferentes especificaciones y también tomando en cuenta el evitar generar errores del propio software o con terceros ya sea durante la instalación o el funcionamiento del simulador.

### **3.2.1 *Diseño de conceptos***

Tomando en cuenta las necesidades planteadas anteriormente, se plantearán ciertas alternativas para estas. En la siguiente Tabla 1 se plasman los conceptos que permitirán cubrir cada una de estas necesidades.

**Tabla 1***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.

Para definir cuál de estos conceptos es el que debe guiar el diseño del equipo se procede a realizar una evaluación del peso específico de los considerados como principales (Riba Romeva, 2002). En la siguiente Tabla 2 se especifica la comparación entre los diferentes criterios de necesidades, definiendo que la facilidad de uso es el concepto que debe guiar el diseño.

**Tabla 2***Pesos específicos de cada criterio*

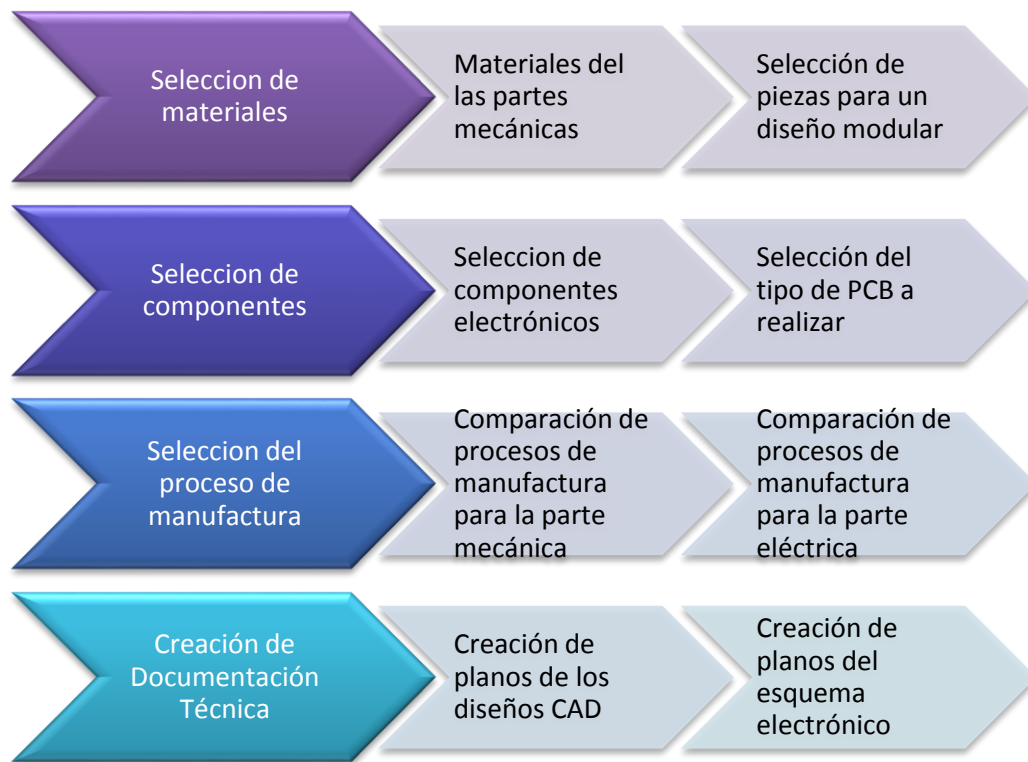
CRITERIO	FACILIDAD DE USO	ROBUSTEZ	ERGONOMÍA	FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO	GRAN PARECIDO AL SISTEMA REAL	SOFTWARE Y HARDWARE ADAPTABLE	M	PONDERA
Facilidad de Uso		0.5	0.5	1	0	1	3	0.27
Robustez	0.5		0.5	0	0	0.5	1.5	0.14
Ergonomía	1	0					1	0.09
Fácil construcción y mantenimiento	1	1	0.5		0	0	2.5	0.23
Gran parecido al sistema real	0.5	0	0.5	0		0	1	0.09
Software y Hardware Adaptable	0.5	0.5	0	1	0		2	0.18
						$\Sigma$	11	1

### 3.3 Diseño a detalle

En el proceso que conlleva la realización de un producto viable, el diseño a detalle es una de las fases de su desarrollo en el que se analizan los conceptos preliminares del sistema total y se realizan las definiciones de sus geometrías finales, se seleccionan los materiales y piezas adecuados para el uso, además de realizar la documentación pertinente a cada etapa del diseño (Ulrich & Eppinger, 2013). Por lo cual en esta etapa del proyecto se definirán primero las piezas y los materiales que se utilizarán para la generación del producto final tomando en cuenta aspectos primordiales para el proyecto como se muestra en la Figura 10.

**Figura 10**

*Gráfica de Proceso del diseño a detalle del sistema*



### **3.3.1 Selección de Materiales**

En la selección de materiales se deben tomar en cuenta aspectos muy importantes del desarrollo de productos, como son la ergonomía, el costo, la manufactura y por los tiempos en el que nos encontramos se ha empezado a incluir entre estos aspectos el ambiental. Para realizar un análisis tomando en cuenta todos estos aspectos se usará una matriz de decisión de Pugh como se muestra en la Tabla 3, ya que dicha matriz puede facilitar bastante la evaluación de soluciones por medio de algunos criterios significativos para el desarrollo, como los que se comentaron anteriormente, y así poder satisfacer dichos criterios con la selección (Lønmo & Muller, 2014).



**Tabla 3**

*Comparación de materiales disponibles para el desarrollo de las piezas mecánicas.*

SELECCIÓN DE MATERIALES DE FABRICACIÓN					
	Pes	Madera	Plástico	Alumini	Plástico
	o		PETG	o	ABS
Costo Económico	4	-	+1	-1	0
Impacto Ambiental	2	-	-1	+1	-1
Diseño Ergonómico	2	-	0	0	0
Procesos de Manufactura	3	-	+1	-1	+1
Disponibilidad en el Mercado	4	-	+1	-1	+1
<b>EVALUACIÓN:</b>			9	-9	5

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

De la matriz de selección obtenemos que el mejor material para realizar todas las partes mecánicas del proyecto es el Plástico PETG por su bajo costo y fácil disponibilidad en el mercado, además que es un tipo de plástico que viene de los desechos del maíz por lo cual su impacto en el medioambiente es relativamente bajo en comparación con otros plásticos que provienen de derivados del petróleo.

Una vez tenemos el material de fabricación seleccionado, procedemos a seleccionar las piezas que se van a adquirir ya fabricadas, pensando siempre en que el proyecto sea modular y las piezas seleccionadas sea de fácil adquisición y reemplazables.

**Tabla 4***Selección de partes fabricadas aplicadas al proyecto*

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 realizad 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

### **3.3.2 Selección de Componentes**

Para la selección de componentes nos centraremos en los componentes electrónicos como los sensores, interruptores y circuitos integrados, ya que no se abordará la selección de los componentes pasivos que se necesitan para hacer que la PCB funcione de manera adecuada y sin fallos de diseño. Por dicha razón en la Tabla 5 se analizan los sensores de distancia para el censado de la ubicación de la boquilla de la antorcha de la superficie a soldar.

**Tabla 5**

*Selección del sensor de distancia adecuado para el proyecto*

SELECCIÓN DEL SENSOR DE DISTNACIA					
	Peso	Ultrasóni co HC- SR04	Infrarrojo TOF1012 0	Sharp Gp2y0a21yk 0f	Infrarrojo VL6180X
Costo Económico	4	-	-1	-1	+1
Entrega de Datos	2	-	+1	+1	+1
Rango de medición	2	-	0	0	0
Complejidad de Manejo	3	-	-1	0	-1
Disponibilidad en el Mercado	4	-	+1	+1	+1
EVALUACIÓN:			-1	2	6

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

El resultado de la matriz de Pugh es que el mejor sensor para nuestro proyecto es el sensor de distancia infrarrojo VL6180X, ya que es de un costo bajo, se puede encontrar en módulos que facilitan su aplicación y hace del sistema más modular, además de eso se cuenta con disponibilidad en el mercado lo cual reduce los costos y tiempos al no tener que importarlo. Este sensor tiene una entrega de datos por medio del protocolo de comunicación I2C, con lo cual también cuenta con una mayor precisión en el envío de datos al utilizar solo dos cables y entregar las medidas de manera más rápida al microcontrolador.

El otro sensor que debe ser elegido mediante la matriz de decisión como se en la Tabla 6, es el sensor IMU, que va a ser el encargado de medir los datos de aceleración y velocidad angular de la antorcha para así poder usar esos datos en la interfaz de realidad

aumentada y poder censar la inclinación a la que se encuentra la antorcha mientras se procede a realizar la soldadura.

**Tabla 6**

*Selección del sensor IMU para su implementación en el proyecto*

SELECCIÓN DEL SENSOR INERCIAL					
	Peso	Módulo DFR0209	Módulo MPU-9250	Módulo MPU-6050	Módulo LSM6DS33
Costo Económico	4	-	+1	+1	+1
Entrega de Datos	2	-	0	0	0
Grados de libertad	2	-	+1	0	0
Complejidad de Manejo	3	-	0	0	0
Disponibilidad en el Mercado	4	-	-1	+1	-1
<b>EVALUACIÓN:</b>			<b>2</b>	<b>8</b>	<b>0</b>

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

Se obtiene de la matriz que el sensor que ofrece las mejores prestaciones para aplicarlo en el proyecto es el sensor inercial MPU-6050 cuyo costo no es elevado y cuneta como el resto de los sensores comparados con una entrega de datos por medio del protocolo de comunicación I2C, por lo que su precisión es muy buena y al tener funciones de cálculo integradas se facilita su manejo. Una de las características que más conviene a la hora de asegurarnos un fácil recambio del sensor si en algún caso llegara a dañarse es la disponibilidad de este en el mercado.

Una vez tenemos los sensores que se van a utilizar procedemos a realizar la selección del microcontrolador a utilizar para la recepción y manejo de datos desde los

sensores hasta el envío final a la interfaz de realidad aumentada. La selección del microcontrolador debe ser en base a sus características más importantes, aunque al no tener tanta demanda de procesamiento uno de los enfoques más relevantes para nosotros es la facilidad de uso con la plataforma Unity y su fácil adquisición ya que muchos de los microcontroladores del mercado no se pueden encontrar de manera fácil en el mercado ecuatoriano como vemos en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Selección del microcontrolador para el proyecto*

SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR					
	Peso	PIC 18F4550	AVR ATmega328p	PIC 16F877A	STM STM32F4
Costo Económico	4	-	+1	0	+1
Manejo con Unity	4	-	+1	0	-1
Tipos de Encapsulados	3	-	0	0	+1
Facilidad de Programación	2	-	0	0	0
Arquitectura de Hardware	2	-	0	0	+1
Protocolos de Comunicación	3	-	-1	-1	+1
Disponibilidad en el Mercado	4	-	0	0	-1
<b>EVALUACIÓN:</b>			<b>5</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

Para el microcontrolador se eligió uno de la familia AVR, exactamente el microcontrolador ATmega328p que es uno de los más conocidos y con más disponibilidad en el mercado ya que es el microcontrolador que poseen las tarjetas de prototipado Arduino

Uno y Arduino Nano por lo cual su adquisición no resulta difícil además que estos mismo microcontroladores pueden ser programados quemándoles primero el propio bootloader que ofrece la empresa de Arduino para estos micros y con la posibilidad de utilizar un Arduino Uno para programar el micro mediante el protocolo de comunicación SPI hace que no se necesite ningún programador externo.

Una vez tenemos el microcontrolador otro de los dispositivos que se deben seleccionar de manera adecuada es el conversor de protocolo TTL a USB, para así poder entablar la comunicación con la interfaz de Unity; existen circuitos integrados para poder realizar la conversión de protocolos de comunicación a USB y cada uno de estos tienen características similares, pero como en todo uno de los factores dominantes será su disponibilidad en el mercado como su robustez como se ve en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Selección de los conversos del protocolo TTL a USB*

SELECCIÓN DEL CONVERTOR DE TTL A USB					
	Peso	CH340	CP2102	FT232RL	PL2303HX
Costo Económico	4	-	-1	-1	-1
Facilidad de Manejo	2	-	0	0	0
Tipos de Encapsulados	3	-	-1	0	0
Protocolos de Comunicación	4	-	+1	+1	0
Disponibilidad en el Mercado	5	-	+1	+1	0
<b>EVALUACIÓN:</b>			2	5	-4

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

Con la selección de todos los componentes electrónicos de mayor relevancia podemos proceder a la selección del tipo de diseño que se va a realizar para las placas PCB, por lo cual se establecemos parámetros de selección sencillos por el simple hecho de que no existen tantas alternativas a la hora de realizar placas de circuitos impresos en el mercado.

**Tabla 9**

*Selección del tipo de diseño de las placas PCB*

SELECCIÓN DEL TIPO DE PCB					
	Peso	Placas Rígidas	Placas Flexibles	Rígido Flexible	Placas de Aluminio
Costo Económico	4	-	-1	-1	-1
Facilidad de Fabricación	3	-	-1	-1	0
Manejo de Número de Caras	2	-	-1	+1	0
Protección contra el Ambiente	2	-	+1	+1	0
Disponibilidad en el Mercado	5	-	-1	-1	-1
<b>EVALUACIÓN:</b>			-12	-8	-9

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

Para el diseño de placas PCB la mejor opción para nuestras necesidades sería realizar una placa rígida y para el diseño se tendría la opción de realizar de una a dos capas en la tarjeta PCB.

### **3.3.3 Selección del Proceso de Manufactura**

Para la selección del proceso de manufactura que se usara para el desarrollo de las diversas partes del sistema lo primero es poder separar en dos ámbitos importantes del desarrollo, que es la parte del desarrollo mecánico y el desarrollo electrónico, pues los dos

poseen métodos de fabricación diferentes los cuales se compararán para poder seleccionar el mejor en base a nuestros requerimientos de los mismos.

Para lo cual se realizó una comparación de los procesos de manufactura de las partes mecánicas que previamente han sido modeladas en un software CAD, para esto se debe tener en cuenta que el material elegido para su fabricación fue el plástico PETG con lo cual se analizaron procesos que incluyan a este material como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Comparación de procesos de manufactura para plástico PETG*

SELECCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA					
	Peso	Impresión 3D	Mecanizado CNC	Moldeo por Inyección	Fundición de Polímeros
Costo de Producción	4	-	-1	-1	0
Plazo de Producción	2	-	0	+1	+1
Coste de Preparación Inicial	4	-	-1	-1	-1
Disponibilidad en el Mercado	5	-	0	0	0
Manejo de Geometrías Complejas	3	-	0	+1	-1
<b>EVALUACIÓN:</b>			<b>-8</b>	<b>-3</b>	<b>-5</b>

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

Para el proceso de manufactura de las partes mecánicas se eligió el proceso de manufactura aditiva mediante impresión 3D por sus bajos costos de producción en comparación con otros procesos de manufactura y su posibilidad de realizar geometrías



medianamente complejas, y aunque el acabado no es tan bueno como con otros procesos su coste y disponibilidad en el mercado hicieron de este proceso la mejor opción.

Para el desarrollo de las placas PCB rígidas existen algunas opciones de manufactura desde las más artesanales hasta llegar al desarrollo profesional por medio de empresas que se dedican a la fabricación de estas placas PCB, estos métodos de fabricación tiene sus ventajas y desventajas por lo cual se va a tomar muy en cuenta el aspecto no tanto económico, como se ve en la Tabla 11, sino la disponibilidad y el tiempo de producción por si se llegara a requerir algún cambio imprevisto en su diseño.

**Tabla 11**

*Comparación de procesos de manufactura de circuitos impresos PCB*

SELECCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA				
	Peso	Fabricación por ácido Férrico	Mecanizado CNC	Fabricación mediante empresas
Costo de Producción	3	-	-1	+1
Disponibilidad en el Mercado	5	-	0	-1
Calidad final del circuito PCB	3	-	-1	+1
Tiempo de Producción y Entrega	4	-	0	-1
Uso de Diversos Tamaños de Pista	4	-	-1	0
EVALUACIÓN:			-10	-3

*Nota.* Para la ponderación se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 es lo menos importantes y 5 es lo más importante.

Para la manufactura del circuito impreso PCB se optó por tomar una de los métodos artesanales de fabricación de estos circuitos impresos en función de la amplia disponibilidad de este proceso en el mercado, además de su costo relativamente bajo y su rápida

fabricación y entrega que es el punto decisivo por el cual no se envió a fabricar los circuitos PCB donde empresas especializadas en esta área, porque dichas empresas no se encuentran en el mercado ecuatoriano y su tiempo de entrega puede llegar a tomar semanas o meses.

### **3.3.4 Creación de la Documentación Técnica**

En cuestiones de documentación se debe tener en cuenta que la documentación técnica debe ser realizada en base a normas, las mismas que rijan los aspectos técnicos del diseño y la presentación de los componentes y sus estructuras como un conjunto en el proyecto propiamente dicho. Para esto tenemos la normativa INEN para dibujos y planos mecánicos que se aplican en los territorios del Ecuador; esto para la documentación de las piezas mecánicas, ya que para la documentación de los diseños electrónicos se tiene como normas de referencia las del Instituto de Circuitos Impresos, IPC por sus siglas en inglés (Institute of Printed Circuits), específicamente la norma IPC D325 para la documentación de esquemáticos eléctricos y electrónicos la cual se usará de referencia más no se aplicarán todos los conceptos que allí se estipulan, ya que las normas nos son una guía de referencia solamente.

### **3.4 Consideraciones de diseño**

Después de haber definido los sensores, el tipo de material, los tamaños y las formas de ciertos componentes del dispositivo propuesto, es necesario seleccionar un modelo real en el cual se va a basar y desarrollar el módulo de enseñanza. Para esto primero se definirá cuáles serán los módulos o subsistemas que conformarán el módulo de enseñanza.

Dentro de la Tabla 12 se seleccionan los componentes esenciales que conforman un sistema real de soldadura mig, los cuales cumplan con necesidades definidas anteriormente ya que al ser un sistema de enseñanza obviamente existirán elementos los cuales serán

necesarios simular. Esta determinación se la realizó en base a los pesos específicos que cada elemento dentro del sistema aporta al simulador de soldadura

**Tabla 12**

*Pesos Específicos de elementos para el simulador*

ELEMENTOS	CASCO	ANTORCHA	CILINDRO PROTECTOR DE GAS	PIEZA DE TRABAJO	GENERADOR DE ARCO	CARRETE DE ALAMBRE	M	PONDERA
Casco		1	0.5	1	0.5	0	3	0.23
Antorcha	1		0.5	0.5	0.5	0.5	3	0.23
Cilindro protector de gas	0	0.5		0	0.5	0	1	0.08
Pieza de Trabajo	1	0.5	0.5		0.5	0.5	3	0.23
Generador de Arco	0.5	0	0.5	0		0.5	1.5	0.12
Carrete de alambre	0.5	0.5	0	0.5	0		1.5	0.12
						$\Sigma$	13	1

En base a los datos obtenidos en la Tabla 12 se tomó como elementos necesarios a ser incluidos dentro del sistema de enseñanza a aquellos que ponderan mas de 0.2 debido a su alta relevancia dentro del sistema real.

### 3.5 Diseño mecánico del sistema (CAD)

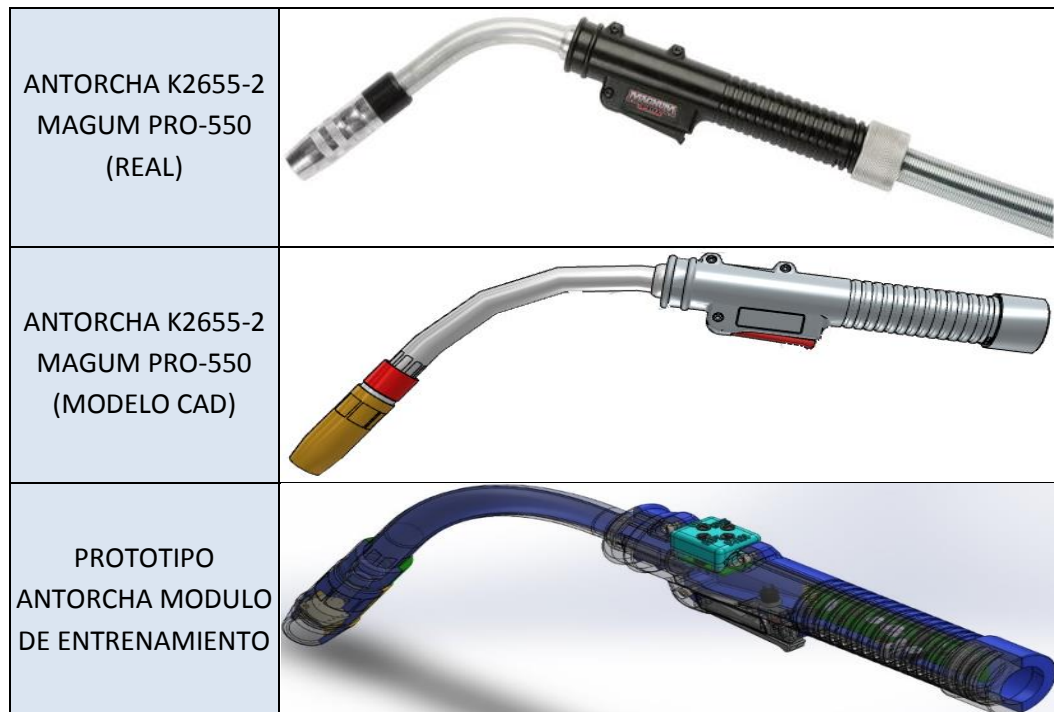
Una vez definidos los requerimientos, así como los componentes por los cuales el simulador deberá estar conformado. Se procede a realizar el diseño de cada uno de los componentes tomando en cuenta ciertas consideraciones de diseño que facilitaran la producción de este módulo de entrenamiento, así como la fácil reproducción de este modelo por parte de un estudiante de ingeniería en la comodidad de su hogar.

### 3.5.1 Antorcha

Para el diseño de la antorcha se procede a seleccionar el modelo de antorcha K2655-2 Magum PRO-550 fabricado por LINCOLN ELECTRIC para garantizar el cumplimiento del gran parecido a un sistema real siendo este uno de los requerimientos del usuario mencionado anteriormente.

**Figura 11**

*Comparación visual de Antorchas*



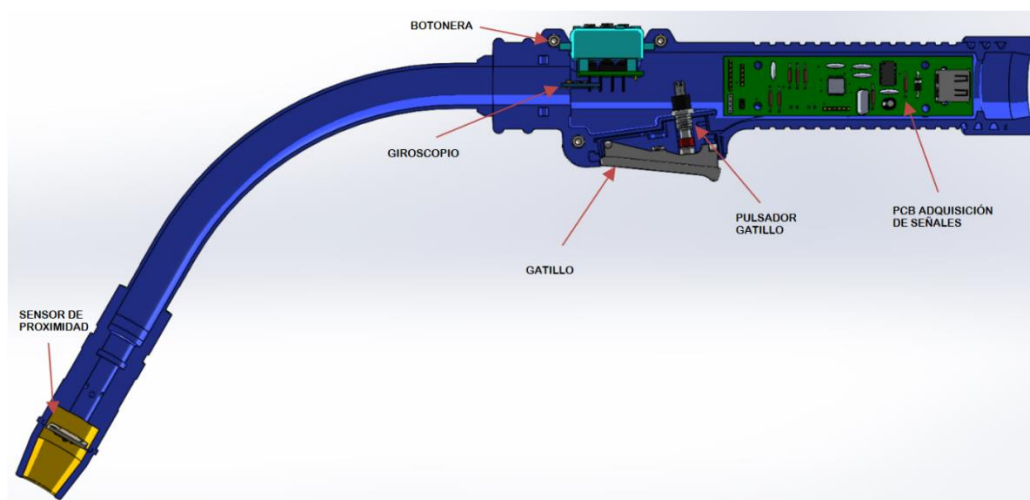
*Nota.* Los modelos real y CAD han sido tomados de archivos CAD Lincoln Electric [Imagen], por Lincoln Electric, s/f. K2655-2 Magum Pro-550

En la Figura 11 se destaca las similitudes visuales que existen entre la antorcha real, el modelo CAD oficial obtenido de la página oficial y el modelo final desarrollado para el módulo de entrenamiento. Es necesario destacar que la obtención del modelo CAD oficial facilita en gran medida el desarrollo y adaptación de esta estructura que será parte del simulador ya que será producida por manufactura aditiva más conocida como impresión 3D.

EL modelo ha sido modificado para añadirle ciertos componentes electrónicos los cuales facilitaran el monitoreo de los movimientos, así como la interacción del usuario con el software mediante pulsadores añadidos en una botonera. En la Figura 12 se muestra como todos los componentes electrónicos fueron ubicados dentro de la antorcha de soldadura.

**Figura 12**

*Ubicación de componentes electrónicos dentro de la antorcha de soldadura*

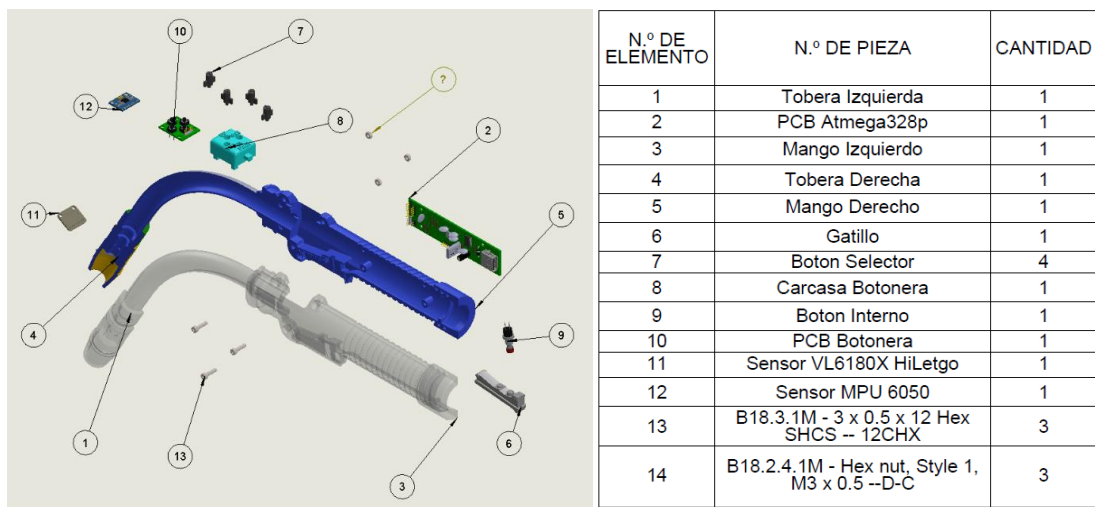


Para facilitar el ensamble y también la manufactura de este elemento se procedió a dividir a la antorcha en 7 partes como se detalla a continuación según el listado de elementos de la Figura 13: las piezas (1 y 4) son las que simulan la caña y la tobera de la antorcha; las piezas (3 y 5) serán las que estarán en contacto con las manos del practicante, motivo por el cual se procura tener fondos redondeados, ergonómicos y suaves para mejorar el agarre y la experiencia de usuario; la pieza (6) representará el gatillo con el que se activa el arco de la antorcha, el diseño se lo ha adaptado para que mantenga el realismo de funcionamiento durante la pulsación; las piezas (7 y 8) serán las encargadas de darle la oportunidad al usuario de navegar a través de la interfaz del software en donde se llevara a cabo la simulación del proceso de aprendizaje mediante la realidad aumentada.

Es necesario mencionar, que las piezas que se encuentran detalladas en la tabla de elementos y no fueron descritas en el párrafo anterior serán detalladas más adelante debido a que son componentes electrónicos y se ha especificado una sección dedicada únicamente para su descripción.

**Figura 13**

*Despiece antorcha y listado de componentes*

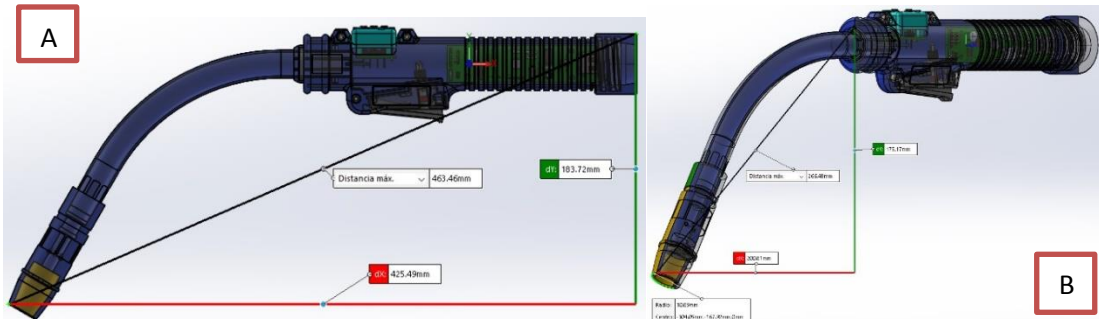


Al ser un modelo basado en un modelo comercial se mantiene todas y cada una de las medidas respecto al modelo original las modificaciones y adaptaciones se las ha realizado en la parte interior de la antorcha, así como en la parte superior sin afectar ninguna medida dentro de la escala o el tamaño del original.

Como se puede observar en la Figura 14 A, una vez completamente ensamblada la antorcha tendrá una longitud total de extremo a extremo o en eje x de  $425.49 \text{ mm}$ , también dentro de esta figura se puede observar que la antorcha tendrá una altura en el eje y de alrededor de  $183.72 \text{ mm}$ . Mientras que en la Figura 14 B, se puede observar que la longitud del elemento desde el extremo de la tobera hasta el inicio de la agarradera es de  $200.01 \text{ mm}$ , dentro de los anexos se detalla de manera específica cada una de las medidas de las partes que forman este elemento para mayor comprensión.

**Figura 14**

*Dimensiones de la Antorcha*



### 3.5.2 Soporte de Casco

Una vez definidos estos elementos se observó que debido a su relativo bajo costo el casco de soldadura este puede ser adquirido dentro del mercado ecuatoriano y en los puntos de anclaje del visor se adaptará tanto la cámara como la pantalla para la creación y visualización del entorno en realidad aumentada. Una de las razones por las cuales se tomó esta decisión es debido a la facilidad con la que se puede modificar este casco.

**Figura 15**

*Ubicación de componentes electrónicos sobre el Casco*



En la Figura 15 se observa claramente una imagen virtual de como cada uno de los componentes electrónicos estará ubicado en el casco de soldadura, también se puede ver como el visor ha sido sustituido por un modelo de soporte para la pantalla como se

menciona anteriormente, mientras que la cámara será ubicada en la parte superior del visor la cual servirá para que el estudiante pueda observar el entorno, así como para poder montar sobre esta imagen generada en tiempo real la realidad aumentada. Es necesario mencionar que en el casco comercial se deberá de realizar un corte para evitar que se obstaculice la visión del usuario, dichas medidas están detalladas en los anexos.

**Figura 16**

*Despiece casco y listado de componentes*



Dentro de la Figura 16 se detalla el despiece de todos los elementos que conforman el casco, se puede detallar que el visor ha sido diseñado para una pantalla de 5 pulgadas modelo el cual ha sido adquirido de la marca de desarrollo electrónico KUMAN. En la Figura 17 en cambio se detalla que una vez ensamblado el modelo mantendrá las mismas dimensiones de un casco comercial mientras que por su parte el visor conservará una dimensión para el interior de la pantalla de 111.18 milímetros, una profundidad de 65 milímetros y una altura de 67.18 milímetros, en la sección de los anexos en los planos se muestran a detalle todas y cada una de las medidas de este visor.



**Figura 17**

*Dimensiones casco y visor*

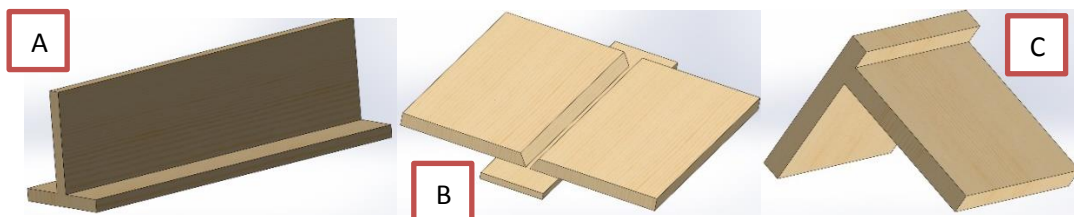


### 3.5.3 Piezas de Trabajo

Estos elementos son parte importante del proyecto debido a que acercarán al usuario con el proceso técnico a una escala real por tal motivo el diseño de estas está basado en la norma de soldadura AWS D1.1/D1.1M:2015 tomada de (American Welding Society, 2015) y en la publicación de (González Olivares & Vergara Díaz, 2011) acerca de “Influencia de la oscilación mecánica del arco en el proceso de soldadura MIG/MAG con transferencia metálica por corto circuito”, las medidas de todas estas piezas de prueba han sido basadas en algunas de las probetas para ensayos recomendadas por dicha norma y han sido seleccionadas para realizar el proceso de soldadura en posición 1G en uniones a tope, en T y en esquina, los otros tipos de uniones y posiciones de momento han sido descartados sin embargo, podrían ser abordados en futuros proyectos o investigaciones.

**Figura 18**

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



### **3.6 Ingeniería asistida por computadora (CAE)**

Es indispensable estudiar las propiedades mecánicas del diseño a desarrollarse con la finalidad de disminuir el porcentaje de fallo dentro del módulo ensamblado final. La implementación de softwares dedicados para simular los fenómenos que se podrían generar durante el funcionamiento del dispositivo al ser sometido a diferentes cargas permite examinar factor de seguridad que tendrá el módulo dentro de su entorno de trabajo permitiendo confirmar si tanto el material como el diseño y las dimensiones son los adecuados para el módulo de entrenamiento.

Cabe mencionar que únicamente se analizarán los elementos los cuales se consideran críticos dentro del módulo de entrenamiento, ya sea por las cargas a las que estarán sometidos al tener un contacto directamente con el usuario o por su ubicación dentro del módulo de entrenamiento. Se debe destacar que anteriormente ya se detalló la selección de materiales motivo por el cual en esta sección se busca únicamente determinar si son adecuados o no para comenzar el proceso de ensamble y manufactura.

#### **3.6.1 Antorcha**

En función de lo anteriormente mencionado para el estudio de las reacciones y propiedades se partirá asignando al software el material con el cual estará compuesto este dispositivo al ser un elemento que está pensado para ser impreso completamente en 3D en material PETG.

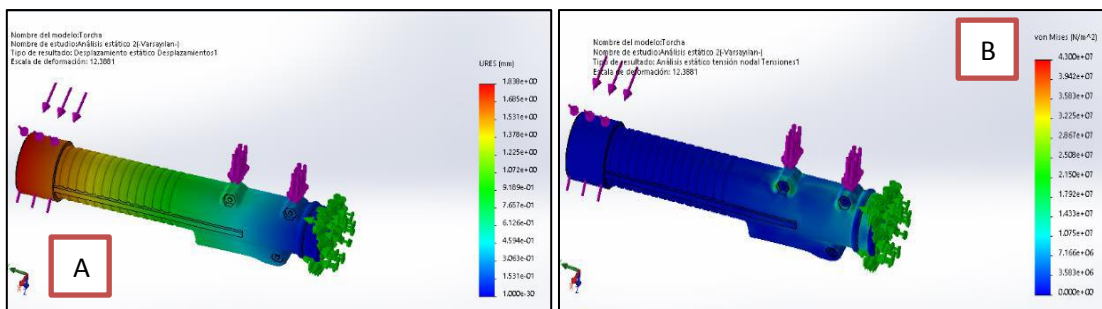
Como se mencionó anteriormente los elementos (3 y 5) de la tabla de elementos de la Figura 19 estarán en contacto con la mano del usuario durante el movimiento o la interacción del usuario con el software, por lo tanto, está se definirá como la carga a la cual dichos elementos se encontrarán expuestos. La fuerza de agarre promedio que un ser humano puede ejercer en una sola mano es de  $42.58 \text{ kgf}$  en su mano dominante y  $39.8 \text{ kgf}$  en su mano no dominante (Muñoz Jashimoto, de la Vega Bustillos, Lopez Millan,

Ortiz Navar, & Lucero Duarte, 2009), como carga crítica aplicada se tomará a la fuerza que puede ser ejercida por la mano dominante.

En la Figura 19 (A) se observa claramente que la deformación en la pieza en el caso de ser ejercida por la mano dominante de un hombre es de 1.83 milímetros, esto en la sección correspondiente a la base del mango de la antorcha de soldadura o también conocida como pistola de soldadura, es decir la deformación será extremadamente pequeña he imperceptible por el usuario. Esto indica que dicho elemento no sufrirá ningún fallo en el caso de ser sometido a la carga máxima durante su funcionamiento.

**Figura 19**

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



En la Figura 19 (B) se puede observar el análisis por tensiones de Von Mises, en el que se detalla el esfuerzo máximo a soportar podría ser en la zona donde estará ubicada la botonera con un valor máximo de  $4.3 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$ , valor que comparado con el límite elástico del PETG dado por el fabricante el cual es de  $68.65 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$  (Abax 3D Tech, 2022), permite obtener el factor de seguridad de este elemento.

Basado en la Ecuación (1) donde " $\sigma_d$ " es el esfuerzo de diseño, " $S_y$ " es la resistencia a la cedencia del material y " $N$ " es el factor de seguridad del material (Mott, 2009) se puede obtener el factor de seguridad de dicha pieza mecánica al despejar " $N$ " obteniéndose la Ecuación (2) y a partir de esa ecuación se rempazan los valores numéricos teniendo como resultado finalmente el factor de seguridad calculado en la Ecuación (3).

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (1)$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_d} \quad (2)$$

$$N = \frac{68.65 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{4.3 \times 10^7 \frac{N}{m^2}} = 1.59 \quad (3)$$

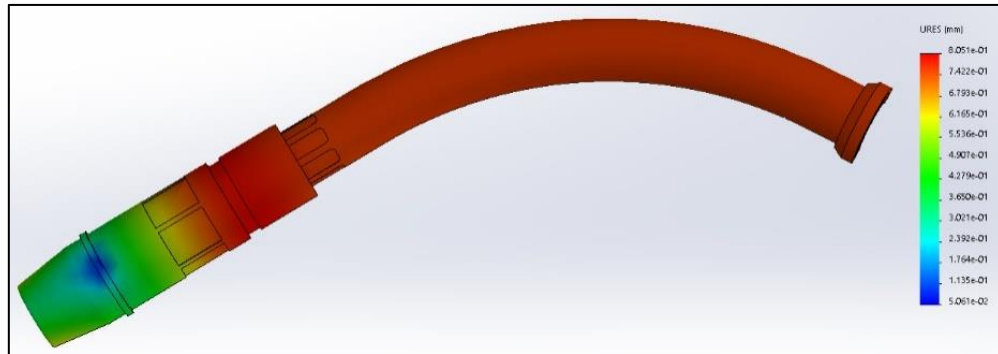
Al ser un elemento el cual no va a estar sometido a ningún tipo de esfuerzos o desgaste mecánico se determina que el elemento tiene un factor de seguridad adecuado lo que facilita en gran medida el prototipado y manufactura del elemento.

Otros elementos que son necesarios a considerar dentro de la tabla de elementos de la Figura 20 para un análisis CAE son las piezas (1 y 4), sin embargo, se hará un solo análisis ya que dichas piezas son exactamente iguales y simétricas. El análisis realizado se determinó en base a la caída de dicho elemento ya que es muy probable que accidentalmente puede soltarse del usuario. Para dicho análisis se definió como unidades relevantes a la gravedad con  $9.81 \frac{m}{s^2}$  y la altura hacia la cara de impacto dada por la magnitud antropomórfica conocida como “altura codo, de pie” la cual se define en la norma (EN-ISO 9241-5, 2018) y que es de 1110 milímetros para un hombre de tamaño promedio acorde a la norma (NTE INEN-ISO 7250-1, 2014) siendo la altura promedio en la cual se la tendrá ubicada a la antorcha.

En la Figura 20 se puede observar que la deformación máxima resultante en base a las condiciones mecánicas antes mencionadas para la caída es de 0.8051 milímetros el cual es un valor mínimo es decir esta cantidad de deformación no generará mayor afectación al modelo final durante su funcionamiento.

**Figura 20**

*Análisis de caída a 1110 milímetros*



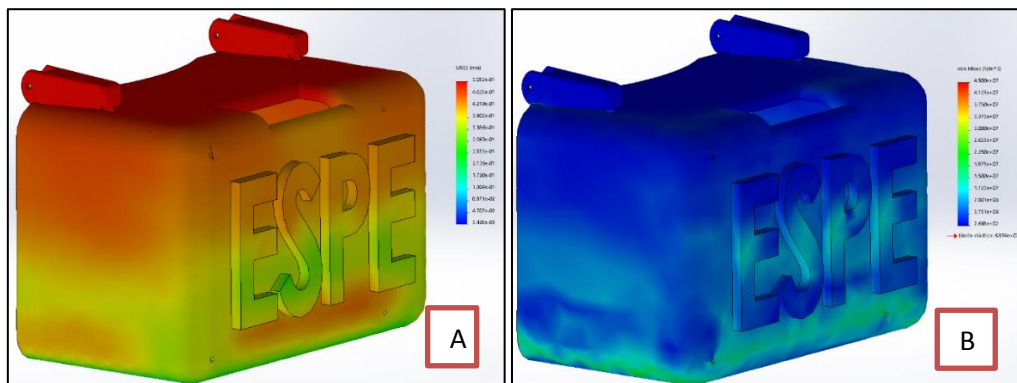
### 3.6.2 Soporte de Casco

Para este soporte el análisis realizado se determinó en base a la caída de dicho elemento ya que es muy probable que accidentalmente puede soltarse del casco durante la manipulación del usuario.

En la Figura 21 (B) se puede observar el análisis por tensiones de Von Mises, en el que se detalla que el esfuerzo máximo a soportar durante la caída podría ser en la zona de la base con un valor máximo de  $4.5 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$ , valor que comparado con el límite elástico del PETG dado por el fabricante el cual es de  $68.65 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$  (Abax 3D Tech, 2022), permite obtener el factor de seguridad de este elemento.

**Figura 21**

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



De la misma manera como en el análisis anterior basado en la Ecuación (1) donde " $\sigma_d$ " es el esfuerzo de diseño, " $S_y$ " es la resistencia a la cedencia del material y " $N$ " es el factor de seguridad del material (Mott, 2009) se puede obtener el factor de seguridad de dicha pieza mecánica al despejar " $N$ " obteniéndose la Ecuación (2) y a partir de esa ecuación se reemplazan los valores numéricos teniendo como resultado finalmente el factor de seguridad calculado en la Ecuación (4).

$$N = \frac{68.65 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{4.5 \times 10^7 \frac{N}{m^2}} = 1.53 \quad (4)$$

Al ser un elemento el cual no va a estar sometido a ningún tipo de esfuerzos o desgaste mecánico se determina que el elemento tiene un factor de seguridad adecuado lo que facilita en gran medida el prototipado y manufactura del elemento.

Mediante la Figura 21 (A), se puede verificar que la deformación máxima resultante en base a las condiciones mecánicas antes mencionadas para la caída es de 0.5052 milímetros el cual es un valor mínimo es decir esta cantidad de deformación no generará mayor afectación al modelo final durante su funcionamiento.

### **3.6.3 Piezas de Trabajo**

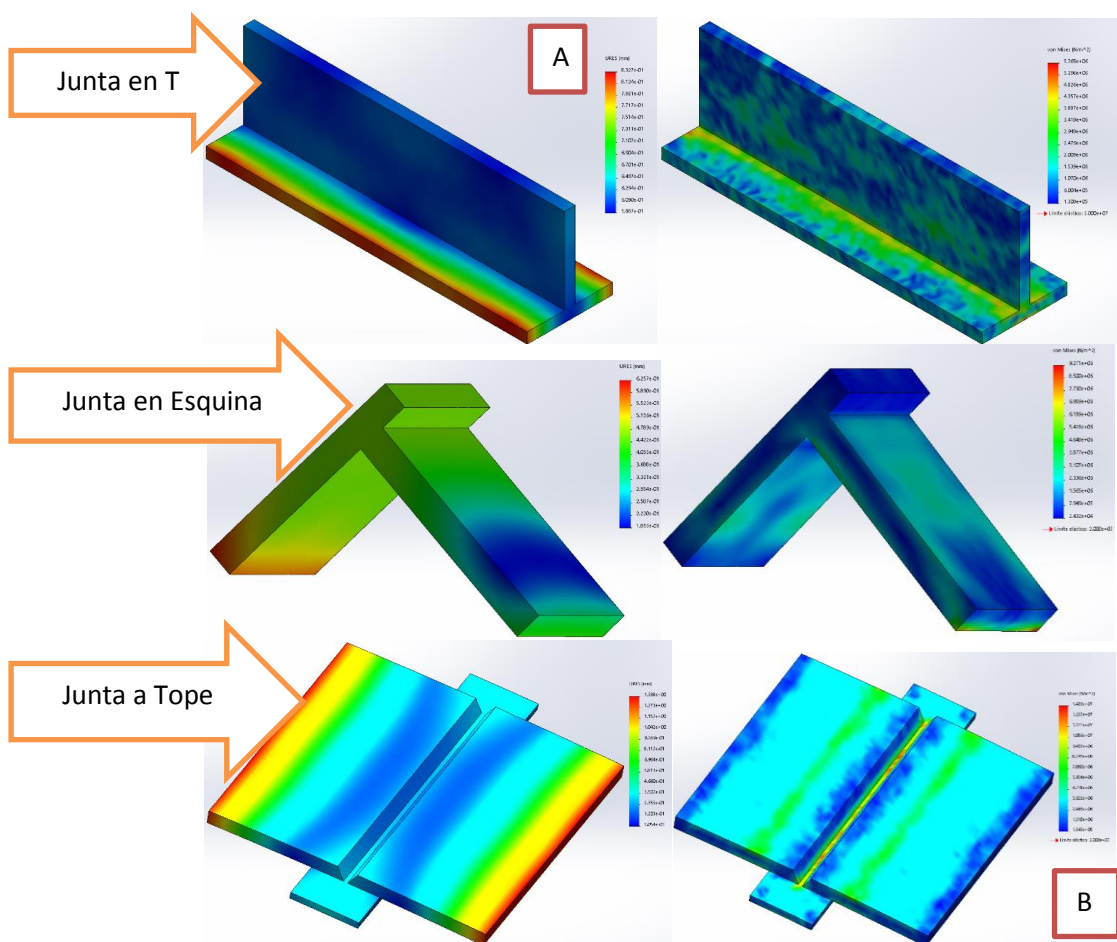
En el proceso de análisis de estos elementos debido a que son piezas que no van a estar sometidas a ningún tipo de esfuerzos de la misma manera se aplicó únicamente el análisis a una caída de 1110 milímetros basado en la norma (EN-ISO 9241-5, 2018). Cabe mencionar que dichas piezas están pensadas para ser elaboradas en madera, mientras que al ser elementos similares en la Figura 22 se puede observar la deformación máxima que se puede generar es en la junta a tope con un valor de 1.388 milímetros valor el cual es despreciable tomando en cuenta el factor de seguridad generado al aplicar las ecuaciones (1), (2) y (3) anteriormente tomando como el valor más alto de Von Misses generado

también en la junta a tope de  $1.403 \times 10^7 \frac{N}{m^2}$  y el límite elástico de la madera dado por el fabricante el cual es  $8.06 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$  (ATCP Ingeniería Física, 2022), obteniéndose un factor demasiado alto, es decir dichos elementos están sobredimensionados sin embargo se acepta debido al costo benefició que representa su implementación dentro módulo de entrenamiento.

$$N = \frac{8.06 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{1.403 \times 10^7 \frac{N}{m^2}} = 574.48 \quad (5)$$

**Figura 22**

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



### 3.7 Diseño electrónico

Para el diseño electrónico lo primero que se debe tener en cuenta es el número de placas PCB que se van a realizar, para lo cual se debe tener claro los sistemas electrónicos que manejamos para el proyecto y por eso dividimos todo el proyecto en cinco subsistemas fundamentales como se puede ver en la Figura 23.

**Figura 23**

*División de subsistemas de la parte electrónica del proyecto*



#### 3.7.1 Conversión de Protocolo TTL a USB

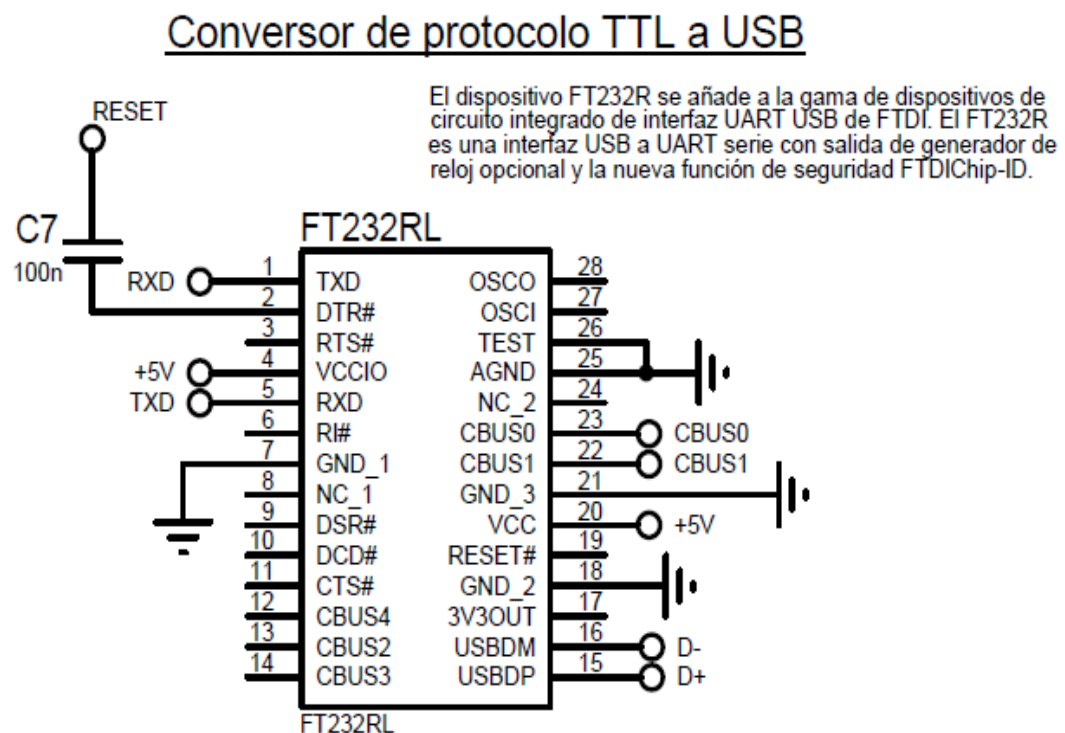
Uno de los subsistemas más importantes que tiene el proyecto es la etapa de conversión de las señales TTL que entrega el microcontrolador a señales en el protocolo de comunicación serial USB, para así poder realizar la comunicación con la computadora. Para lo cual se utilizará el conversor de TTL a USB seleccionado con anterioridad que es el



FT232RL para lo cual se utilizó el datasheet del componente para poder asegurar la comunicación correcta con el microcontrolador y el computador como se puede ver en la Figura 24.

**Figura 24**

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

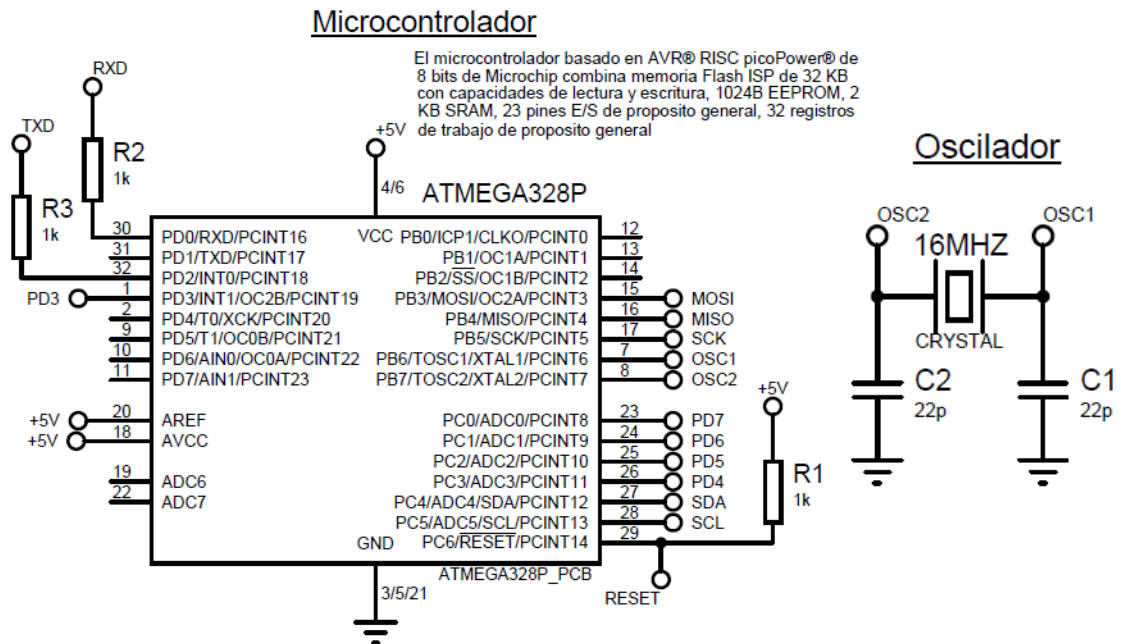


### 3.7.2 Control de microcontrolador

Como punto central de todo el sistema de electrónico tenemos la comunicación y configuración necesaria para asegurar el correcto funcionamiento del microcontrolador ya que es este el que procesara toda la información y realizara, por medio de los subsistemas de conversión TTL a USB y la comunicación con la computadora, la entrega de los datos para ser usado en la interfaz de realidad aumentada creada usando las herramientas dadas por el software de Unity.

Figura 25

## Subsistema del microcontrolador

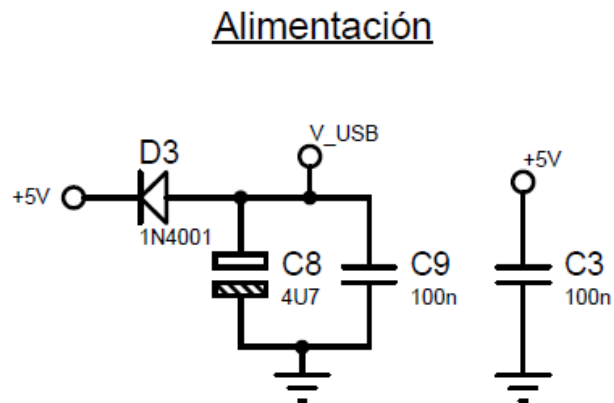


### 3.7.3 Alimentación Energética del sistema

Para la alimentación de todo el sistema se usará los cinco voltios que entrega la conexión del sistema con la computadora por medio de la entrada de USB del equipo, una vez obtenida la alimentación necesaria se deberá filtrar para la reducción de ruido eléctrico y asegurar la estabilidad de la alimentación no solo al microcontrolador sino también a los sensores; al utilizar módulos con regulación integrada en los mismos no se ve necesario regular la entrada de cinco voltios a lo necesario para cada sensor lo cual facilita el esquema de alimentación.

Figura 26

Subsistema de alimentación

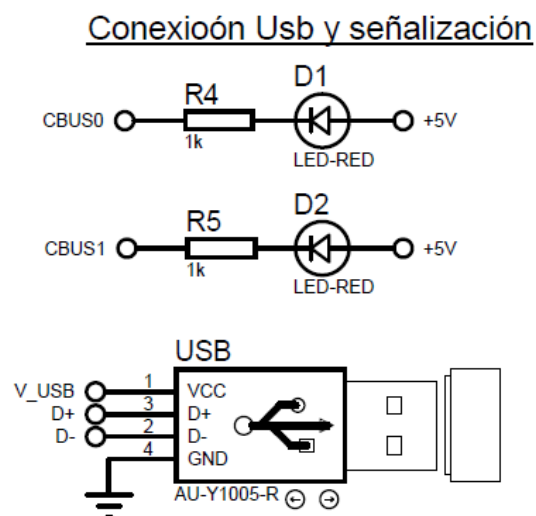


### 3.7.4 Conexión con la CPU

Para la comunicación con la CPU fue necesario la instalación de un puerto hembra de conexión USB tipo A, para así poder conectar un cable desde el ordenador hasta la tarjeta principal del sistema, este mismo para funciones de prueba se le ubico a la salida de los pines de señales del conversor FT232RL unos leds que nos indican si la conexión (el envío y la recepción de datos funciona) como se puede ver en la Figura 27.

Figura 27

Esquema de conexión del plug hembra USB y leds de señalética



### 3.7.5 Adquisición de Datos

Para el sistema de adquisición de datos se usaron borneras específicas para los pines de los módulos de sensores que se utilizaron por lo cual no hubo dificultades a la hora de realizar las conexiones. Se necesitaron solo resistencias de Pull-Up conectadas a alimentación y a los pines SDA y SCL, ya que todos los sensores se comunicaban con el microcontrolador por medio del protocolo I2C.

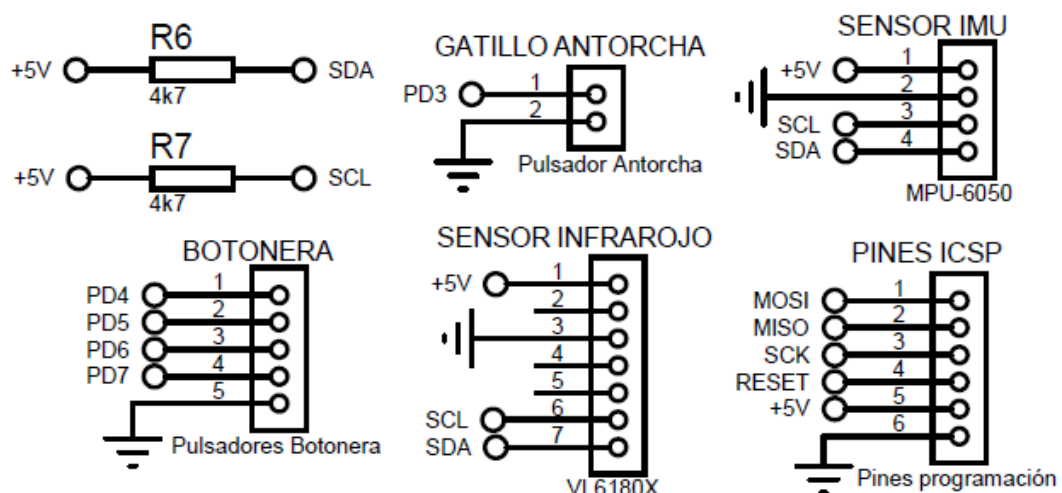
Para la entrada de señales digitales de los pulsadores de la botonera de selección y el pulsador del gatillo de la antorcha se usaron headers para la conexión de cables ya que, como el pulsador del gatillo, la botonera se encuentra separados de la placa principal en el segundo caso se diseñó otro circuito PCB aparte.

A todo esto, por el hecho de usar un microcontrolador de empaquetado TQFP tenemos la necesidad de incluir pines de programación para lo cual usaremos la ventaja que nos ofrece el microcontrolador de programarlo mediante el protocolo SPI y utilizando una tarjeta Arduino Uno como programador.

**Figura 28**

*Subsistema de adquisición de datos*

#### Comunicación de sensores por I2C, programación ICSP



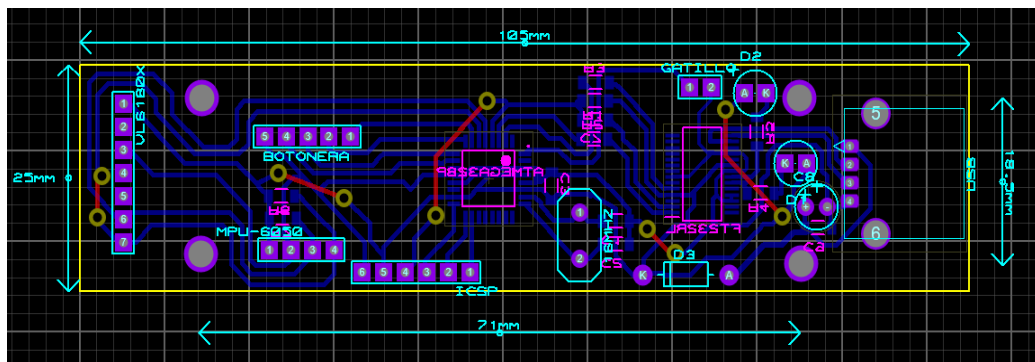
### 3.7.6 *Diseño de los Circuito Impresos PCB*

Con todos los subsistemas realizados tenemos que realizar el diseño la placa PCB mediante el uso de la normativa IPC 2221B que es la norma genérica para el diseño de circuitos PCB, para las pistas no se realizaron cálculos ya que para voltajes entre 0 y 15 voltios la norma IPC 2221B nos dice que la distancia entre pistas mínima debe ser de  $0.2\text{mm}$  y para corrientes de hasta  $700\text{mA}$  la medida de las pistas debe ser de como mínimo  $0.5\text{mm}$ . El circuito PCB principal y el circuito PCB de la botonera al tener la única finalidad de trabajar en adquisición de datos de sensores no industriales y no trabajar con etapa de potencia no se sobrepasara los  $30\text{mA}$  por pin utilizado, ya que este es el valor máximo que puede entregar cada pin del ATmega328p, por lo cual al estar utilizando 10 pines la corriente máxima utilizada será de  $300\text{mA}$ ; pero por cuestiones de fabricación no se puede realizar pistas menores a los  $0.5\text{mm}$  con lo cual aseguramos un diseño un poco sobredimensionado y así dar más robustez al sistema en general (IPC, 2012).

Para mejorar la distribución de los componentes también se optó por utilizar componentes pasivos, como resistencias y capacitores, en empaquetados SMD para poder aprovechar mejor el espacio y poder realizar una placa PCB de un solo lado, aunque se añadieron tres cables de unión por falta de espacio, como se puede observar en la Figura 29.

**Figura 29**

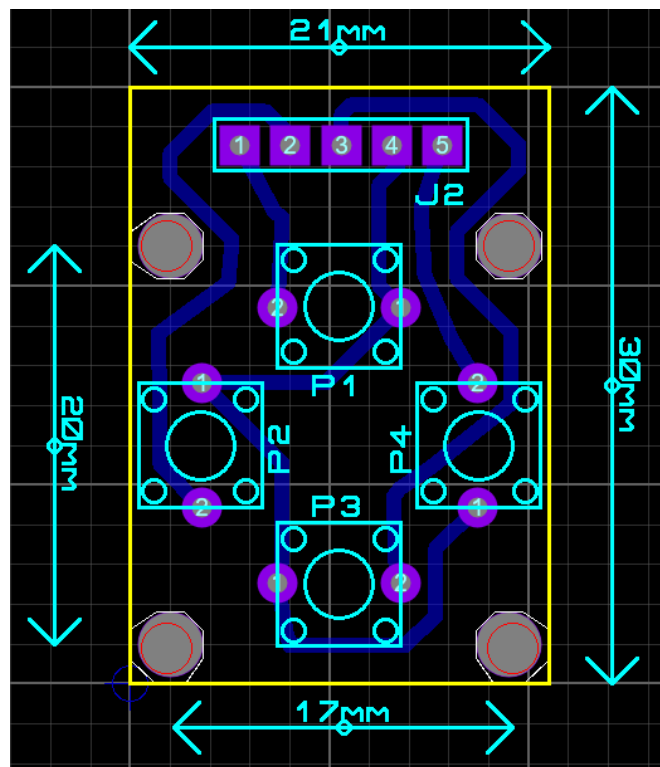
*Diseño del circuito impreso PCB principal a una sola capa*



Para el circuito impreso PCB de la botonera se realizó un diseño más simple, como se puede ver en la Figura 30, solo utilizando pulsadores de dos pines y centrándose en solo poner los pulsadores sin resistencia para poder activar las resistencias del Pull-Up que tiene integrado el microcontrolador lo cual ayudo a crear una PCB más pequeña en tamaño y de una complejidad muy reducida para la fabricación.

**Figura 30**

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



## Capítulo IV

### 4 Manufactura e implementación del módulo de entrenamiento

#### 4.1 Introducción

Realizado la conceptualización del módulo de enseñanza, seleccionados los componentes y realizados los diseños finales de lo que constara el sistema completo podemos pasar a la etapa de manufactura de dichos diseños para lo cual nuestro enfoque para este proyecto será realizar un prototipo totalmente funcional de cómo sería el módulo en la práctica, por lo cual nos basaremos en la construcción de las piezas mecánicas, la producción de los circuitos impresos PCB y en el ensamble conjunto de las partes mecánicas con los componentes electrónicos y los circuitos impresos PCB.

Para un mayor entendimiento del sistema completo, se integra todos los componentes y subsistemas que lo conforman para ser presentados en un esquema representativo del proceso como se presenta en la Figura 31, y el análisis de los sistemas electrónicos y de software en la Figura 32.

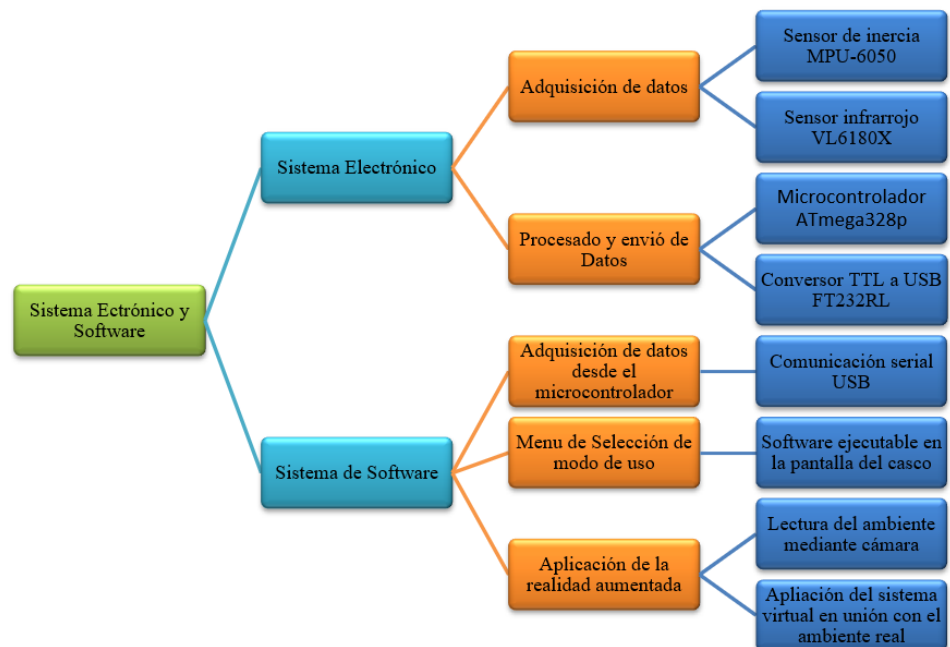
**Figura 31**

*Representación del sistema final en funcionamiento*



Figura 32

Esquema de funcionamiento de los sistemas electrónicos y de software



## 4.2 Manufactura y ensamble de elementos

Una vez se ha diseñado y analizado mecánicamente el sistema, así como también se ha determinado que el funcionamiento y su respuesta con el ambiente de trabajo será el adecuado, se realizará la manufactura de los componentes mediante software CAM. Se detallarán todos y cada uno de los procesos desarrollados para la fabricación y ensamble de las diferentes piezas que integran este módulo de entrenamiento.

### 4.2.1 Manufactura y ensamble Antorcha

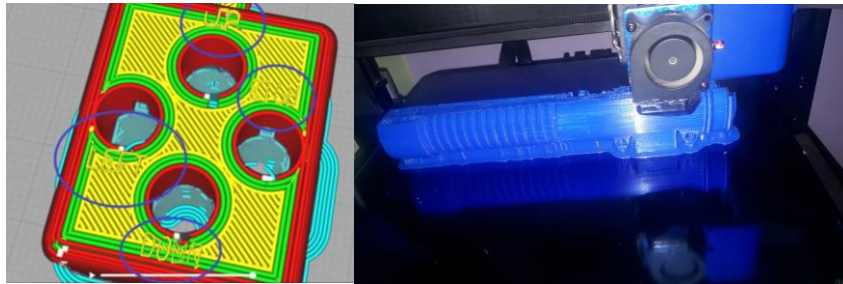
Al rediseñar la antorcha de soldadura de forma que pueda ser seccionada en partes se obtuvo como ventaja la facilidad de poder manufacturar el elemento mediante impresión 3D y como se determinó anteriormente este proceso se lo elaboró en material PETG, este proceso de prototipado rápido parte del concepto de fabricación asistida por computadora (CAM), en el cual se implementa una máquina de control numérico o CNC y un sistema de deposición de material fundido (FDM). Garantizando la fácil elaboración de geométricas



complejas y funcionales, las cuales contarán con la adecuada ligereza beneficiando directamente al proceso de aprendizaje.

**Figura 33**

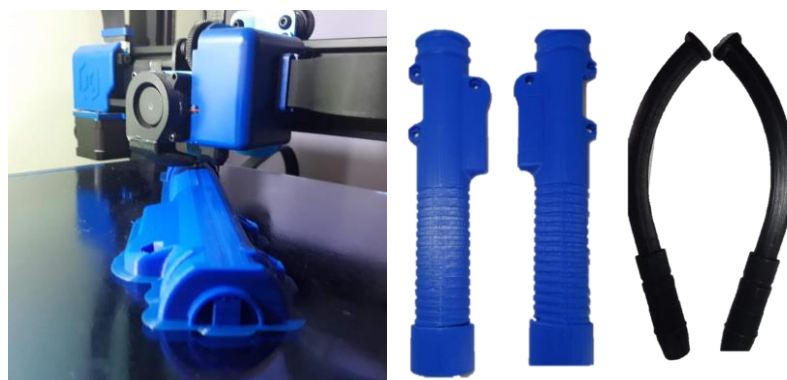
*Codificación tridimensional de la carcasa Botonera y proceso de impresión*



En la Figura 33 se puede observar una de las codificaciones tridimensionales desarrolladas para la elaboración de la carcasa donde irán ubicados cada uno de los botones, así también se observa el proceso de impresión de uno de los mangos que conformarán la antorcha de soldadura, cabe mencionar que la máquina utilizada para el desarrollo de este proceso ha sido la Artillery Sidewinder-X1 la cual tiene un área de impresión de 300 x 300 x 400mm. También es necesario mencionar que para cada pieza que conforma esta antorcha posee un mallado estructural con líneas diagonales y este mallado ocupa el 40% del interior para las piezas grandes: los mangos y las toberas, mientras que el 100% para las piezas más pequeñas como son los botones y el gatillo.

**Figura 34**

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



En las Figura 34 y la Figura 35 se puede observar de una forma más minuciosa los resultados finales del proceso de impresión 3D destacando el grado de detalle y la facilidad de manufactura de elementos pequeños que brinda este proceso de prototipado, también se observa el posicionamiento del gatillo así como las hendiduras donde se ubicarán cada uno de los sensores y los puntos de anclaje en los cuales se ubicará tornillos de tamaño M3 para que el modelo se pueda mantener completamente cerrado.

**Figura 35**

*Gatillo y botones ensamblados*



Finalmente, en la Figura 36 se puede observar el modelo de la antorcha terminado y ensamblado en donde se destaca gran parecido con un modelo de soldadura real el cual claramente ayudará al usuario a involucrarse en alta medida con el proceso de enseñanza que está realizando. Mas adelante se realizará el proceso de ensamble eléctrico dentro de la antorcha de soldadura.

**Figura 36**

*Carcasa de antorcha ensamblada vista desde diferentes ángulos*

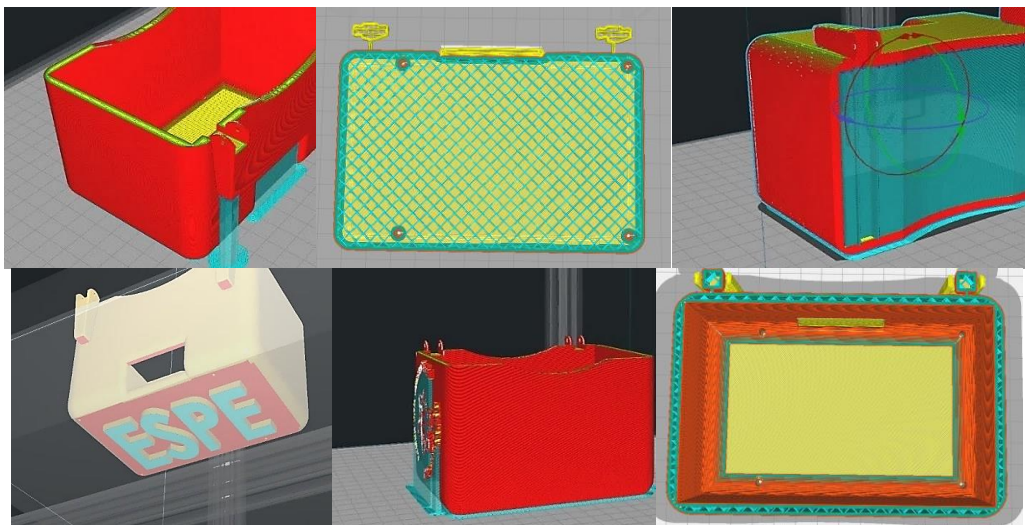


#### 4.2.2 *Manufactura del visor y ensamble Casco*

De la misma manera que la antorcha el soporte visor ha sido pensado para poder ser elaborado mediante un proceso rápido de manufactura por tal razón fue elaborado mediante una máquina de control numérico o CNC y un sistema de deposición de material fundido (FDM), es decir por impresión 3D en la máquina Artillery Sidewinder-X1 X1 la cual como se mencionó anteriormente tiene un área de impresión de 300 x 300 x 400mm y como parámetros de impresión se usó un mallado estructural con líneas diagonales y un mallado el cual ocupará el 50% del interior para todo el elemento.

**Figura 37**

*Codificación tridimensional del soporte para el casco*



En la Figura 37 se muestra la codificación que se usó dentro del software “Ultimaker Cura” se puede observar claramente las bases o soportes que serán generadas durante el proceso de impresión, también se observa cómo va a ir ubicado el elemento durante el proceso de manufactura y tanto el mallado como las paredes interiores y exteriores. Mientras que en la Figura 38 se puede observar el proceso de impresión del elemento durante algunas de las etapas de la producción del visor.

**Figura 38**

*Proceso de impresión de soporte visor*



Para la elaboración de los detalles pequeños como las letras y el sello de la carrera se utilizó una técnica de fabricación sustractiva digital la cual consiste en cortar el material en este caso acrílico mediante un haz de luz laser. En la Figura 39 se puede observar la gran presión y la calidad de resultados que obtuvieron al aplicar este proceso.

**Figura 39**

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



#### **4.2.3 Manufactura y ensamble Piezas de Trabajo**

En el caso de estos elementos al utilizar como materia prima la madera se utilizó un proceso de fabricación rústico el cual consiste en cortar tablonés en las medidas especificadas por la norma AWS D1.1/D1.1M:2015 de (American Welding Society, 2015) para

algunas de sus probetas de ensayos y se las procedió a unir mediante tornillería en las medidas indicadas para garantizar la sujeción.

**Figura 40**

*Piezas realizadas en madera*

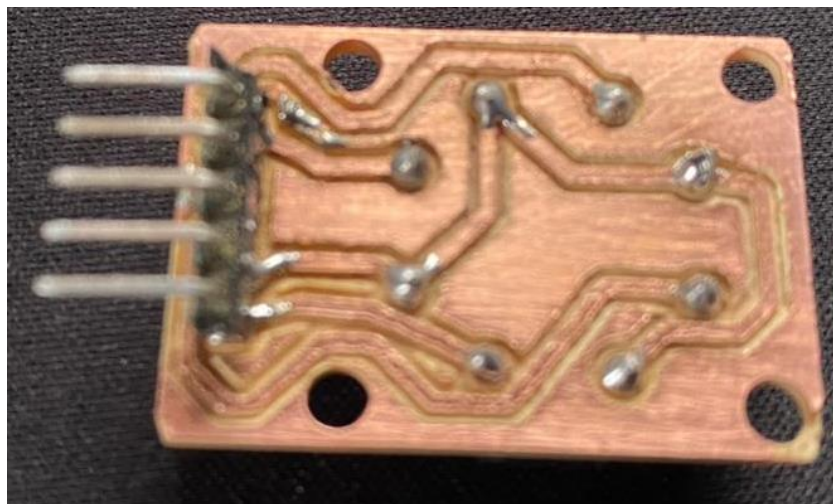


#### **4.2.4 Manufactura PCB**

Para la manufactura de los circuitos impresos PCB se desarrollaron por medio del software Proteus y se realizaron las placas mediante la fabricación artesanal por las características analizadas con anterioridad en el Capítulo III, mediante la realización de los circuitos impresos tenemos primeros las placas de la botonera como se muestra en la Figura 41 y Figura 42, mientras que para el circuito principal tenemos la Figura 43 y la Figura 44.

**Figura 41**

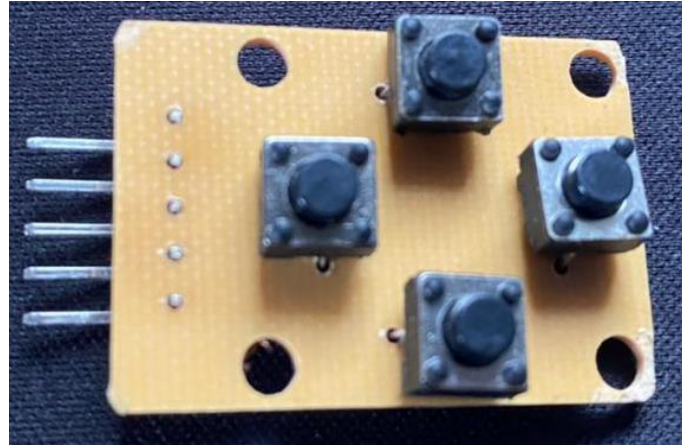
*Circuito impreso PCB de la botonera vista inferior*



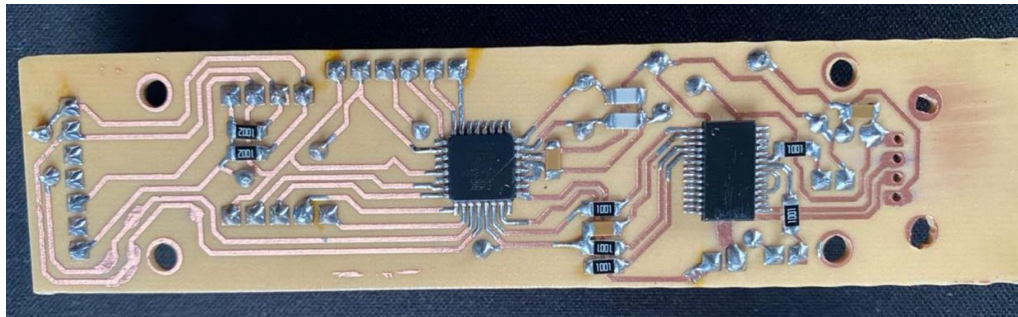


**Figura 42**

*Circuito impreso PCB de la botonera vista superior*

**Figura 43**

*Circuito impreso PCB principal vista inferior*

**Figura 44**

*Circuito impreso PCB principal vista superior*

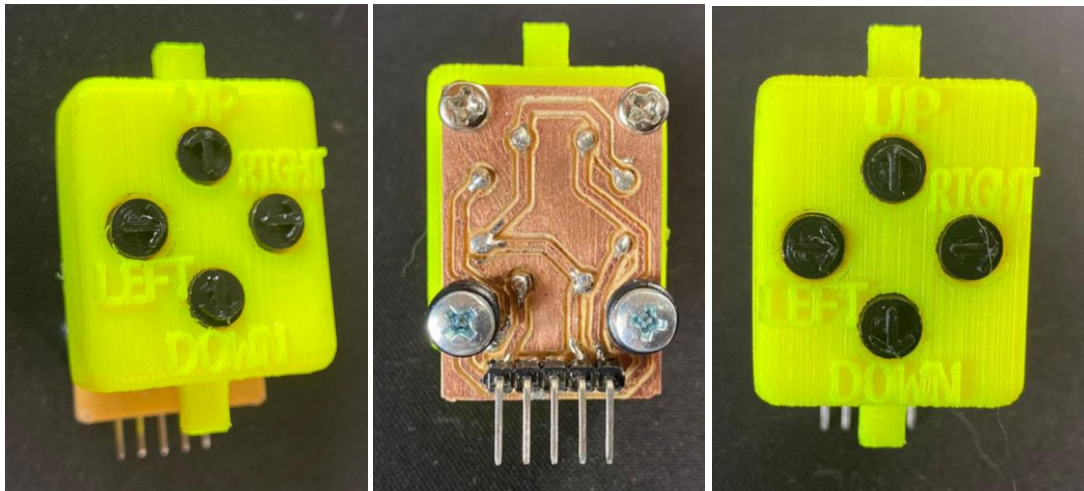


### 4.3 Implementación

La implementación de todos los sistemas y subsistemas del proyecto se realizan ensamblando los componentes electrónicos, los módulos en las piezas mecánicas manufacturadas, este proceso se realiza por medio de los espacios dejados para cada uno de los circuitos impreso ensamblados con los cables y sus partes electromecánicas, con lo cual su ensamble realiza de una manera sencilla y ayuda a que todo el sistema tenga una forma modular y así haya la opción de cambiar cualquier parte eléctrica o mecánica de los subsistemas. Para esto se empieza por ensamblar los botones y el circuito impreso PCB de la botonera como se puede ver en la Figura 45.

**Figura 45**

*Ensamble de la botonera de la antorcha*



Una vez tenemos ensamblada la botonera podemos ensamblarla en la antorcha por medio de las cuyas diseñadas para su ajuste una vez colocada como se muestra en la Figura 45, y para proceder con el ensamble de los módulos de los sensores colocándolos en los orificios diseñados para brindar un agarre seguro en la antorcha por posibles caídas de esta como se ve en la Figura 46.

**Figura 46**

*Colocación de la botonera ensamblada en la antorcha*

**Figura 47**

*Ensamble y colocación del módulo del sensor MPU-6050*



En la Figura 47 se puede observar como el sensor se ubicará dentro de la antorcha ya que en el interior de la misma debido a que durante el proceso de diseño se agregó pequeñas hendiduras adecuadas para la sujeción de distintos elementos, ya sean los sensores o los actuadores que serán parte de esta sección del módulo de entrenamiento.

**Figura 48**

*Ensamble y colocación del módulo del sensor VL6180X*

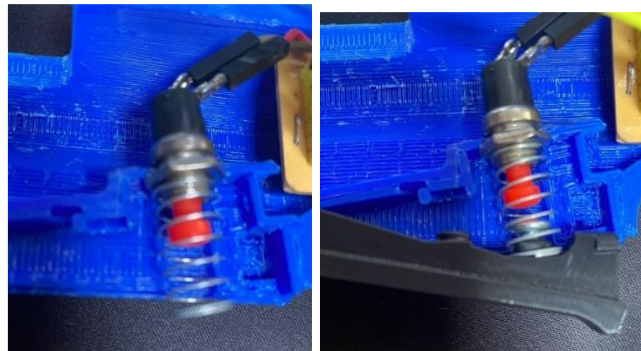




Una vez ya se encuentran los sensores y la botonera completamente ensamblado falta posicionar el pulsador que va a servir para el gatillo de la antorcha y con eso tendríamos todos los subsistemas electromecánicos ensamblados como se puede ver en la Figura 48, por lo cual podemos colocar la placa de circuito impreso PCB principal y conectar todos los subsistemas a la misma y así terminaríamos el ensamble e implementación.

#### **Figura 49**

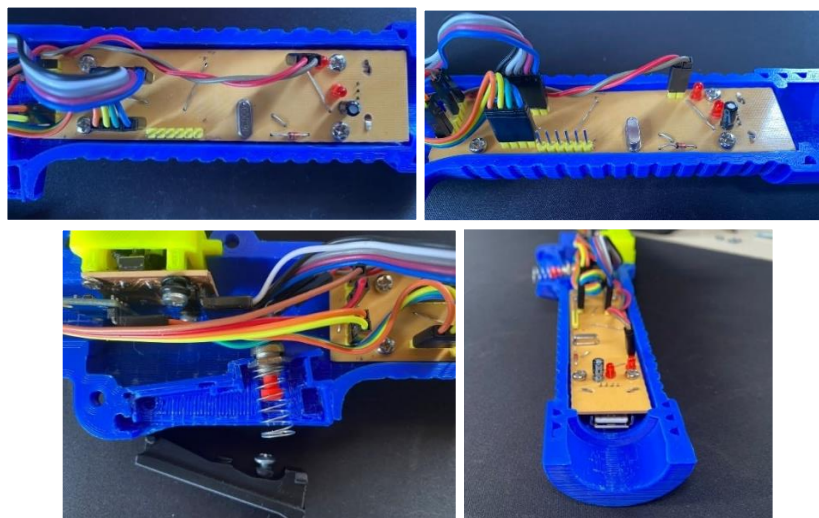
*Colocación y conexión del pulsador del gatillo en la antorcha*



En las Figuras 49, 50, 51 se puede observar ha como han sido colocados todos los elementos electrónicos, así como las conexiones eléctricas las cual al finalizar estarán ocultas en el interior del modelo impreso en 3D.

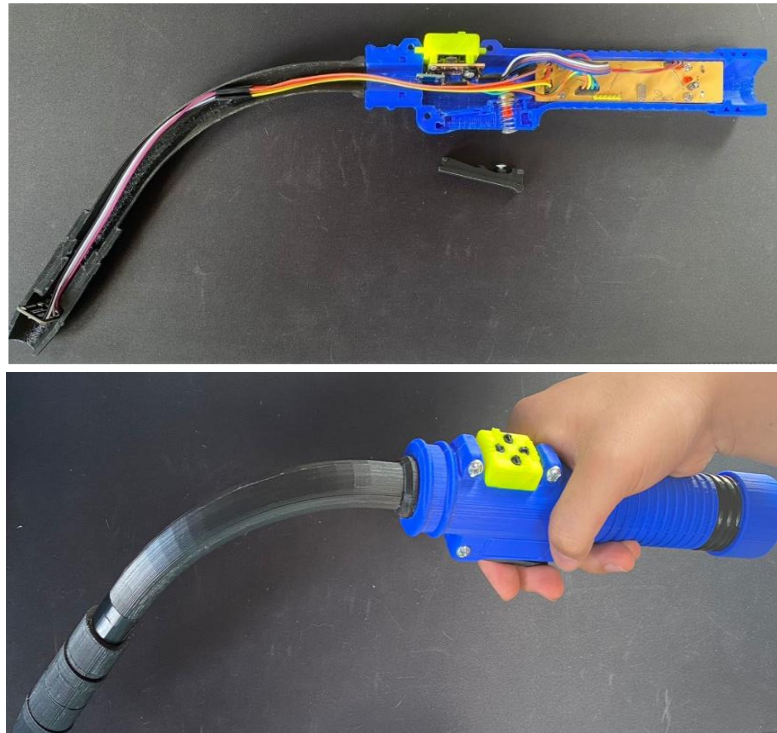
#### **Figura 50**

*Ensamble y conexión del circuito impreso PCB principal con los pulsadores y sensores*



**Figura 51**

*Antorcha vista interior y ensamblada por completo*



#### **4.4 Diseño del Entorno Virtual**

##### **4.4.1 Instrumentación de sensores**

Para el desarrollo del entorno virtual lo primero que debemos tener en cuenta es realizar la correcta recopilación de datos de los sensores que se utilizan, como el MPU-6050 y el VL6180X, para lo cual se realizaron pruebas de funcionamiento de cada uno de los sensores y se determinó el nivel de error de cada uno de ellos por medio de pruebas con instrumentos de medida graduados.

**Sensor Inercial MPU-6050.** Para la medida del sensor inercial se debe tener en cuenta que para poder obtener datos precisos del sensor hace que primero se mida los datos del acelerómetro y el giroscopio interno del sensor y una vez se obtengan dichos datos se deben procesar, para lo cual se usara un filtro complementario para obtener los datos de

orientación de los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ; por medio de estos datos de orientación realizar una matriz calcular los cuaterniones y así esos datos enviarlos a la interfaz de Unity.

**Figura 52**

*Lectura de las aceleraciones y velocidades con el sensor IMU MPU-6050*

```

MPU6050_Lectura_Datos
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

MPU6050_Lectura_Datos
int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;

// Factores de conversión
const float accScale = 2.0 * 9.81 / 32768.0;
const float gyroScale = 250.0 / 32768.0;

void Tabulacion()
{
  Serial.println(F(""));
}

// Mostrar medidas en Sistema Internacional
void print_Information()
{
  Serial.println(F("Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):\n"));
  Serial.println(ax * accScale); Tabulacion();
  Serial.println(ay * accScale); Tabulacion();
  Serial.println(az * accScale); Tabulacion();
  Serial.println(gx * gyroScale); Tabulacion();
  Serial.println(gy * gyroScale); Tabulacion();
  Serial.println(gz * gyroScale);
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  mpu.initialize();
  Serial.println(mpu.testConnection() ? F("Sensor IMU iniciado correctamente") : F("Error al iniciar Sensor IMU"));
}

```

COM6

```

Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):
ax: 0.85 ay: 0.07 az: 9.94 gx: -1.14 gy: -1.27 gz: -0.89

Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):
ax: 0.74 ay: 0.08 az: 9.93 gx: -0.95 gy: -1.24 gz: -0.96

Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):
ax: 0.73 ay: 0.07 az: 9.91 gx: -1.01 gy: -1.25 gz: -0.85

Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):
ax: 0.77 ay: 0.07 az: 9.92 gx: -1.17 gy: -1.36 gz: -0.92

Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):
ax: 0.78 ay: 0.09 az: 9.98 gx: -1.27 gy: -1.36 gz: -0.89

Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):
ax: 0.74 ay: 0.08 az: 9.95 gx: -1.01 gy: -1.34 gz: -0.93

Lectura de datos a(m/s2) y g(deg/s):
ax: 0.83 ay: 0.04 az: 9.94 gx: -0.98 gy: -1.40 gz: -0.69

```

Una vez obtenidas las lecturas del acelerómetro y giroscopio se obtuvieron los datos de inclinación del acelerómetro y giroscopio. Para el cálculo de la inclinación utilizando el acelerómetro puede usarse la gravedad como una aceleración referencial y con eso aplicando la Ecuación (6) tendríamos el valor de la inclinación en un plano 2D, pero al aplicar un análisis similar para un cuerpo 3D se llega a obtener la Ecuación (7), Ecuación (8) y la Ecuación (9).

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{A_x}{A_y}\right) \quad (6)$$

$$\theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \quad (7)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right) \quad (8)$$

$$\theta_z = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z} \right) \quad (9)$$

Con las ecuaciones podemos obtener los valores de inclinación utilizando el acelerómetro como se muestra en la Figura 53, donde se muestra la aplicación de las ecuaciones antes mostradas para poder obtener la inclinación del sensor IMU.

**Figura 53**

*Obtención de la inclinación del sensor IMU mediante el procesado de las aceleraciones*

The screenshot shows the Arduino IDE with a program for MPU6050 tilt calculation. The code includes headers for I2C, MPU6050, and Wire. It defines the MPU6050 address and initializes the I2C bus. The setup function starts a serial port at 9600 baud. The loop function reads acceleration data from the MPU6050 sensor and calculates the tilt angles for X, Y, and Z axes using the provided equations. The results are printed to the serial monitor every 10 milliseconds.

```

MPU6050_Lectura_Inclinacion_Acelerometro Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

MPU6050_Lectura_Inclinacion_Acelerometro
#include <I2Cdev.h>
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"

const int mpuAddress = 0x68; // Puede ser 0x68 o 0x69
MPU6050 mpu(mpuAddress);

int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  mpu.initialize();
  Serial.println(mpu.testConnection() ? F("IMU iniciado correctamente") : F("Error"));
}

void loop()
{
  // Leer las aceleraciones
  mpu.getAcceleration(&ax, &ay, &az);

  // Calcular los ángulos de inclinación
  float accel_ang_x = atan(ax / sqrt(pow(ay, 2) + pow(az, 2))) * 180.0;
  float accel_ang_y = atan(ay / sqrt(pow(ax, 2) + pow(az, 2))) * 180.0;
  float accel_ang_z = atan(sqrt(pow(ax, 2) + pow(ay, 2)) / az) * 180.0;

  // Mostrar resultados
  Serial.println(F("Inclinación en X: ") + Serial.print(accel_ang_x);
  Serial.println(F("Inclinación en Y: ") + Serial.print(accel_ang_y);
  Serial.println(F("Inclinación en Z: ") + Serial.print(accel_ang_z);
  delay(10);
}

```

The serial monitor displays the following output:

```

Inclinación en X: -1.06 Inclinación en Y: -0.23 Inclinación en Z: 1.10
Inclinación en X: -0.90 Inclinación en Y: 0.05 Inclinación en Z: 0.90
Inclinación en X: -1.24 Inclinación en Y: -0.14 Inclinación en Z: 1.25
Inclinación en X: -1.31 Inclinación en Y: 0.11 Inclinación en Z: 1.31
Inclinación en X: -1.09 Inclinación en Y: 0.40 Inclinación en Z: 1.16
Inclinación en X: -0.99 Inclinación en Y: -0.47 Inclinación en Z: 1.09
Inclinación en X: -1.07 Inclinación en Y: -0.26 Inclinación en Z: 1.11
Inclinación en X: -1.31 Inclinación en Y: 0.15 Inclinación en Z: 1.32
Inclinación en X: -1.19 Inclinación en Y: 0.35 Inclinación en Z: 1.24
Inclinación en X: -0.90 Inclinación en Y: 0.00 Inclinación en Z: 0.90
Inclinación en X: -1.01 Inclinación en Y: 0.22 Inclinación en Z: 1.03
Inclinación en X: -1.07 Inclinación en Y: -0.23 Inclinación en Z: 1.10
Inclinación en X: -0.84 Inclinación en Y: -0.19 Inclinación en Z: 0.85
Inclinación en X: -1.19 Inclinación en Y: -0.33 Inclinación en Z: 1.19
Inclinación en X: -0.89 Inclinación en Y: -0.04 Inclinación en Z: 0.90
Inclinación en X: -1.08 Inclinación en Y: -0.03 Inclinación en Z: 1.08
Inclinación en X: -1.11 Inclinación en Y: 0.21 Inclinación en Z: 1.13
Inclinación en X: -0.92 Inclinación en Y: 0.01 Inclinación en Z: 0.92
Inclinación en X: -1.32 Inclinación en Y: 0.01 Inclinación en Z: 1.32
Inclinación en X: -0.75 Inclinación en Y: -0.22 Inclinación en Z: 0.78
Inclinación en X: -1.25 Inclinación en Y: -0.13 Inclinación en Z: 1.25
Inclinación en X: -0.87 Inclinación en Y: 0.03 Inclinación en Z: 0.87
Inclinación en X: -1.10 Inclinación en Y: -0.27 Inclinación en Z: 1.13
Inclinación en X: -1.25 Inclinación en Y: 0.06 Inclinación en Z: 1.25
Inclinación en X: -1.10 Inclinación en Y: -0.35 Inclinación en Z: 1.15
Inclinación en X: -1.22 Inclinación en Y: -0.38 Inclinación en Z: 1.28
Inclinación en X: -1.13 Inclinación en Y: -0.04 Inclinación en Z: 1.13

```

Para la obtención de la inclinación del giroscopio debemos integrar la velocidad angular que nos da el sensor IMU y así podemos obtener el desplazamiento angular del sensor por la Ecuación (10), pero al ser un sistema que va a correr en un microcontrolador de 8 bits, realizar operaciones matemáticas complejas como la integración haría que el sistema sea demasiado lento al forzar un cálculo de este tipo para lo cual se utilizará la aproximación trapezoidal de la integración y así poder procesarla en el microcontrolador y así ocupamos la Ecuación (11).

$$\partial\theta = \omega_{giroscopio}\partial t \quad (10)$$

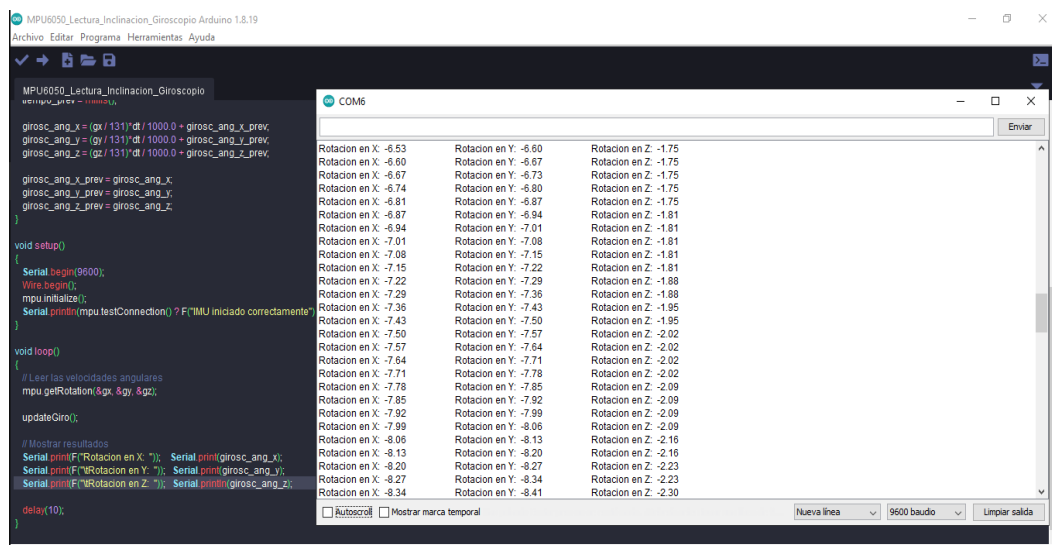
$$\int \partial\theta = \int \omega_{giroscopio}\partial t \quad (11)$$

$$\theta = \int \omega_{giroscopio}\partial t \approx \frac{(\omega_{giroscopio}(T) + \omega_{giroscopio}(T - 1))}{2} \quad (12)$$

Por medio de la Ecuación (12) podemos obtener un valor aproximado de la integral de la velocidad angular y así no cargaríamos al microcontrolador con tanto cálculo y solo debemos tener una variable que almacene el valor anterior al valor recién leído por el sensor como vemos en la Figura 54.

### Figura 54

*Obtención de la inclinación del sensor IMU mediante el procesado de las velocidades angulares*



```

MPU6050_Lectura_Inclinacion_Giroscopio Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

MPU6050_Lectura_Inclinacion_Giroscopio
#include <Wire.h>

girosc_ang_x = (gx / 131) / dt / 1000.0 + girosc_ang_x_prev;
girosc_ang_y = (gy / 131) / dt / 1000.0 + girosc_ang_y_prev;
girosc_ang_z = (gz / 131) / dt / 1000.0 + girosc_ang_z_prev;

girosc_ang_x_prev = girosc_ang_x;
girosc_ang_y_prev = girosc_ang_y;
girosc_ang_z_prev = girosc_ang_z;
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  mpu.initialize();
  Serial.println(mpu.testConnection() ? F"IMU iniciado correctamente" : F"");
}

void loop()
{
  // Leer las velocidades angulares
  mpu.getRotation(&gx, &gy, &gz);

  updateGiroscopio();

  // Mostrar resultados
  Serial.print(F"Rotacion en X: "); Serial.print(girosc_ang_x);
  Serial.print(F"Rotacion en Y: "); Serial.print(girosc_ang_y);
  Serial.print(F"Rotacion en Z: "); Serial.print(girosc_ang_z);

  delay(10);
}

```

Rotacion en X: -6.53	Rotacion en Y: -6.60	Rotacion en Z: -1.75
Rotacion en X: -6.60	Rotacion en Y: -6.67	Rotacion en Z: -1.75
Rotacion en X: -6.67	Rotacion en Y: -6.73	Rotacion en Z: -1.75
Rotacion en X: -6.74	Rotacion en Y: -6.80	Rotacion en Z: -1.75
Rotacion en X: -6.81	Rotacion en Y: -6.87	Rotacion en Z: -1.75
Rotacion en X: -6.87	Rotacion en Y: -6.94	Rotacion en Z: -1.81
Rotacion en X: -6.94	Rotacion en Y: -7.01	Rotacion en Z: -1.81
Rotacion en X: -7.01	Rotacion en Y: -7.08	Rotacion en Z: -1.81
Rotacion en X: -7.08	Rotacion en Y: -7.15	Rotacion en Z: -1.81
Rotacion en X: -7.15	Rotacion en Y: -7.22	Rotacion en Z: -1.81
Rotacion en X: -7.22	Rotacion en Y: -7.29	Rotacion en Z: -1.88
Rotacion en X: -7.29	Rotacion en Y: -7.36	Rotacion en Z: -1.88
Rotacion en X: -7.36	Rotacion en Y: -7.43	Rotacion en Z: -1.95
Rotacion en X: -7.43	Rotacion en Y: -7.50	Rotacion en Z: -1.95
Rotacion en X: -7.50	Rotacion en Y: -7.57	Rotacion en Z: -2.02
Rotacion en X: -7.57	Rotacion en Y: -7.64	Rotacion en Z: -2.02
Rotacion en X: -7.64	Rotacion en Y: -7.71	Rotacion en Z: -2.02
Rotacion en X: -7.71	Rotacion en Y: -7.78	Rotacion en Z: -2.02
Rotacion en X: -7.78	Rotacion en Y: -7.85	Rotacion en Z: -2.09
Rotacion en X: -7.85	Rotacion en Y: -7.92	Rotacion en Z: -2.09
Rotacion en X: -7.92	Rotacion en Y: -7.99	Rotacion en Z: -2.09
Rotacion en X: -7.99	Rotacion en Y: -8.06	Rotacion en Z: -2.09
Rotacion en X: -8.06	Rotacion en Y: -8.13	Rotacion en Z: -2.16
Rotacion en X: -8.13	Rotacion en Y: -8.20	Rotacion en Z: -2.16
Rotacion en X: -8.20	Rotacion en Y: -8.27	Rotacion en Z: -2.23
Rotacion en X: -8.27	Rotacion en Y: -8.34	Rotacion en Z: -2.23
Rotacion en X: -8.34	Rotacion en Y: -8.41	Rotacion en Z: -2.30

Uno de los mayores problemas que tiene en la adquisición de datos por medio de la integración de la velocidad angular dada por el giroscopio de la IMU es la saturación del integrador con lo cual para mejorar los resultados del giroscopio y disminuir el ruido que tiene las lecturas del acelerómetro. Para solucionar estos problemas podemos hacer un filtro complementario entre los datos leídos por el acelerómetro y el giroscopio, por lo que usamos la Ecuación (13).

$$\theta = C_1 \cdot (\theta_{\text{giroscopio}_{ant}} + \theta_{\text{giroscopio}}) + C_2 \cdot \theta_{\text{acelerometro}} \quad (13)$$

Donde los coeficientes  $C_1$  y  $C_2$  son coeficientes que deben probarse para obtener un resultado más óptimo en la medida de la inclinación del sensor, cabe destacar que la suma de dichas constantes debe ser 1 obligatoriamente, por lo que se va a utilizar unos valores de 0.85 y 0.15 para las constantes.

**Figura 55**

*Obtención de la inclinación del sensor IMU aplicando un filtro complementario*

```

MPU6050_Lectura_Inclinacion_Filtro_Complementario
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

MPU6050_Lectura_Inclinacion_Filtro_Complementario

int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;

long tiempo_prev;
float dt;
float ang_x, ang_y, ang_z;
float ang_x_prev, ang_y_prev, ang_z_prev;

void updateFiltered()
{
  dt = (millis() - tiempo_prev) / 1000.0;
  tiempo_prev = millis();

  //Calcular los ángulos con acelerometro
  float accel_ang_x = atan(ax / sqrt(pow(ay, 2) + pow(az, 2))) * (180.0 / 3.14);
  float accel_ang_y = atan(ay / sqrt(pow(ax, 2) + pow(az, 2))) * (180.0 / 3.14);
  float accel_ang_z = atan(sqrt(pow(ax, 2) + pow(ay, 2)) / az) * (180.0 / 3.14);

  //Calcular ángulo de rotación con giroscopio y filtro complementario
  ang_x = 0.85 * ang_x_prev + (gx / 131) * dt + 0.15 * accel_ang_x;
  ang_y = 0.85 * ang_y_prev + (gy / 131) * dt + 0.15 * accel_ang_y;
  ang_z = 0.85 * ang_z_prev + (gz / 131) * dt + 0.15 * accel_ang_z;

  ang_x_prev = ang_x;
  ang_y_prev = ang_y;
  ang_z_prev = ang_z;
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  MPU.initialize();
}

```

COM6

Rotacion en X: -1.41	Rotacion en Y: -0.45	Rotacion en Z: 0.94
Rotacion en X: -1.42	Rotacion en Y: -0.44	Rotacion en Z: 0.96
Rotacion en X: -1.40	Rotacion en Y: -0.45	Rotacion en Z: 0.95
Rotacion en X: -1.38	Rotacion en Y: -0.46	Rotacion en Z: 0.94
Rotacion en X: -1.39	Rotacion en Y: -0.47	Rotacion en Z: 0.90
Rotacion en X: -1.36	Rotacion en Y: -0.46	Rotacion en Z: 0.90
Rotacion en X: -1.41	Rotacion en Y: -0.49	Rotacion en Z: 0.95
Rotacion en X: -1.42	Rotacion en Y: -0.47	Rotacion en Z: 0.96
Rotacion en X: -1.37	Rotacion en Y: -0.48	Rotacion en Z: 0.93
Rotacion en X: -1.44	Rotacion en Y: -0.47	Rotacion en Z: 1.00
Rotacion en X: -1.41	Rotacion en Y: -0.57	Rotacion en Z: 1.02
Rotacion en X: -1.43	Rotacion en Y: -0.57	Rotacion en Z: 1.04
Rotacion en X: -1.40	Rotacion en Y: -0.58	Rotacion en Z: 1.01
Rotacion en X: -1.45	Rotacion en Y: -0.57	Rotacion en Z: 1.06
Rotacion en X: -1.45	Rotacion en Y: -0.54	Rotacion en Z: 1.06
Rotacion en X: -1.47	Rotacion en Y: -0.51	Rotacion en Z: 1.08
Rotacion en X: -1.49	Rotacion en Y: -0.52	Rotacion en Z: 1.10
Rotacion en X: -1.43	Rotacion en Y: -0.50	Rotacion en Z: 1.04
Rotacion en X: -1.40	Rotacion en Y: -0.50	Rotacion en Z: 1.00
Rotacion en X: -1.37	Rotacion en Y: -0.46	Rotacion en Z: 0.98
Rotacion en X: -1.35	Rotacion en Y: -0.51	Rotacion en Z: 0.97
Rotacion en X: -1.35	Rotacion en Y: -0.52	Rotacion en Z: 0.97
Rotacion en X: -1.39	Rotacion en Y: -0.49	Rotacion en Z: 1.01
Rotacion en X: -1.42	Rotacion en Y: -0.51	Rotacion en Z: 1.03
Rotacion en X: -1.44	Rotacion en Y: -0.44	Rotacion en Z: 1.07
Rotacion en X: -1.46	Rotacion en Y: -0.43	Rotacion en Z: 1.08
Rotacion en X: -1.41	Rotacion en Y: -0.43	Rotacion en Z: 0.97

Con los datos de inclinación obtenidos podemos aplicar el concepto de cuaterniones para poder realizar rotaciones sin los problemas habituales del bloqueo de cardan, en el cual si dos ejes se posicionan en paralelo se llega a perder un grado de libertad en el sistema. Para realizar la aplicación de los cuaterniones nos basaremos en la Ecuación (14) para en base al ángulo de inclinación por eje podemos obtener los datos de inclinación por medio de cuaterniones para poderlos enviar a la interfaz de Unity.

$$q = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) + (u_x i + u_y j + u_z k) \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (14)$$

De la Ecuación (14) podemos definir los  $q$  para los ejes  $x, y, z$  obteniendo así las siguientes ecuaciones:

$$q_x(\theta_x) = \left[ \cos\left(\frac{\theta_x}{2}\right) \quad \sin\left(\frac{\theta_x}{2}\right) \quad 0 \quad 0 \right]^T \quad (15)$$

$$q_y(\theta_y) = \left[ \cos\left(\frac{\theta_y}{2}\right) \quad 0 \quad \sin\left(\frac{\theta_y}{2}\right) \quad 0 \right]^T \quad (16)$$

$$q_z(\theta_z) = \left[ \cos\left(\frac{\theta_z}{2}\right) \quad 0 \quad 0 \quad \sin\left(\frac{\theta_z}{2}\right) \right]^T \quad (17)$$

Con las ecuaciones se pueden obtener los valores de  $q_w, q_x, q_y, q_z$  para poder enviar dichos datos a la interfaz de Unity para obtener una mejor lectura de la rotación que experimenta la antorcha como se muestra en la Figura 56.

**Figura 56**

*Adquisición de los parámetros  $q$  que representa la rotación de la antorcha*

```

MPU6050_Obtenci_n_Cuaternios $
else
{
//ERROR!
// 1 = initial memory load failed
// 2 = DMP configuration updates failed
// if its going to break, usually the code will be 1.
Serial.println(F("DMP Initialization failed (code %)");
Serial.println(devStatus);
Serial.println(F(""));
}
//=====
//== MAIN PROGRAM LOOP ==
//=====
void loop()
{
// if programming failed, don't try to do anything
if (!dmpReady) return;
// read a packet from FIFO
if (mpu.dmpGetCurrentFIFOpacket(mfioBuffer)) { // Got the Latest packet
// display quaternion values in easy matrix form: w x y z
mpu.dmpGetQuaternion(&q, mfioBuffer);
Serial.println("Cuaternios: ");
Serial.println(q.w); Serial.println(q.x);
Serial.println(q.y); Serial.println(q.z);
Serial.println(q.w); Serial.println(q.x);
Serial.println(q.y); Serial.println(q.z);
}
}
}
Autoscroll Mostrar marca temporal Nueva línea 115200 baudo Limpiar salida

```

**Sensor Infrarrojo VL6180X.** Para la medida de la distancia que se encuentra entre el final de la antorcha y la unión a soldar se implementa el sensor de distancia infrarrojo para lo cual se realizaron las medidas del sensor, el sensor nos entrega la medida del *Lux*, de la luz ambiental, en la que varía en función de los objetos que se encuentran entre la línea del emisor infrarrojo. Una vez tenemos los datos del *Lux* del ambiente, podemos sacar un rango de distancia entre el objeto y el sensor como se observa en la Figura 57.





#### **4.4.2 Comunicación Entorno Físico – Unity**

En la comunicación del entorno Unity con el entorno físico del proyecto, que serían el casco y la antorcha, tenemos que dicha comunicación con el entorno virtual es mediante el protocolo de comunicación serial USB, de maneras más simples como en el caso de la cámara mediante la conexión USB entre la CPU y la cámara.

Para la pantalla del casco la comunicación es similar a la que se realizó con la cámara, que es por medio de una conexión directa, esta vez por conexión de salida HDMI para poder observar el software ejecutándose en la CPU para poder ver el sistema en realidad aumentada.

Pero para la conexión de la antorcha sensorizada con la CPU y a la vez con el entorno virtual de Unity es más complicado porque esta vez no solo es una conexión directa de datos o de entrada o de salida, sino se debe realizar una conexión con la CPU mediante un puerto COM creado por el conversor FT232RLy mediante esa conexión serial podemos enviar y recibir datos mediante la programación en ambos sistemas. Para poder realizar un mejor desarrollo del proyecto se utiliza un plugin orientado a la conexión y manejo de placas de desarrollo Arduino con la plataforma de Unity, lo cual ayuda a facilitar la programación en ambos entornos y con una comunicación más estable, y así dedicarnos al desarrollo final del sistema más que en la comunicación entre los entornos.

**Librería Uduino.** Una de las claves principales para la comunicación del entorno físico realizado con el microcontrolador ATmega328p con el entorno virtual de Unity, es la librería brindada por el autor Marc Teyssier en la tienda de plugin de Unity. Dicha librería nos da unas funciones específicas para poder trabajar con el plugin de Uduino dentro del código del ATmega328p y se comuniquen en el entorno de Unity, algunas de dichas funciones se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13**

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

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

*Nota.* Las funciones mostradas son solo para su uso en el entorno de Arduino mediante la librería de Uduino (Teyssier, 2018).

#### **4.4.3 Adquisición y manejo de datos en Unity**

Para poder realizar un manejo de los datos enviados desde la antorcha y el casco se tienen dos nivel de dificultad, con lo antes mencionado la recepción de los datos del casco, enviados por la cámara, se manejan de manera directa mediante el propio motor gráfico de Unity y él envió de los datos al casco, recibidos por la pantalla, son enviados por medio de una conexión HDMI por lo cual el manejo de datos en base al casco se puede realizar de manera sencilla en comparación al manejo de datos de la antorcha.

Para el manejo de datos de la antorcha se utiliza las funciones dadas mediante el plugin de Uduino, el cual nos ayuda a tener un mejor manejo de los datos y poder utilizarlos en el control y navegación por el entorno virtual creado en el motor de Unity; algunas de estas funciones se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14**

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

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

*Nota.* Las funciones mostradas son solo para su uso en el entorno de Unity, pueden ser usadas en cualquier script de C# siempre y cuando el paquete de Uduino se use en el proyecto (Teyssier, 2018).

Una vez los datos sean recibidos en el entorno virtual de Unity se puede poner a prueba si las detecciones dadas por el sensor MPU-6050 representan las inclinaciones verdaderas recibidas por el entorno de Unity por lo que se realizaron pruebas de funcionamiento en la que por medio de la lectura de los datos enviados desde el programa realizado en el software de Arduino como se muestra en la Figura 59, una vez se leen los

datos y se envían al entorno de Unity y mediante un script, la que una parte se puede ver en la Figura 60. Al recibir los datos enviados desde el microcontrolador, en la plataforma Unity se utilizan estos datos para trasladarlos a un modelo de la antorcha del proyecto y representar la inclinación de la antorcha real mediante Unity como se muestra en la Figura 61.

**Figura 59**

*Programación del ATmega328p para él envió de datos del sensor IMU MPU6050*

```

UduinoIMU Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

UduinoIMU $
#include <Wire.h>
#include <I2Cdev.h>
#include <MPU6050.h>
// Error
Serial.println("Error");
}
}

void loop()
{
  uduino.update();
  int mpuintStatus = mpu.getIntStatus();
  fifoCount = mpu.getFIFOCount();
  if ((mpuintStatus & 0x10) || fifoCount == 1024)
  {
    mpu.resetFIFO();
  } else if (mpuintStatus & 0x02)
  {
    while (fifoCount < packetSize) fifoCount = mpu.getFIFOCount();
    mpu.getFIFOBytes(fifoBuffer, packetSize);
    fifoCount -= packetSize;
    SendQuaternion();
  }
}

void SendQuaternion()
{
  mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
  Serial.println("antorcha");
  Serial.println(q.w, 4); Serial.println(q.x, 4);
  Serial.println(q.y, 4); Serial.println(q.z, 4);
  Serial.println(q.z, 4);
}

```

**Figura 60**

*Programación en C# para leer los datos y pasar a la rotación de un objeto de Unity*

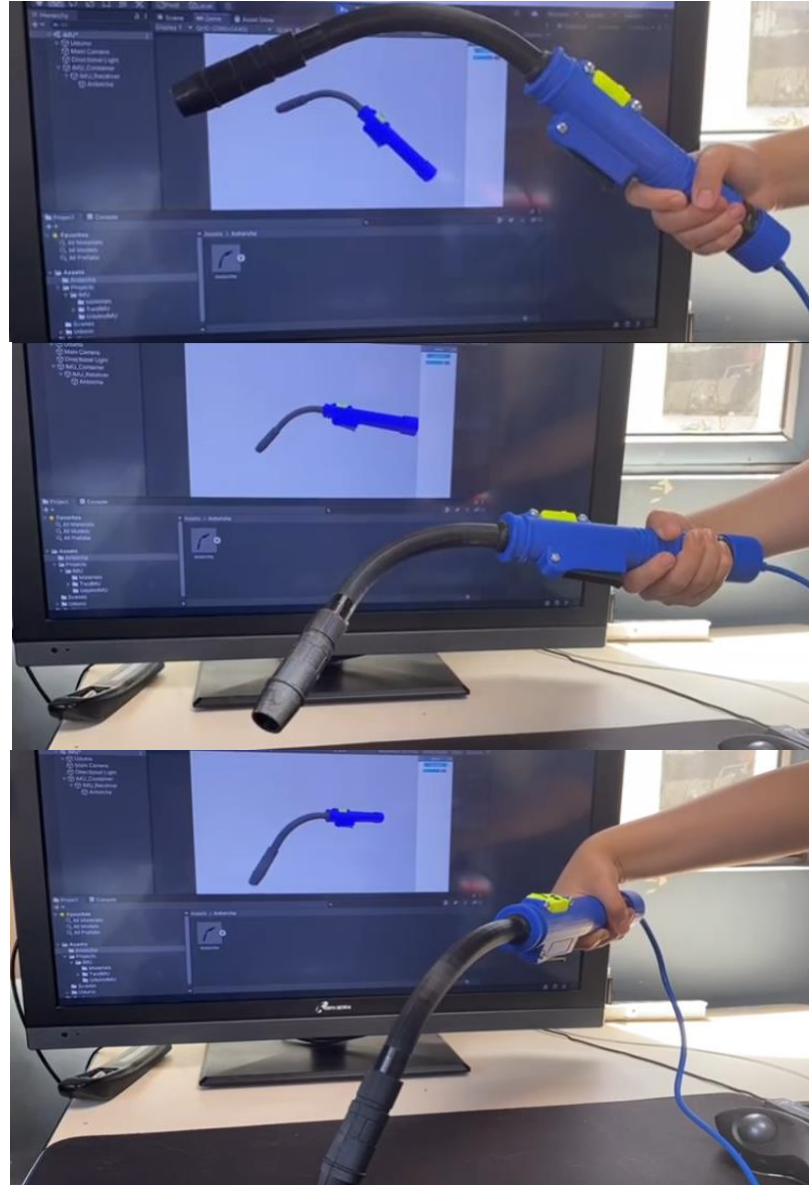
```

C# Lectura_IMU.cs
D:\Tesis > Unity > Uduino_MPU6050 > Assets > Antorcha > C# Lectura_IMU.cs
1 using UnityEngine;
2 using Uduino;
3
4 public class Lectura_IMU : MonoBehaviour {
5
6     Vector3 position;
7     Vector3 rotation;
8     public Vector3 rotationOffset;
9     public float speedFactor = 15.0f;
10    public string imuName = "n"; // You should ignore this if there is one IMU.
11
12    void Update() { }
13
14    public void ReadIMU (string data, UduinoDevice device)
15    {
16        string[] values = data.Split('/');
17        if (values.Length == 5 && values[0] == imuName) // Rotation of the first one
18        {
19            float w = float.Parse(values[1]);
20            float x = float.Parse(values[2]);
21            float y = float.Parse(values[3]);
22            float z = float.Parse(values[4]);
23            this.transform.localRotation = Quaternion.Lerp(this.transform.localRotation, new Quaternion(w, x, y, z), Time.deltaTime * speedFactor);
24        } else if (values.Length != 5)
25        {
26            Debug.LogWarning(data);
27        }
28        this.transform.parent.transform.eulerAngles = rotationOffset;
29    }
30

```

**Figura 61**

*Prueba de lectura de datos del sensor de IMU y procesado mediante Unity*



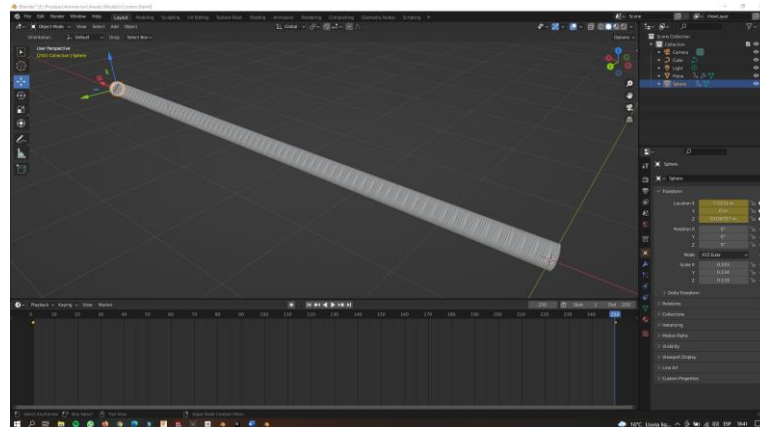
En la Figura 61 se observa la secuencia de movimientos realizados mediante la antorcha y su inmediata respuesta dentro del software base para el desarrollo del proyecto, cabe destacar que esta detección está basada en el cálculo de los parámetros  $q$  mencionados en las ecuaciones detalladas anteriormente para rotación.

#### 4.4.4 Importación de modelos 3D

Para la simulación mediante la realidad aumentada se desarrolló un cordón de soldadura en el software Blender el cual va a ser importado dentro de la interfaz de Unity y manipulado mediante el movimiento de la antorcha de soldadura. En la Figura 62 se puede ver claramente el cordón desarrollado.

**Figura 62**

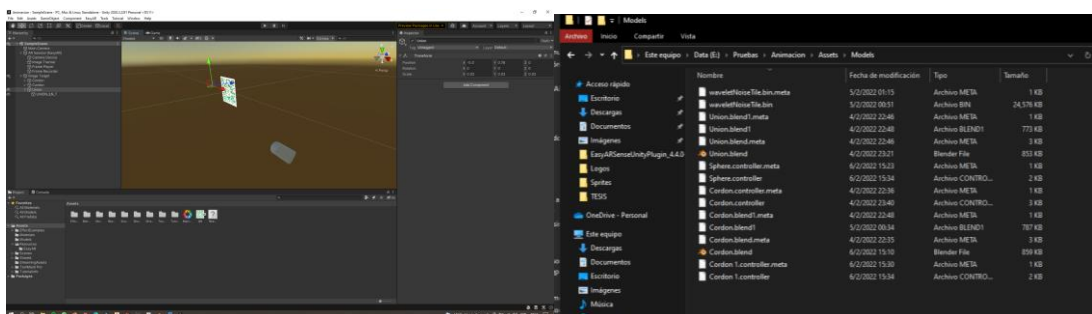
*Cordón Soldadura en Blender*



Al estar estrechamente relacionados ambos softwares para importar dentro del Unity únicamente se guarda el objeto generado dentro de Blender en la carpeta “Models” la cual se encuentra dentro de los “Assets” del proyecto. En la Figura 63 se detalla la ruta a seguir, así como el resultado del modelo importado dentro del segundo software.

**Figura 63**

*Modelo importado en Unity*

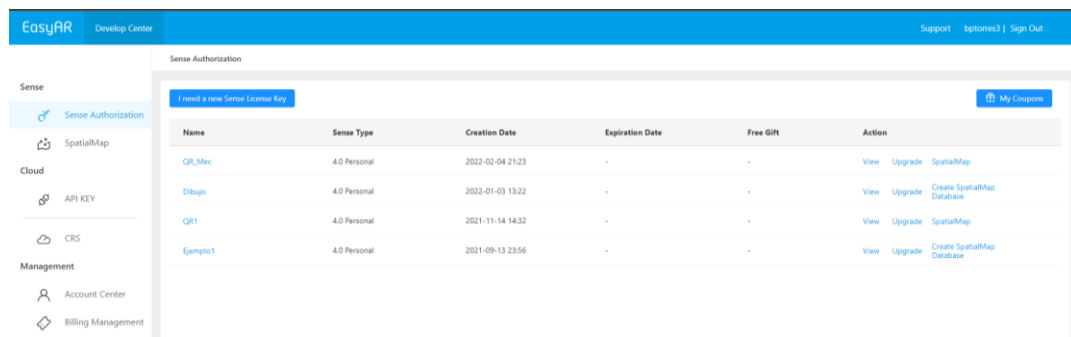


#### 4.4.5 Implementación de la realidad aumentada en EASY AR

Para trabajar con este package dentro de la plataforma de Unity es necesario generar un usuario dentro de su página oficial, En la Figura 64 se muestra la interfaz después de la creación de la cuenta dentro de la plataforma. Cabe recalcar que el paquete de realidad aumentada puede ser obtenido de manera gratuita en la página oficial.

Figura 64

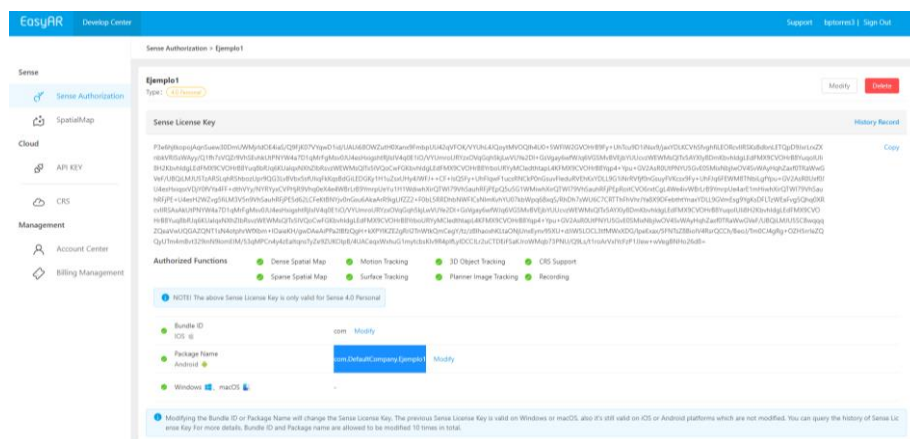
Interfaz EasyAR



En la Figura 65 se muestra la “Licence Key” creada para el presente proyecto de realidad aumentada, donde se puede detallar que el “package name” debe coincidir con el creado en la interfaz de unity. En el caso de este proyecto el nombre asignado es “com.DefaultCompany.Ejemplo1”.

Figura 65

Creación de License Key



Finalmente se procede a implementar la “License Key” dentro del software Unity para que se pueda generar claramente la detección de los códigos QR. En la Figura 66 se muestra la ruta para la implementación dentro de la interfaz de procesamiento.

**Figura 66**

*Implementación de "License Key" en Unity*

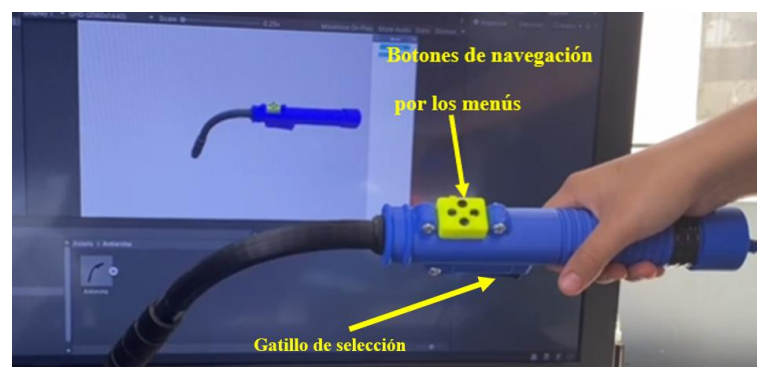


#### 4.4.6 Diseño de interfaz de usuario

Por último, en el desarrollo del proyecto tenemos la interfaz gráfica que va a poseer un menú para poder navegar por los tres modos que posee el sistema, que son el modo de instrucciones, modo de entrenamiento y modo de evaluación. Mediante estos tres modos de operación el usuario va a poder navegar por el menú, con la utilización de la botonera implementada físicamente en la antorcha de soldadura como se puede ver la Figura 67, y así poder elegir como llevara su entrenamiento con el módulo de entrenamiento MIG.

**Figura 67**

*Sistema de navegación de la interfaz por medio de la antorcha*





Una vez empezando la aplicación en la pantalla del casco se muestra la primera pantalla de la interfaz de usuario, la cual se muestra en la Figura 68, la cual nos permite ir al menú de inicio de la aplicación y salir de aplicación todo por medio de los botones. Para la navegación utilizamos los botones de izquierda y derecha de la botonera la cual nos dejara ir pasando por los botones de la interfaz y por medio del gatillo podemos seleccionar el botón que deseamos, cuando vamos navegando por los botones de la interfaz, estos mismos se ponen de un color verde señalando en cual botón estamos, como se ve en la Figura 68, para así poder seleccionarlos con el gatillo.

**Figura 68**

*Navegación por los botones de la interfaz de Unity*



**Modo de Instrucciones.** Una vez en el menú de inicio tenemos los tres modos de trabajo del módulo entrenador para poder seleccionar, debajo de cada uno de los botones existe un pequeño texto que nos da una referencia de cada uno de los modos como se ve en la Figura 69; el primero de estos modos es el de instrucciones en la primera pantalla nos dice una breve descripción de lo que trata el módulo de entrenamiento, así como se ve en la Figura 70.

Figura 69

Menú de inicio de la interfaz gráfica de usuario



Figura 70

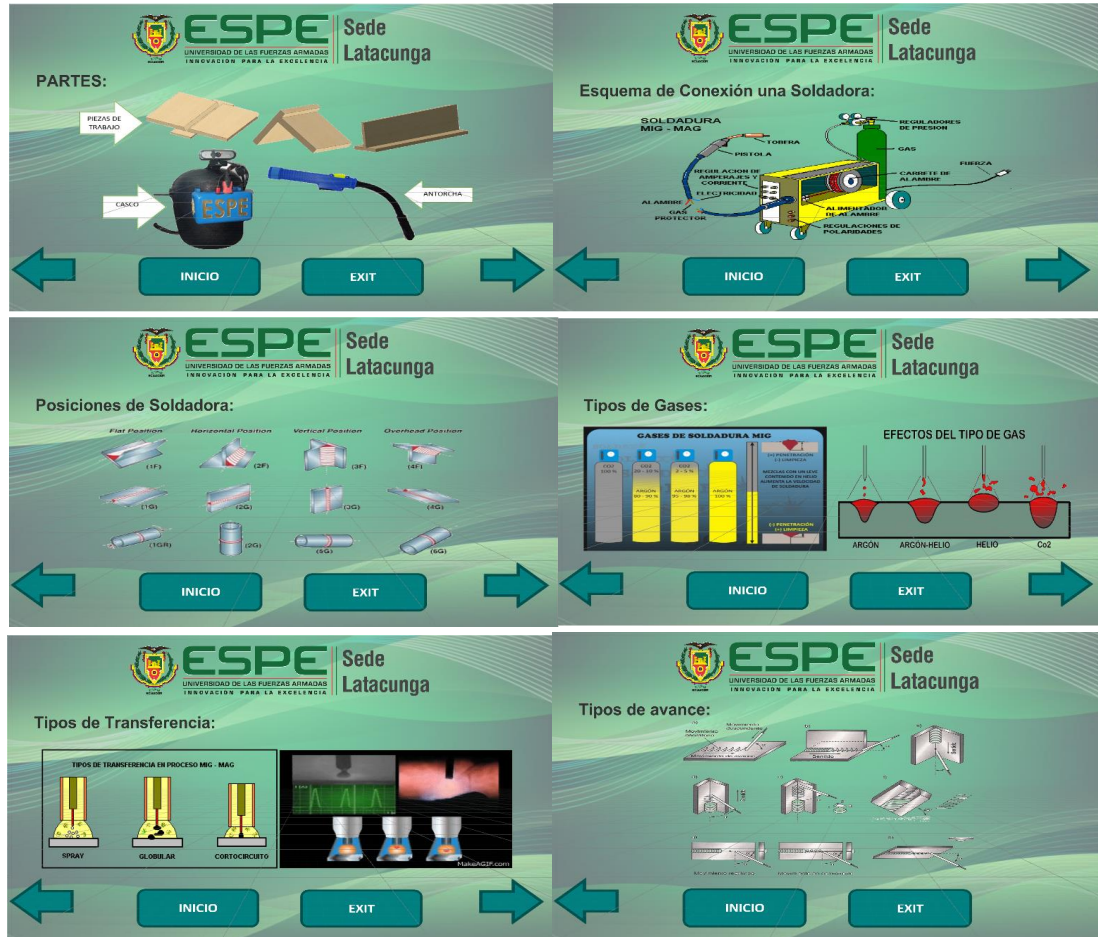
Menú 1 del modo de instrucciones de la interfaz gráfica de usuario



Si seguimos por las pantallas del modo de instrucciones nos encontramos con las pantallas de las piezas que conforman el proyecto, además de unas pantallas que nos muestran imágenes sobre las posiciones de soldaduras, esquema de las máquinas de soldadura MIG y más detalles breves sobre el proceso de soldadura MIG, como se ve en la Figura 71.

Figura 71

Pantallas informativas sobre el proceso dictadura MIG en la interfaz gráfica de usuario



Por medio de estas pantallas terminamos con el modo de instrucciones de la interfaz gráfica y por medio del botón de inicio podemos volver al menú para seleccionar ya sea el modo de entrenamiento o de evaluación para poder continuar con la aplicación del módulo de entrenamiento.

**Modo de Entrenamiento.** Otro del modo del sistema es el modo de entrenamiento en el cual consta de la selección del material a soldar, el tipo de juntas y el tipo de posiciones a soldar. Para lo cual se posee de un menú de texto seleccionable, que por medio de los botones de arriba y debajo de la botonera, podemos ir navegando por las diversas opciones

que nos da cada segmento del menú de entrenamiento y poder pasar a la siguiente página, como se muestra en la Figura 72.

Una vez pasada la primera pantalla de entrenamiento pasamos a la siguiente en la que en base a las selecciones anteriores se debe seleccionar opciones como el amperaje, voltaje, tipo de gas, velocidad de alimentación del alambre y el tipo de transferencia de la soldadura, luego al poner siguiente el usuario entra en la parte de realidad aumentada lista para soldar mediante las juntas con códigos QR.

**Figura 72**

*Pantalla 1 del modo de entrenamiento de la interfaz gráfica de usuario*



**Figura 73**

*Pantalla 2 del modo de entrenamiento de la interfaz gráfica de usuario*





**Modo de Evaluación.** Para el modo de evaluación tenemos las mismas pantallas que en el modo de entrenamiento con la gran diferencia que en el modo de evaluación no se dispone de las flechas para retroceder o adelantar por las páginas y por ser modo de evaluación, al entrar en el modo de evaluación en la primera pantalla tenemos un temporizador en la esquina superior derecha que una vez el tiempo llegue a cero, pasa a la siguiente pantalla automáticamente, esta pantalla se puede visualizar en la Figura 74 y la Figura 75.

**Figura 74**

*Pantalla 1 del modo de evaluación de la interfaz gráfica de usuario*

**Figura 75**

*Pantalla 2 del modo de evaluación de la interfaz gráfica de usuario*

Y pasando las pantallas y soldando otra de las diferencias con el modo entrenamiento es la parte de resultados la cual va a calificar la soldadura realizada y los datos técnicos ingresados en las pantallas previas. En la Figura 76 se verifica el porcentaje de efectividad obtenido en las prácticas elaboradas por los estudiantes.

**Figura 76**

*Evaluación y porcentaje de efectividad obtenidos*



## Capítulo V

### 5 Pruebas y resultados

#### 5.1 Introducción

En este capítulo se va a presentar en detalle cómo se realizó la recopilación de datos mediante la implementación del sistema de entrenamiento de soldadura MIG mediante realidad aumentada, para esto lo primero que debemos tener claro que datos recopilamos y como se desarrolló la etapa final del modo de evaluación en el cual por medio de parámetros de análisis ponderados el usuario final obtiene una calificación de la efectividad de la soldadura y la evolución teórica aplicada por el equipo.

Una vez que se desarrolla una explicación de los datos obtenidos se presentan dichos datos de las pruebas realizadas con el equipo a estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica y a un estudiante de otra carrera muy distinta para poder obtener datos no solo de la comparación de alumnos de Mecatrónica, sino también de una persona sin ningún conocimiento sobre la soldadura y ver los resultados de las prácticas, mediante los resultados emitidos por la interfaz gráfica de usuario.

Con todos estos datos se plantea el desarrollo de pendientes de regresión y el desarrollo de curvas de aprendizaje aplicados al entrenamiento con el sistema de soldadura virtual, para que por medio de estas curvas poder obtener una tasa de aprendizaje y proceder a validar o rechazar la hipótesis planteada en este trabajo de titulación.

#### 5.2 Recopilación de Datos

Para la realización de las pruebas se buscó obtener alumnos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, que son el público objetivo de este proyecto y para lo cual se logró realizar pruebas con dos estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica además de uno de los autores y un estudiante de Ingeniería Civil, ya que por motivo de la

emergencia sanitaria, diversas restricciones y procurar la seguridad de los estudiantes obtener pruebas de un mayor número de alumnos no fue posible .

El sistema nos ofrece una evaluación y calificación final de la práctica realizada en el modo de evaluación presentada por medio de la interfaz gráfica como se muestra en la Figura 77, por lo cual nos brinda una manera más sencilla de percibir el avance y la mejora que se va obteniendo al realizar las prácticas con el equipo en cuestión.

**Figura 77**

*Presentación de los resultados obtenidos en el modo de evaluación una vez culminada la práctica*



Para poder comprender de una mejor manera la de donde y como se obtiene este resultado final vamos a analizar cada uno de los tres aspectos principales en la evaluación de los usuarios del módulo de entrenamiento de soldadura MIG. Este módulo presenta los resultados de manera de porcentaje para poder facilitar la evaluación y comparación de los parámetros utilizando valores de referencia para cada caso de la soldadura.

**Evaluación de la Teoría.** Una de las partes más importantes del sistema de evaluación en la interfaz gráfica de usuario es la parte de la selección de parámetros que se los escoge en las pantallas iniciales del modo de evaluación como se ve en las Figura 78. Para poder evaluar la selección de los parámetros se necesitan valores referencias para poder comparar con los valores seleccionados.



Figura 78

*Pantallas de evaluación para la selección de parámetros*

The image displays two screenshots of a software interface for selecting welding parameters. Both screens feature the logo of ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas) and the text 'Sede Latacunga' and 'UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA'.

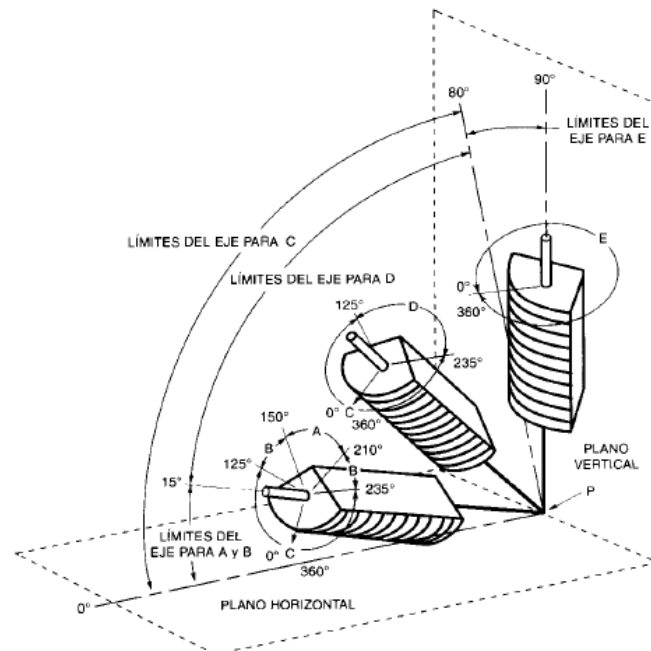
The top screenshot is titled 'Evaluación: Tiempo en minutos: 4:00'. It includes the text 'Ingreso de datos para empezar la práctica de soldadura:' and 'Ubique la pieza en la posición indicada:'. The input fields are: METAL BASE, TIPO DE JUNTA, and TIPO DE POSICIÓN. To the right, there are three diagrams illustrating different joint types: 'UNION EN ESQUINA POSICION 1F', 'UNION A TOPE POSICION 1G', and 'UNION A 90° POSICION 2F'. At the bottom, there are two buttons: 'INICIO' and 'EXIT'.

The bottom screenshot is titled 'Evaluación: Tiempo en minutos: 6:00'. It includes the text 'Ingreso de datos para empezar la práctica de soldadura:'. The input fields are: AMPERAJE (A), VOLTAJE (V), TIPO DE GAS, VELOCIDAD DE ALAMBRE, and TIPO DE TRANSFERENCIA. At the bottom, there are two buttons: 'INICIO' and 'EXIT'.

Para la evaluación de los parámetros se utilizó como valores de referencia una combinación de tablas e imágenes que nos dan unos valores de referencia sobre que voltaje, que amperaje y que velocidad se puede utilizar para los diferentes metales y para las diferentes posiciones algunas como las mostradas en la Figura 79. Todas estas referencias se basan en el código de soldadura estructural de acero AWS D1.1/D1.1M:2015, y en el libro de Soldadura: Aplicaciones y Práctica del autor Henry Hurwitz, en los cuales nos hemos guiado de las recomendaciones de parámetros que se utilizan para procesos de soldadura en general y parámetros concretos para el desarrollo de soldaduras de calidad mediante el proceso de soldadura GMAW, entre la cual se encuentra la soldadura MIG

Figura 79

Referencia de la inclinación de la antorcha MIG en la soldadura en posición plana



*Nota.* El gráfico nos muestra los ángulos de la antorcha recomendados en el proceso de soldadura dependiendo de las posiciones de soldadura. *Tomado de Posiciones de soldaduras en filete* (p. 141), de American Welding Society, 2015.

**Evaluación de la Inclinación.** Para el análisis de la inclinación se toman los datos obtenidos y enviados mediante el sensor IMU MPU-6050, del cual ya se mencionó y se realizaron las pruebas de funcionamiento; estos datos enviados por el sensor miden mientras se va realizando la soldadura mediante él envío de datos mientras se encuentra el gatillo presionado para así poder medir solo cuando se esté realizando la soldadura y poder obtener datos más precisos para las comparaciones y obtener un porcentaje de eficiencia en la inclinación. Este porcentaje se realiza en función de cuán lejos de los ángulos óptimos para la soldadura se encuentra la antorcha mientras se suelda, obteniendo así un porcentaje de 0% a 100%.

**Figura 80**

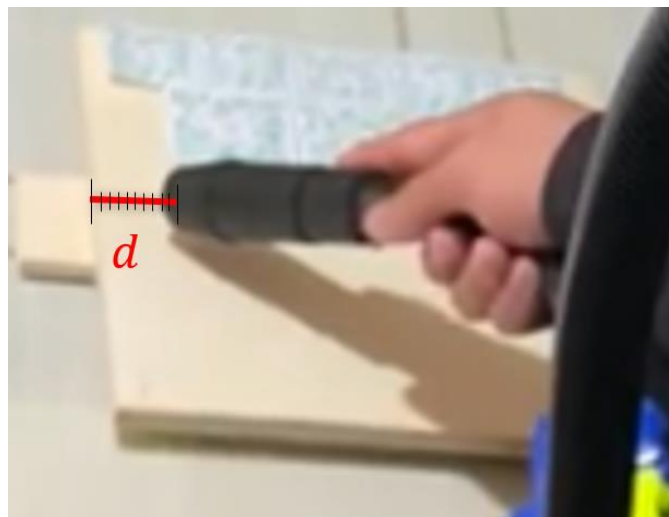
*Representación de la medición de los ángulos durante la soldadura con la antorcha*



**Evaluación de la Proximidad.** Para el análisis y evaluación de la proximidad durante el desarrollo de la práctica de soldadura como en el caso anterior se utilizan los datos enviados mediante el sensor infrarrojo VL6180X, del cual también ya hemos mencionado con anterioridad. Una vez tomados los datos del sensor obtenemos un porcentaje de eficiencia que procura medir, como en el caso anterior, cuán lejos de los valores de referencia se encuentra la punta de la antorcha durante la soldadura.

**Figura 81**

*Representación de la medición de proximidad durante la práctica de soldadura*



Para finalizar el apartado de la recopilación de datos tenemos que una vez se encuentran obtenidos los porcentajes de efectividad del apartado teórico, de la inclinación y de la proximidad se procede a conseguir el porcentaje final que es el que se muestra en la parte derecha de la pantalla de respuestas con el título de “Porcentaje de Efectividad”, como se puede ver en la Figura 82.

**Figura 82**

*Calificación final de las prácticas, Porcentaje de Efectividad*



Para obtener este porcentaje no solo se realizó un promedio de los tres aspectos evaluados, sino se pensó realizar una ponderación para cada uno de estos tres aspectos y con eso poder realizar una calificación en función de la relevancia de los aspectos en el entrenamiento realizado. Para esto al estar orientado el proyecto a estudiantes de ingeniería se decidió dar una mayor ponderación al aspecto teórico y dar una ponderación igual a la medida de los sensores, con lo que queda la parte teórica con un peso del 60%, la inclinación un 20% y la proximidad otro 20%.

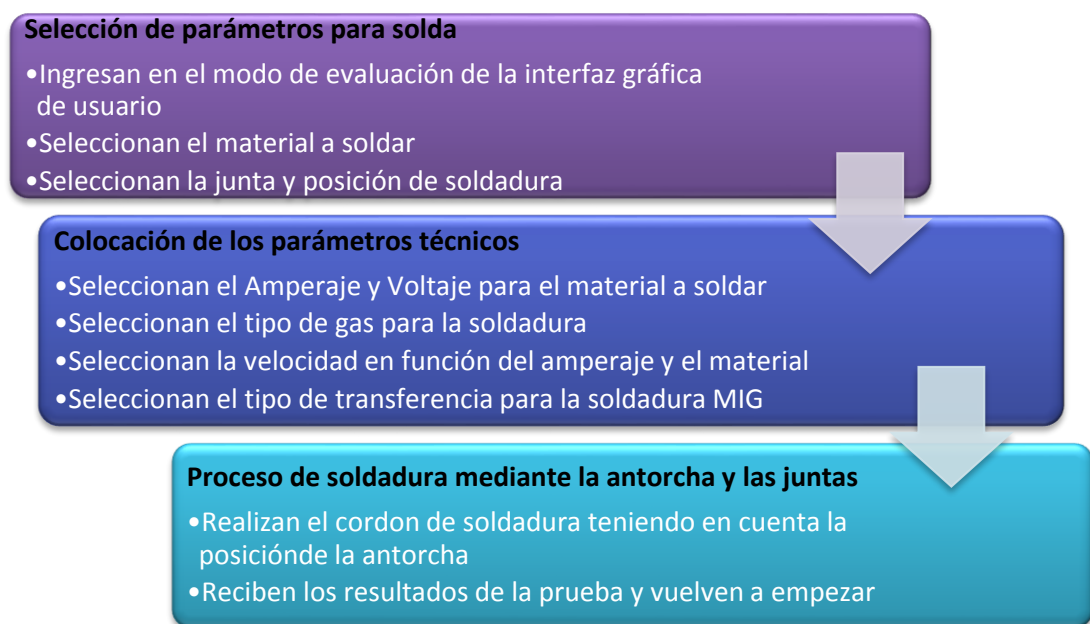
### 5.3 Pruebas de Funcionamiento

Para las pruebas de funcionamiento se buscó realizar pruebas a estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, los cuales son el público objetivo

del proyecto y para la obtención de datos se realizaron prácticas en el modo evaluación con tres estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la universidad y prácticas con una persona que no tenía ningún conocimiento en soldadura para poder evaluar los resultados obtenidos de los cuatro participantes.

**Figura 83**

*Proceso a desarrollar por cada práctica de los participante*



### **5.3.1 Evaluación de los estudiantes**

Para la evaluación de los estudiantes se realizó una pequeña explicación del funcionamiento además de preverles de que por cuestión de pruebas de funcionalidad y para poder obtener una curva de aprendizaje más acelerada no se comenzaría las pruebas por el modo de entrenamiento, sino por el contrario empezarían dando un vistazo por el primer modo que es el de instrucciones para luego ir directamente al modo de evaluación para realizar las pruebas que serían utilizadas para la obtención de datos.

**Tabla 15**

*Datos obtenidos de la parte teórica de las pruebas realizadas a los participantes*

<b>RESULTADOS DEL ASPECTO TEÓRICO EN EL DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN</b>				
INTENTO	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3	ESTUDIANTE 4
1	22,00%	20,00%	26,00%	10,00%
2	23,95%	23,40%	28,30%	10,89%
3	24,38%	25,47%	31,38%	13,35%
4	26,54%	27,73%	34,80%	16,36%
5	28,89%	30,19%	38,59%	20,06%
6	31,45%	32,86%	42,79%	24,59%
7	47,17%	35,77%	47,45%	30,15%
8	51,35%	38,94%	52,61%	36,97%
9	56,49%	42,39%	58,34%	45,32%
10	90,38%	53,42%	64,69%	55,56%
11	91,28%	96,93%	71,74%	68,12%
12	87,53%	84,80%	92,32%	76,70%
13	88,41%	92,32%	83,17%	83,50%
14	96,01%	67,30%	98,09%	90,68%

*Nota.* Se detallan los porcentajes obtenidos por los participantes en el apartado teórico de la evaluación, por medio de las referencias antes mencionadas.

Por medio del desarrollo de las pruebas y la utilización de la interfaz gráfica de Unity podemos obtener los datos y desglosarlos para el proceso de verificación y validación de la hipótesis, para obtener una mayor cantidad de datos con los cuales trabajar.

**Tabla 16**

*Datos obtenidos de la inclinación en las pruebas realizadas a los participantes*

RESULTADOS DE LA INCLINACIÓN EN EL DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN PRÁCTICA				
	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3	ESTUDIANTE 4
1	16,00%	18,00%	21,00%	6,00%
2	17,38%	19,55%	22,81%	6,52%
3	15,69%	17,65%	20,59%	7,21%
4	17,58%	19,78%	23,07%	8,08%
5	19,98%	22,48%	26,23%	9,19%
6	22,84%	25,69%	29,97%	10,50%
7	26,17%	29,44%	34,35%	12,03%
8	30,37%	34,16%	39,85%	13,96%
9	35,10%	39,49%	46,07%	16,14%
10	40,09%	45,10%	52,61%	18,43%
11	45,52%	51,21%	59,74%	20,93%
12	51,82%	58,30%	68,02%	23,82%
13	58,46%	65,77%	76,73%	26,87%
14	66,76%	75,10%	87,62%	30,69%

*Nota.* Se detallan los porcentajes obtenidos por los participantes en el apartado teórico de la evaluación, por medio de las referencias antes mencionadas.

**Tabla 17**

*Datos obtenidos de la proximidad en las pruebas realizadas a los participantes*

RESULTADOS DE LA PROXIMIDAD EN EL DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN PRÁCTICA				
	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3	ESTUDIANTE 4
1	38,00%	33,00%	31,00%	22,00%
2	38,99%	33,86%	31,81%	22,57%
3	40,00%	34,74%	32,63%	23,16%
4	41,04%	35,64%	33,48%	23,76%
5	42,11%	36,57%	34,35%	24,38%
6	43,20%	37,52%	38,13%	27,06%
7	47,96%	41,65%	42,33%	30,04%
8	53,23%	46,23%	46,98%	33,34%
9	59,09%	51,31%	52,15%	37,01%
10	65,59%	56,96%	57,88%	41,08%
11	71,23%	61,85%	62,86%	44,61%
12	77,35%	67,17%	68,27%	48,45%
13	84,00%	72,95%	74,14%	52,62%
14	91,23%	79,22%	80,52%	57,14%

*Nota.* Se detallan los porcentajes obtenidos por los participantes en el apartado teórico de la evaluación, por medio de las referencias antes mencionadas.

**Tabla 18**

*Datos de tiempo obtenidos durante las pruebas prácticas realizadas a los participantes*

DATOS DEL TIEMPO EN EL DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN PRÁCTICA				
	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3	ESTUDIANTE 4
1	0:03:25	0:03:42	0:03:37	0:05:19
2	0:03:07	0:03:23	0:03:18	0:04:52
3	0:02:49	0:03:03	0:02:59	0:04:23
4	0:02:33	0:02:46	0:02:42	0:03:58
5	0:02:18	0:02:29	0:02:26	0:03:35
6	0:02:04	0:02:15	0:02:11	0:03:13
7	0:01:51	0:02:00	0:01:57	0:02:53
8	0:01:39	0:01:47	0:01:45	0:02:34
9	0:01:27	0:01:34	0:01:32	0:02:15
10	0:01:16	0:01:23	0:01:21	0:01:59
11	0:01:07	0:01:12	0:01:10	0:01:44
12	0:00:57	0:01:02	0:01:01	0:01:29
13	0:00:50	0:00:54	0:00:52	0:01:17
14	0:00:40	0:00:43	0:00:42	0:01:02

*Nota.* Se detallan los porcentajes obtenidos por los participantes en el apartado teórico de la evaluación, por medio de las referencias antes mencionadas.

**Tabla 19**

*Porcentaje de eficiencia obtenido mediante las evaluaciones a los participantes*

RESULTADO DEL PORCENTAJE DE EFICIENCIA EN EL DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN				
	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE 3	ESTUDIANTE 4
1	21,60%	21,40%	24,00%	10,00%
2	23,01%	23,18%	25,71%	10,60%
3	22,29%	22,63%	25,16%	11,63%
4	24,06%	24,54%	27,50%	12,87%
5	26,19%	26,84%	30,32%	14,40%
6	28,63%	29,49%	34,17%	16,63%
7	34,73%	33,15%	38,57%	19,26%
8	39,14%	37,53%	43,83%	22,44%
9	44,18%	42,43%	49,74%	26,15%
10	55,25%	49,13%	56,08%	30,39%
11	59,81%	62,48%	62,77%	35,10%
12	64,07%	65,38%	72,93%	39,33%
13	69,56%	72,51%	77,50%	43,35%
14	77,50%	74,37%	88,29%	47,98%

*Nota.* Se detallan los porcentajes obtenidos por los participantes en el apartado teórico de la evaluación, por medio de las referencias antes mencionadas.



## 5.4 Análisis de datos

Para analizar los datos recopilados es necesario recurrir a la investigación desarrollada por (Condori Cosi, 2019), la cual abarca un estudio de las curvas de aprendizaje obtenidas en un simulador de soldadura. En su estudio evalúa un total de 5 expertos los cuales pertenecían al área de Mantenimiento de Maquinaria de planta, se destaca que en este estudio se define el modelo matemático de la curva de aprendizaje específica para este caso, el cálculo de la tasa de aprendizaje y detalla los resultados promedio obtenidos en esta investigación, así como en la investigación de (Choquet, 2015). Los datos mencionados anteriormente serán empleados tanto para la evaluación de las curvas de aprendizaje como para su comparación en las siguientes secciones.

### 5.4.1 Pendiente de Regresión

Una vez obtenido los datos del porcentaje de efectividad en cada una de las prácticas se determinará la curva de aprendizaje. Para este análisis determinará se partirá de la pendiente detallada en la ecuación (18) obtenida en el análisis realizado por (Choquet, 2015) en su investigación, donde “x” representa el número el número de intentos realizados por el usuario mientras “y” representa el porcentaje de efectividad obtenido.

$$y = bx + 112.5 \quad (18)$$

En la tabla 20 se muestra el resultado obtenido al realizar el análisis matemático de la pendiente de regresión cuando se alcanza el 90% de efectividad, se aprecia que los valores oscilan entre 10 y 14, dicha oscilación puede deberse a varios resultados ya sea la percepción, la motivación personal, la destreza motriz entre otros.

**Tabla 20**

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

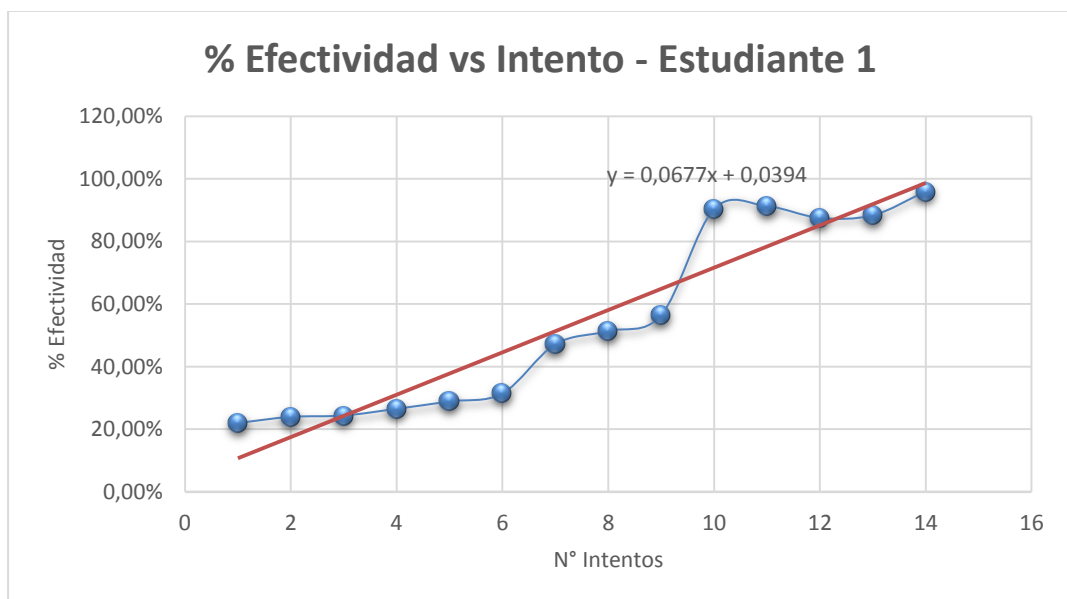
USUARIO	INTENTO(X)	PENDIENTE(B)
1	10	2.25
2	11	2.05
3	12	1.88
4	14	1.61

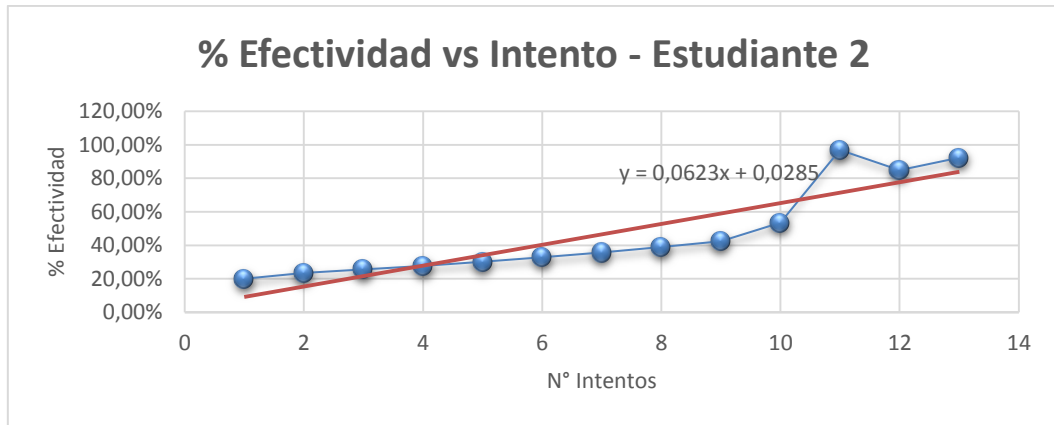
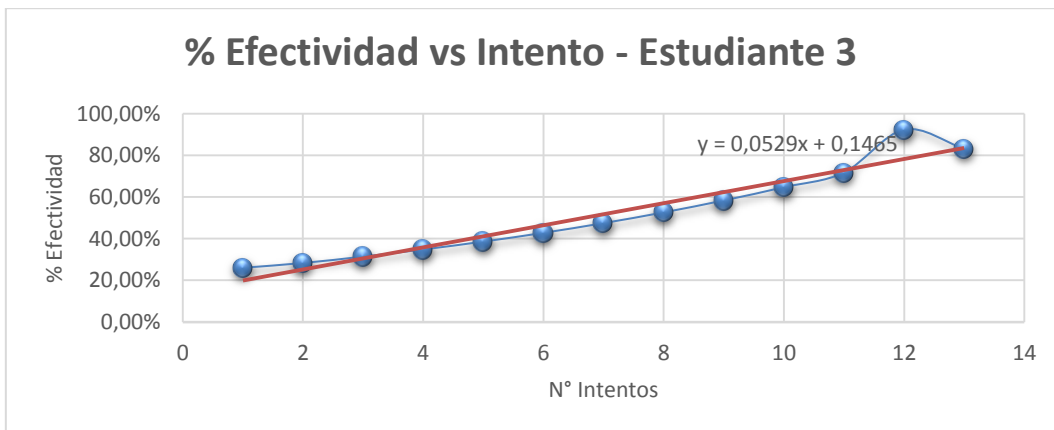
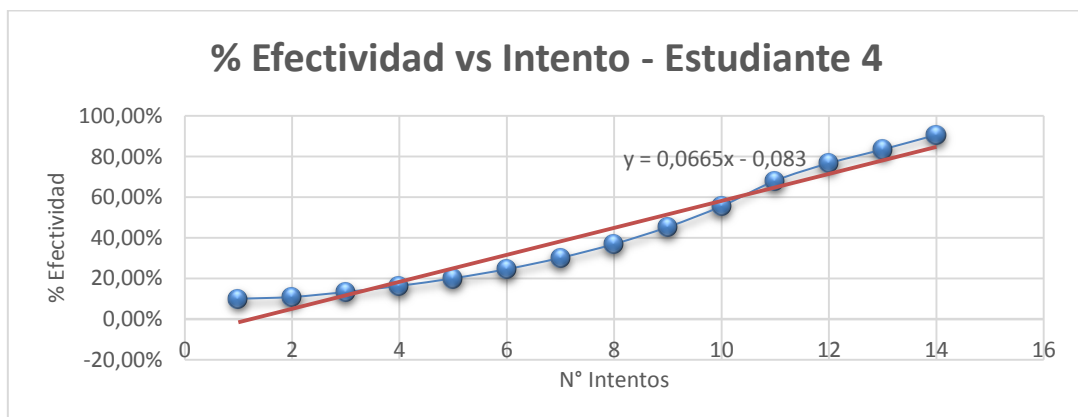
#### 5.4.2 Curvas de Aprendizaje Obtenidas

Con los datos de detallados en la sección de recopilación se realizó las gráficas de % de Efectividad vs Intento, detalladas en la Figura 84, Figura 85, Figura 86 y Figura 87, también se observa las funciones de tendencia con el modelo descrito anteriormente, sustituyendo los datos de efectividad máxima y pendiente respectiva.

**Figura 84**

*Ponderación vs Intento - Estudiante 1*



**Figura 85***Ponderación vs Intento - Estudiante 2***Figura 86***Ponderación vs Intento - Estudiante 3***Figura 87***Ponderación vs Intento - Estudiante 4*

### 5.4.3 Tasa de Aprendizaje

Después de haber obtenido las pendientes, el siguiente paso es calcular la tasa de aprendizaje definida en la ecuación (19), donde “lr” es la tasa de aprendizaje. Es necesario mencionar que mientras más bajo sea el valor obtenido la tasa de aprendizaje del individuo será mucho más alta.

$$lr = \frac{b}{a} \quad (19)$$

En la tabla 21 está detallado para cada uno de los usuarios el cálculo de la tasa de aprendizaje durante las pruebas realizadas. Observándose que las variaciones se encuentran en un rango de 1.15-1.61, mientras que el promedio alcanzado por todos los practicantes fue 1.39.

**Tabla 21**

*Tasa de Aprendizaje*

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
<b>Promedio</b>		1.39

## 5.5 Validación de Hipótesis

En el primer capítulo de este trabajo se detalla la hipótesis que va a ser utilizada para este proyecto y estimamos tomar como variable de validación la tasa de aprendizaje para poder tener una mejor estimación de los datos, ya que para la hipótesis tenemos el desarrollo de la habilidad en soldadura mediante el simulador de soldadura.

**Tabla 22**

*Tasa de aprendizaje obtenida por el simulador de soldadura*

N°	SUJETO	TIPO DE SIMULADOR	TASA DE APRENDIZAJE
1	Estudiante Ingeniería Mecatrónica	Virtual	1.61
2	Estudiante Ingeniería Mecatrónica	Virtual	1.46
3	Estudiante Ingeniería Mecatrónica	Virtual	1.34
4	Persona sin conocimiento de soldadura	Virtual	1.15
5	Grupo de Control y Experimental	Virtual	3.349

### 5.5.1 Hipótesis Estadística

La hipótesis estadística que nos ayuda a realizar la postulación de la hipótesis nula y la hipótesis alternativa para el proyecto es: ¿El promedio de la tasa de aprendizaje de los usuarios obteniendo del módulo de entrenamiento, es adecuada para mejorar la destreza durante el proceso de soldadura MIG de los estudiantes?, como antecedente se debe mencionar que la tasa de aprendizaje promedio obtenida será compara con la tasa de aprendizaje significativo promedio obtenida en el pos-test de habilidades del módulo de entrenamiento realizado por (Condori Cosi, 2019) teniendo este antecedente se puede plantear una hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

$H_i$ : Existe una correlación entre la tasa de aprendizaje del sistema propuesto con la mejora de la destreza durante el proceso de soldadura MIG.

$H_0$ : No existe una correlación entre la tasa de aprendizaje del sistema propuesto con la mejora de la destreza durante el proceso de soldadura MIG.

$$H_i: \mu_{virtual} < \mu_{Virtual} (Condori Cosi, 2019) \quad (20)$$

$$H_0: \mu_{virtual} = \mu_{Virtual} (Condori Cosi, 2019) \quad (21)$$

### 5.5.2 Error aceptado

Cabe mencionar que la hipótesis evaluada debe al menos tener un porcentaje de aceptación del 95% es decir el error aceptado será del 5% o 0.05 se detalla en la Ecuación 22 (Spiegel & Stephens, 2009)

$$\alpha = 0.05 \quad (22)$$

### 5.5.3 Prueba estadística

Para este estudio se aplicará una prueba T de Student para muestras independientes cuyas variables de evaluación son numéricas. (Spiegel & Stephens, 2009)

### 5.5.4 Normalidad

Se efectuó la prueba de Shapiro-Wilk para la determinación de esta variable (Mohd & Bee, 2011). En la Ecuación (23) se detalla la significancia de normalidad de Shapiro-Whilk, donde: “x(i)” es el número de muestra, “p” es la significancia de normalidad, “ $\bar{x}$ ” es la media muestral y “ai” se calcula en función de valores medios.

$$p = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (23)$$

En la tabla 23 se observa los datos referenciales de: varianza media y desviación estándar necesarios para el análisis anteriormente mencionado, los mismos han sido desarrollados e el software estadístico SPSS de IBM.

**Tabla 23**

*Descriptivos estadísticos de las muestras*

DESCRIPTIVOS			
Simulador	Virtual	Media	1.39
		Varianza	0.38
		Desviación	0.19442
Tasa	Virtual (Condori Cosi, 2019)	Media	15.571
		Varianza	1.7571
		Desviación	1.3256

Mediante el mismo programa se obtienen los valores significativos de normalidad mostrados en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk*

PRUEBA DE NORMALIDAD - SHAPIRO-WILK				
	Simulador	Estadístico	gl	Sig
Tasa	Simulador	0.996	4	0.0435
	Simulador (Condori Cosi, 2019)	0.881	2.70	0.0328

### 5.5.5 Significancia

En base a los datos obtenidos de significancia a través de la prueba anteriormente realizada se contrasta con el valor del error permitido aceptar o rechazar  $H_1$  y  $H_0$  como se detalla en las ecuaciones (24) y (25).

$$Sig_{simulador} > \alpha, \text{ rechace } H_0 \text{ (acepte } H_1) \quad (24)$$

$$Sig_{simulador} \leq \alpha, \text{ rechace } H_1 \text{ (acepte } H_0) \quad (25)$$

$$0.0435 \leq 0.05, \text{ rechace } H_0 \text{ (se acepte } H_1)$$

Finalmente, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, lo cual indica que si existe una correlación entre la tasa de aprendizaje del sistema propuesto con la mejora de la destreza durante el proceso de soldadura MIG. Corroborando lo exhibido anteriormente en la curva de aprendizaje.

## 5.6 Análisis de Costos

Para el desarrollo del presente proyecto se adquirió cierta cantidad de componentes mientras que otros fueron fabricados. En la Tabla 25 se desglosa los gastos necesarios para la elaboración del presente proyecto.

**Tabla 25**

*Análisis de costos*

CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	HiLetgo MPU-6050 MPU6050 módulo 6 DOF	\$ 9.99	\$ 9.99
1	HiLetgo VL6180 VL6180X - Módulo de sensor óptico	\$ 7.99	\$ 7.99
1	Uduino - Arduino and Unity communication	\$ 14.99	\$ 14.99
1	Casco de soldadura standard	\$ 8.50	\$ 8.50
1	Cable USB tipo A de 3M	\$ 3	\$ 3
1	Cable HDMI mallado	\$ 10	\$ 10
1	3 metros de espaguete corrugado (Cobertor de cable)	\$ 3	\$ 3
10	Correas plasticas	\$ 0.05	\$0.50
1	Visor impreso en 3D y con corte laser	\$ 17	\$ 17
1	Pantalla kuman 5 pulgadas Resistive Touch Screen 800x480 HDMI TFT LCD	\$39.99	\$39.99
1	Camara NexiGo N660P 1080P 60FPS Webcam with Software Control, Dual Microphone	\$64.99	\$64.99
1	Antorcha de soldadura Impresa en 3D	\$ 76	\$ 76
1	Juego de piezas echas en madera	\$ 8	\$ 8
1	Juego de cables conectores	\$ 1	\$ 1
1	Microcontrolador Atmega 328p	\$ 7	\$ 7
2	Placa PCB con componente	\$ 16.50	\$ 33
1	Cable USB Macho - Macho	\$ 6	\$ 6
1	Botón Pulsador grande	\$ 0.50	\$ 0.50
1	Adaptador USB hembra	\$0.70	\$0.70
		<b>Total</b>	<b>\$ 312.15</b>



## Capítulo VI

### 6 Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1 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.
- 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.
- 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.
- Mediante la obtención de la tasa de aprendizaje aplicado al desarrollo del simulador podemos realizar la validación de la hipótesis por medio del uso de la comparación con los datos brindados por el trabajo de Condori Cosi (2019), al ser también un simulador de soldadura para poder tener bases al momento de validar el trabajo realizado.

## 6.2 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.

## Bibliografía

- Abax 3D Tech. (2022). *PLA y PETG: características, diferencias y aplicaciones*. Obtenido de <https://abax3dtech.com/2020/12/15/pla-y-petg-caracteristicas-diferencias-y-aplicaciones/>
- Aconda Analuiza, C. R. (2019). *Diseño de una Herramienta de Aprendizaje con Realidad Aumentada Aplicada a la Capacitación Técnica*. Tesis de grado en ingeniería en sistemas, Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17215/1/UPS-ST004092.pdf>
- Alonso Marcos, C. (2020). *Soldadura MIG de acero inoxidable y aluminio* (Ediciones Nobel, S.A. ed.). España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- American Welding Society. (2015). *AWS D1.1/D1.1M:2015*. Estados Unidos de América: AWS.
- American Welding Society. (28 de Julio de 2015). *Código de Soldadura Estructural-Acero AWS D1.1/D1.1M:2015*.
- ARCore API. (2021). *Overview of ARCore and supported development environments*. Recuperado el 20 de Enero de 2022, de Google Developers: <https://developers.google.com/ar/develop>
- ATCP Ingeniería Física. (2022). *Sonelastic*®. Obtenido de Maderas: <https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/maderas.html>
- Basogain, X., Olabe, M., Espiosa, K., Rouèche, C., & Olabe, J. C. (Mayo de 2007). Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. *ONLINE EDUCA MADRID*, 7, 24-29. Obtenido de <http://files.trendsandissues.webnode.com/200000010-3884839004/educamadrid-2007.pdf>
- Bell, J. T., & Fogler, H. S. (1995). Bell, John T. and H. Scott Fogler. "Investigation and application of virtual reality as an educational tool." (1995). *Proceedings of the*

- American Society for Engineering Education, Annual Conference*(2513). Obtenido de <https://www.cs.uic.edu/~jbell/Professional/Papers/aseepap2.pdf>
- Bonow, C. A., Cezar-Vaz, M. R., Witt da Silva, L. R., Rocha, L. P., & Turik, C. (Febrero de 2014). Health disorders related to learning the welding trade: assessment of approaches to risk communication. *Latino-Am. Enfermagem*, 22(1), 43-50. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/0104-1169.3094.2384>.
- Cantón Enríquez, D., & Arrellano Pimentel, J. (Octubre de 2017). Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores. *Apertura*, 8(2), 8-23. Recuperado el 18 de Enero de 2022, de <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/1049>
- Cao, R. (07 de 04 de 2021). Proof of concept application of Augmented Reality Unity AR Foundation Software. Queen Mary University of London.
- Cárdenas, C. A., & González Escudero, M. A. (12 de Julio de 2017). Mejoramiento de los procesos de soldadura de una planta industrial para proporcionar condiciones seguras en el trabajo. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 81-84. doi:<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.72>
- Castro González, D., Barbosa, L. H., Prada Jiménez, V., & Conde Méndez, G. (Febrero de 2017). *Diseño y desarrollo de un entorno virtual inmersivo para instruir el principio de superposición de movimientos a estudiantes de ingeniería [Gráfico]*. Obtenido de <https://doi.org/10.26507/rei.v12n23.759>
- Chango, M., & Zambrano, I. (s.f.). *Las curvas de aprendizaje factor de éxito en la medición del desempeño laboral en la gestión*. Sangolqui, Pichincha, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13749/1/978-9942-765-12-3%20LAS%20CURVAS%20DE%20APRENDIZAJE.pdf>

- Choquet, C. (2015). Teach Welders in a Virtual Environment. *123 Certification Inc.*  
doi:<http://file.yzimgs.com/377623/2012061710531563.pdf>
- Condori Cosi, M. C. (2019). *Módulo de entrenamiento del simulador de soldadura en el aprendizaje.* (U. N. Educación, Ed.) Lima, Perú.
- CSDN. (08 de 09 de 2020). *El ecosistema AR portátil de Unity AR Foundation: ARCore y ARKit [Gráfico].* Obtenido de [https://img-blog.csdnimg.cn/img\\_convert/0d335d76dfb2385d4f6d87661fc97aef.png](https://img-blog.csdnimg.cn/img_convert/0d335d76dfb2385d4f6d87661fc97aef.png)
- Designers. (2020). *Realidad Aumentada vs. Realidad Virtual vs. Realidad Mixta: Una Guía Introductoria [Gráfico].* Obtenido de <https://uploads.toptal.io/blog/image/124473/toptal-blog-image-1508845945801-e799a7344afce362b01ef8ca60d45bb7.jpg>
- Díaz Campos, B. (06 de Abril de 2016). Realidad Aumentada en la educación. *Entorno*(61), 47-53. doi:<https://doi.org/10.5377/entorno.v0i61.6129>
- Domínguez Díaz, A., Castro González, J. M., & Navarro Pulido, F. (2018). *Unity 2017.X.* Ediciones de la U.
- EN-ISO 9241-5. (2018). *Requisitos Ergonómicos: Concepción del puesto de trabajo y exigencias.* Madrid.
- Escartín, E. R. (2000). La realidad aumentada, una tecnología educativa a nuestro alcance. *Pixel-Bit, 15*, 5-21. Recuperado el 18 de Enero de 2022, de <http://hdl.handle.net/11441/45510>
- Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (Enero de 2010). *Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía.* Obtenido de WEB de la Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía:  
<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6731.pdf>

Flores Cruz, J. A., Camarena Gallardo, P., & Avalos Villareal, E. (Octubre de 2014). La realidad virtual, una tecnología innovadora aplicable al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería. *Apertura*, 6(2), 1-10. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=68835725008>

Flórez Aristizábal, L. (2013). *Realidad Aumentada y Realidad Mixta*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Leandro-Florez-Aristizabal/publication/236879222\\_REALIDAD\\_AUMENTADA\\_Y\\_REALIDAD\\_MIXTA/links/00b49519d985af24c8000000/REALIDAD-AUMENTADA-Y-REALIDAD-MIXTA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Leandro-Florez-Aristizabal/publication/236879222_REALIDAD_AUMENTADA_Y_REALIDAD_MIXTA/links/00b49519d985af24c8000000/REALIDAD-AUMENTADA-Y-REALIDAD-MIXTA.pdf)

Fronius International GmbH. (2022). *Virtual Welding [Gráfico]*. Madrid. Obtenido de <https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/productos/accesorios/3554/virtual-welding/m%C3%B3dulo-b%C3%A1sico-mobilecase>

García Escobedo, C. K. (2015). *Aplicación de la Realidad Aumentada al Mantenimiento de Maquinaria Industrial de Cinco Ejes: Una Integración Tecnológica*. Tesis para grado de maestría, Universidad de Montemorelos, Facultad de Ingeniería y Tecnología. Obtenido de <https://1library.co/document/qo3679kq-aplicacion-realidad-aumentada-mantenimiento-maquinaria-industrial-integracion-tecnologica.html>

González Olivares, E., & Vergara Díaz, V. (2011). Influencia de la oscilación mecánica del arco en el proceso de soldadura MIG/MAG con transferencia metálica por corto circuito. *XXXVII Congreso Nacional de Soldagem*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/292308164\\_Soldadura\\_GMAW\\_con\\_transferencia\\_metalica\\_por\\_corto\\_circuito\\_aplicada\\_con\\_oscilacion\\_del\\_arco\\_GMAW\\_Welding\\_with\\_metallic\\_transfer\\_by\\_short-circuit\\_applied\\_with\\_arc\\_oscillation](https://www.researchgate.net/publication/292308164_Soldadura_GMAW_con_transferencia_metalica_por_corto_circuito_aplicada_con_oscilacion_del_arco_GMAW_Welding_with_metallic_transfer_by_short-circuit_applied_with_arc_oscillation)

- Gutierrez, D., & Hernández, L. A. (01 de 12 de 2003). Potencial de la Realidad Virtual en el ámbito del Patrimonio. *Debate e investigación*, 46, 050-059.  
doi:<https://doi.org/10.33349/2003.46.1629>
- Heras Lara, L., & Villarreal Benítez, J. (10 de Junio de 2007). La Realidad Aumentada: una Tecnología en Espera de Usuarios. *Revista Digital Universitaria*, VIII(6). Obtenido de <https://www.ru.tic.unam.mx/tic/bitstream/handle/123456789/1278/628.pdf?sequence=1&isAl>
- HLC SISTEMAS. (14 de Mayo de 2020). *¿Cuáles son los códigos de soldadura ASME, API, AWS? (WEBTILIA)* Obtenido de HLC: <https://www.hlcsac.com/noticias/codigos-de-soldadura-segun-asme-api-aws/>
- Ingemecánica. (21 de Enero de 2022). *Soldadura MIG-MAG*. Obtenido de Ingemecánica Web Site: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn53.html>
- IPC. (Noviembre de 2012). IPC-2221B Generic Standard on Printed Circuit Design. 3000 Lakeside Drive, Suite 309S, Bannockburn, Illinois, United States.
- Jaramillo Aguiar, N. A., Macas Narvaez, R. E., & Hurtado Larrea, F. E. (2020). *Desarrollo de una Aplicación Móvil con Realidad Aumentada que Apoye el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje del uso de los Equipos del Laboratorio de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) de la Carrera de Mecánica de la Universidad Salesiana*. Tesis grado en ingeniería en sistemas, Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19078/1/UPS%20-%20TTS074.pdf>
- Jiménez, R. (2014). *Realidad Virtual, su Presente y Futuro*. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Facultad de Ciencias y Tecnologías, Asunción. Obtenido de <https://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Realidad-Virtual-2014.pdf>



- Lincoln Electric. (2022). *K2655-2 Magnum PRO 550 [Imagen]*. Obtenido de The Lincoln Electric Company: <https://www.lincolnelectric.com/es-MX/CAD-Files>
- Lønmo, L., & Muller, G. (2014). Concept Selection-Appling Pugh Matrices in the Subsea Processing Domain. *INCOSE International Symposium*, 24, págs. 583-598. Las Vegas. doi:<https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2014.tb03169.x>
- Macmahon, N. S., Merino, O. B., Maza Valle, C. A., Jiménez, A. N., & Pérez Delgado, A. (2018). Simulador de Ensamble de Dispositivos Electrónicos por medio de Realidad Aumentada usando un Sensor Kinect. *Pistas Educativas*, 35. Obtenido de <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1482>
- Merino, A. (2013). Realidad Mixta. *Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción*, 1. Obtenido de [http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2018/11/Mixed\\_Reality.pdf](http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2018/11/Mixed_Reality.pdf)
- Mohd, N., & Bee, Y. (2011). Power comparions of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Liliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 21-33.
- Molera Solá, P. (1992). *Soldadura industrial: clases y aplicaciones*. (Vol. 56). (B. Editores, Ed.) Barcelona, España: Marcombo S.A. Obtenido de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=KoEH9EkR48gC&oi=fnd&pg=PA7&dq=Molera+Solá,+P.+\(1992\).+Soldadura+industrial:+clases+y+aplicaciones+\(Vol.+56\).+España:+Marcombo+S.A.&ots=33IDbuDaar&sig=X4-HAvVp\\_20tdyAAC3Wpmq65AHg#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=KoEH9EkR48gC&oi=fnd&pg=PA7&dq=Molera+Solá,+P.+(1992).+Soldadura+industrial:+clases+y+aplicaciones+(Vol.+56).+España:+Marcombo+S.A.&ots=33IDbuDaar&sig=X4-HAvVp_20tdyAAC3Wpmq65AHg#v=onepage&q&f=false)
- Morrales Urrutia, G. A., Nava López, C. E., Fernández Martínez, L. F., & Rey Corral, M. A. (Enero - Abril de 2010). Procesos de Desarrollo para videojuegos. *Culcyt*, 7(36/37), 25-39. Obtenido de <https://148.210.21.18/ojs/index.php/culcyt/article/view/299/283>
- Mott, R. L. (2009). *Resistencia de materiales*. México,D.F, México: Pearson Education.

- Muñoz Jashimoto, L., de la Vega Bustillos, E., Lopez Millan, F. O., Ortiz Navar, B. A., & Lucero Duarte, K. (2009). Fuerza máxima de agarre con mano dominante y no dominante. *XV CONGRESO INTERNACIONAL DE ERGONOMÍA SEMAC*. Obtenido de <http://www.semec.org.mx/archivos/congreso11/BIOM01.pdf>
- NTE INEN-ISO 7250-1. (2014). *Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico*. Quito.
- Pérez Martínez, F. J. (Marzo de 2011). Presente y Futuro de la Tecnología de la Realidad Virtual. *Creatividad y Sociedad*, 15(5). Recuperado el 18 de Enero de 2022, de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59541849/4-Realidad\\_Virtual20190605-15699-1qa1682-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1642562868&Signature=T~07KvK8k2qRd3s0OnNCAK5HCuFB0RmcSg~v8wG-J2CMaOYvtfkxqWudO2fA7tgEPmyOrFrJ9C-Etv~XLZJzwcsCM8fEbmIM6htqJv7qnCIYPSUU2obF](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59541849/4-Realidad_Virtual20190605-15699-1qa1682-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1642562868&Signature=T~07KvK8k2qRd3s0OnNCAK5HCuFB0RmcSg~v8wG-J2CMaOYvtfkxqWudO2fA7tgEPmyOrFrJ9C-Etv~XLZJzwcsCM8fEbmIM6htqJv7qnCIYPSUU2obF)
- Prendes Espinosa, C. (Enero de 2015). Realidad Aumentada y Educación: Análisis de Experiencias Prácticas. *Píxel-Bit*(46), 187-203.
- Proyectos Piping. (16 de Julio de 2014). *tipos solid [Fotografía]*. Obtenido de Proyectos Piping: <http://proyectopiping.blogspot.com/2014/07/terminos-y-definiciones-de-soldadura.html>
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente* (1 Ed. ed.). Barcelona, España: UCP.
- Spiegel, M., & Stephens, L. (2009). *Estadística*. México: McGrawHill.
- Teyssier, M. (1 de Agosto de 2018). *Arduino Script Reference*. Obtenido de Uduino | Home: <https://marcteyssier.com/uduino/docs/arduino-script-reference>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos* (Quinta ed.). (J. H. Romo Muñoz, & R. M. Rubio Ruiz, Trads.) Mexico D.F., Mexico: McGraw-Hill Education.

Unity Technologies. (2021). *AR Foundation*. Obtenido de

[https://unity.com/sites/default/files/styles/16\\_9\\_s\\_scale\\_width/public/2020-06/AR%20Foundation%202.1%20Chart%20%282019%20LTS%29.png?itok=hPpyk6\\_6](https://unity.com/sites/default/files/styles/16_9_s_scale_width/public/2020-06/AR%20Foundation%202.1%20Chart%20%282019%20LTS%29.png?itok=hPpyk6_6)

Uribe, C. L. (2010). Soldadura G.M.A.W - MIG/MAG: Un proceso rápido, limpio y versátil.

*Metal Actual*, 18-24.

Videla Rodríguez, J. J., Sanjuán Pérez, A., Martínez Costa, S., & Seoane Nolasco, A. (Junio de

2017). Diseño y usabilidad de interfaces para entornos educativos de realidad aumentada. *Digital Education*(31), 61-79. Obtenido de

[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19294/Videla\\_Rodriguez\\_JJ\\_2017\\_Disenio\\_usabilidad\\_interfaces\\_entornos\\_educativos\\_realidad\\_aumentada.pdf?sequence=3](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19294/Videla_Rodriguez_JJ_2017_Disenio_usabilidad_interfaces_entornos_educativos_realidad_aumentada.pdf?sequence=3)

Wang, S., Mao, Z., Zeng, C., Gong, H., Li, S., & Chen, B. (2010). A new method of virtual reality based on Unity3D. *IEEE*. doi:10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567608

# ANEXOS