



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN
HOLOGRÁFICA CONTROLADA MEDIANTE GESTOS PARA
INTERACTUAR CON UN MODELO 3D EN EL LABORATORIO DE
MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**

AUTOR: SALAZAR QUISPE, EUCLIDES DANIEL

DIRECTORA: ING. REA MINANGO, SYLVIA NATHALY

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN HOLOGRÁFICA CONTROLADA MEDIANTE GESTOS PARA INTERACTUAR CON UN MODELO 3D EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” fue realizado por el señor **Salazar Quispe, Euclides Daniel** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, julio del 2019

Ing. Nathaly Rea

C.:1721261921



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Salazar Quispe, Euclides Daniel**, declaro que el contenido, ideas y criterio del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN HOLOGRÁFICA CONTROLADA MEDIANTE GESTOS PARA INTERACTUAR CON UN MODELO 3D EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumplimiento con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, julio del 2019

Daniel Salazar Quispe

C.C.:0503998916



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Salazar Quispe, Euclides Daniel** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN HOLOGRÁFICA CONTROLADA MEDIANTE GESTOS PARA INTERACTUAR CON UN MODELO 3D EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Latacunga, julio del 2019

Daniel Salazar Quispe

C.C.:0503998916

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi madre, Mercedes quien, con su ejemplo y lucha diaria fue mi apoyo incondicional para poder culminar con éxito esta etapa de mi vida, a mi padre Augusto que desde el cielo me da siempre su bendición, a mis abuelitos Luis y Celia que me cuidaron como a un hijo más brindándome siempre su amor y comprensión para superar los obstáculos que se presentaban día a día, a mi hermana Stefany que es mi alegría y motor para cada día ser una mejor persona y un ejemplo a seguir, a Jessica por ser una persona incondicional que me acompañó durante toda esta etapa y me ayudó siempre a seguir adelante, y a todos mis amigos que me dieron su apoyo.

Daniel

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por el esfuerzo y apoyo diario que me brindaron durante todos los años de estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica y durante el tiempo de realización de este proyecto.

A todos los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE quienes compartieron conmigo sus conocimientos para ayudarme a ser un buen profesional y una mejor persona. De manera muy especial agradezco a la ingeniera Nathaly Rea por su apoyo incondicional durante el desarrollo del presente proyecto.

A todos mis amigos y compañeros de clase con quienes compartí muchas horas de felicidad y angustia a quien siempre consideré como mi segunda familia.

Daniel

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación e Importancia.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Alcance.....	6
1.7. Estructura del Proyecto	7

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Control gestual	9
2.2. Sensores de reconocimiento gestual.....	9
2.2.1. Kinect.....	9
2.2.2. Leap Motion.....	10
2.3. Entorno de desarrollo integrado (IDE).....	11
2.3.1. Unreal Engine 4.....	12
2.3.2. Unity3D.....	13
2.3.3. Game Maker Studio 2	14
2.4. Leap Motion SDK para Unity	15

2.4.1. Módulo Core	15
2.4.2. Módulo Interaction Engine	16
2.5. Dispositivos de proyección de imagen	18
2.5.1. Dispositivos con tecnología plasma.....	18
2.5.2. Dispositivos con tecnología LCD.....	19
2.6. Holograma	22
2.6.1. Hologramas de reflexión	22
2.6.2. Holograma de transmisión	25

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA PROPUESTA

3.1. Matriz QFD	27
3.1.1. Necesidades del cliente	27
3.1.2. Requerimientos técnicos.....	27
3.2. Análisis Funcional.....	29
3.2.1. Función Principal.....	29
3.2.2. Funciones específicas.....	29
3.3. Generación de conceptos.....	30
3.3.1. Etapa de adquisición y envío de datos.	30
3.3.2. Etapa de procesamiento de datos.....	31
3.3.3. Sistema de Visualización.....	31
3.4. Selección de componentes eléctricos y electrónicos.	33
3.4.1. Selección del sensor de detección de gestos	33
3.4.2. Selección del dispositivo de proyección.....	34
3.5. Descripción de la estación holográfica.....	34
3.6. Diseño de la estructura mecánica.	35
3.6.1. Descripción de la estructura.....	35
3.6.2. Criterios de diseño	35
3.6.3. Diseño de la estructura de soporte para el dispositivo de proyección.....	36
3.6.4. Diseño de las columnas de soporte.	46
3.6.5. Análisis CAE de la estructura	52
3.6.6. Construcción del prototipo de la estructura	54
3.6.7. Implementación de la superficie de reflexión de imagen	55

3.7. Modelado CAD de la estación de manipulación neumática.....	57
---	----

CAPÍTULO IV

PROGRAMACIÓN DEL AMBIENTE INTERACTIVO

4.1. Descripción del sistema interactivo.....	61
4.2. Desarrollo del menú de selección de modos	63
4.2.1. Desarrollo del control con el dispositivo Leap Motion.....	64
4.2.2. Creación y configuración de botones.....	66
4.2.3. Creación de recuadros de etiquetas.....	70
4.3. Desarrollo de los modos de interacción.....	70
4.3.1. Modo “Descripción de la Estación”.....	71
4.3.2. Modo “Ensamble”	73
4.3.3. Modo “Desensamblable”	80
4.4. Construcción del archivo ejecutable.....	84

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Pruebas y tabulación de resultados.....	87
5.1.1. Validación de la hipótesis para el factor de control por el método T-Student	91
5.1.2. Validación de la hipótesis para el factor de realismo por el método T-Student.....	93
5.1.3. Validación de la hipótesis para el factor de distracción por el método de T-Student.....	94
5.2. Validación de la Hipótesis.....	100

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	103
6.2. Recomendaciones.....	105

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
---	------------

ANEXOS.....	110
--------------------	------------

ANEXO A. Instalación del SDK del dispositivo Leap Motion

ANEXO B. Láminas de la estación de manipulación neumática

ANEXO C. Encuesta

ANEXO D. Tabla de distribución T-Student

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Ventajas y desventajas del dispositivo Kinect.....</i>	10
Tabla 2.	<i>Ventajas y desventajas del dispositivo Leap Motion.....</i>	11
Tabla 3.	<i>Requisitos mínimos para la instalación y uso de Unreal Engine 4</i>	12
Tabla 4.	<i>Ventajas y desventajas del software Unreal Engine 4</i>	13
Tabla 5.	<i>Requisitos mínimos para la instalación y uso de Unity3D.</i>	14
Tabla 6.	<i>Ventajas y desventajas del software Unity.....</i>	14
Tabla 7.	<i>Requisitos mínimos para la instalación y uso de Game Maker Studio 2.....</i>	15
Tabla 8.	<i>Ventajas y desventajas del software Game Maker Studio 2.....</i>	15
Tabla 9.	<i>Ventajas y desventajas de televisores de pantalla plasma.....</i>	19
Tabla 10.	<i>Ventajas y desventajas de un monitor AOC</i>	21
Tabla 11.	<i>Ventajas y desventajas de un televisor LCD Samsung.....</i>	21
Tabla 12.	<i>Matriz de evaluación para la etapa de adquisición y envío de datos.</i>	30
Tabla 13.	<i>Matriz de evaluación para la etapa de procesamiento de datos.....</i>	31
Tabla 14.	<i>Matriz de evaluación para el sistema de visualización.....</i>	32
Tabla 15.	<i>Matriz de evaluación para el tipo de estructura.</i>	32
Tabla 16.	<i>Datos técnicos del sensor Leap Motion</i>	33
Tabla 17.	<i>Datos técnicos del televisor Samsung LCD LN19C350DID.....</i>	34
Tabla 18.	<i>Distribución de preguntas</i>	88
Tabla 19.	<i>Intervalos de interpretación.</i>	88
Tabla 20.	<i>Distribución de estudiantes por nivel.....</i>	89
Tabla 21.	<i>Tabla de transformación entre escalas</i>	89
Tabla 22.	<i>Ejemplo de respuesta de encuesta.....</i>	89
Tabla 23.	<i>Datos recopilados de las encuestas realizadas primera parte</i>	90
Tabla 24.	<i>Condiciones para la validación de las hipótesis alternativas.....</i>	91
Tabla 25.	<i>Rango de correlación de Sepearman</i>	101
Tabla 26.	<i>Matriz de correlación.....</i>	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dispositivo Kinect	10
Figura 2. Sistema de coordenadas Leap Motion	10
Figura 3. Zona de Cobertura	11
Figura 4. Plataforma básica de control.....	18
Figura 5. Distribución de píxeles de la tecnología plasma.....	19
Figura 6. Estructura de una pantalla LCD.....	20
Figura 7. Televisor Samsung LCD.....	21
Figura 8. Ley de la reflexión	23
Figura 9. Holograma de 90°	23
Figura 10. Holograma de 180°	24
Figura 11. Holograma de 360°	25
Figura 12. Holograma de transmisión.....	25
Figura 13. Casa de la Calidad.	28
Figura 14. Función Principal.....	29
Figura 15. Subfunciones del sistema.....	30
Figura 16. Funcionamiento de la estación holográfica	35
Figura 17. Componentes de la estructura mecánica.....	36
Figura 18. Estructura de apoyo	37
Figura 19. Carga distribuida en el soporte	39
Figura 20. Carga puntual sobre el soporte	39
Figura 21. Diagrama de fuerzas cortantes.....	40
Figura 22. Diagrama de momentos flectores	41
Figura 23. Estudio estático de la estructura de apoyo	45
Figura 24. Tensiones de Von Mises de la estructura	45
Figura 25. Desplazamientos máximos de la estructura	46
Figura 26. Catálogo de perfiles de aluminio	47
Figura 27. Tensiones de Von Mises de la columna	51
Figura 28. Desplazamiento máximo de la columna	52
Figura 29. Mallado de la estructura.....	52
Figura 30. Tensiones de Von Mises de la estructura	53
Figura 31. Desplazamientos máximos de la estructura	53
Figura 32. Prototipo de la estructura	54
Figura 33. Estructura en aluminio	55
Figura 34. Espacio de trabajo y tamaño de imagen a 30°	56
Figura 35. Espacio de trabajo y tamaño de imagen a 45°	57
Figura 36. Espacio de trabajo y tamaño de imagen a 38°	57
Figura 37. Superficie reflectante	57
Figura 38. Componentes de la estación neumática	59
Figura 39. Componentes del módulo PickAlfa	59
Figura 40. Modelado en software CAD	60

Figura 41. Diagrama de flujo del sistema interactivo	62
Figura 42. Distribución de botones en el menú.....	63
Figura 43. GameObject de control	64
Figura 44. Script Hand Models	65
Figura 45. Componente Leap Service Provider	65
Figura 46. Asignación del controlador Leap Service Provider.....	66
Figura 47. Jerarquía.....	67
Figura 48. Botón.....	67
Figura 49. Configuración Inicial	67
Figura 50. Configuración de parámetros.....	68
Figura 51. Asignación de GameObject	69
Figura 52. Selección de la función	69
Figura 53. Asignación del parámetro tipo string.....	69
Figura 54. Jerarquía de creación	70
Figura 55. Etiqueta creada.....	70
Figura 56. Componente Video Player	72
Figura 57. Configuración del objeto	74
Figura 58. Estación de manipulación neumática.....	74
Figura 59. Piezas aisladas de la estación.....	75
Figura 60. Clase Contador.....	76
Figura 61. Activación de la clase “Inicio”	77
Figura 62. Asignación de <i>Scripts</i>	79
Figura 63. Interfaz de usuario	80
Figura 64. Animaciones	81
Figura 65. Componente “CFX3_DarkMagicAura”	82
Figura 66. Configuración	83
Figura 67. Interfaz de Usuario	84
Figura 68. Ventana Build Settings	85
Figura 69. Player Settings	86
Figura 70. Archivo ejecutable.....	86
Figura 71. Resultados en la pregunta 19 de la encuesta.....	96
Figura 72. Resultados de la pregunta 20 de la encuesta.....	97
Figura 73. Resultados de la pregunta 21 de la encuesta.....	98
Figura 74. Resultados de la pregunta 22 de la encuesta.....	98
Figura 75. Resultados de la pregunta 23 de la encuesta.....	99
Figura 76. Resultados de la pregunta 24 de la encuesta.....	100

RESUMEN

La necesidad de buscar nuevos métodos para estudiar los equipos tecnológicos dentro del laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga sin poner en riesgo su integridad conllevan al uso de entornos virtuales. El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de una estación holográfica controlada mediante gestos para interactuar con el modelo 3D de una estación de manipulación neumática. Esta estación está diseñada para permitir la interacción directa con un holograma, consta con una etapa de reconocimiento de gestos realizado mediante el dispositivo Leap Motion, procesamiento de datos por medio de un motor de videojuegos, y visualización del entorno virtual por medio de una estructura adecuada. Tiene un tipo de programación orientada a objetos y con la ayuda del lenguaje de programación C# permiten realizar las interacciones virtuales con el modelo 3D. La construcción de la estructura está basada en los principios de reflexión y refracción de la luz permitiendo visualizar un holograma con una buena calidad. La implementación de este proyecto se realizó en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

PALABRAS CLAVES:

- **LENGUAJE CORPORAL**
- **HOLOGRAMAS**
- **VIDEOJUEGOS**

ABSTRACT

The need to look for new methods to study the technological equipment within the Mechatronics Engineering laboratory of the University of the Armed Forces ESPE Latacunga Headquarters without risking their integrity entails the use of virtual environments. The present project consists of the design and construction of a holographic station controlled by gestures to interact with the 3D model of a pneumatic handling station. This station is designed to allow direct interaction with a hologram, consists of a gesture recognition stage performed by the Leap Motion device, data processing by means of a video game engine, and visualization of the virtual environment by means of a suitable structure. It has a type of object-oriented programming and with the help of the programming language C # allow to perform the virtual interactions with the 3D model. The construction of the structure is based on the principles of reflection and refraction of light, allowing to visualize a hologram with a good quality. The implementation of this project was carried out in the Mechatronics Laboratory of the University of the Armed Forces, ESPE Latacunga Headquarters.

KEYWORDS:

- **BODY LANGUAGE**
- **HOLOGRAMS**
- **VIDEO GAME**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La adquisición de nuevos equipos para el Laboratorio de Mecatrónica, necesarios para optimizar el aprendizaje de los estudiantes dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, por su avanzada tecnología, tiene un elevado costo, limitándose a adquirir pocos equipos, que son utilizados por varios estudiantes al mismo tiempo, dificultando el aprendizaje. Al estar ensambladas las estaciones, por seguridad y para salvaguardar la integridad del equipo, no se le permite al estudiante desmontar ningún componente de la misma, restringiendo el análisis de la estructura a los elementos superficiales, sin poder observar a mayor detalle los componentes que conforman el conjunto, al igual que desconocer qué funcionalidades o características poseen.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga se han presentado varios proyectos que utilizan la tecnología de la realidad virtual creando entornos interactivos, sin embargo estos sistemas tienen limitaciones como: requieren de dispositivos especiales tales como las gafas de realidad virtual Oculus Rift que tiene un elevado costo; sólo una persona puede usar el dispositivo e interactuar con el entorno; personas con deficiencia visual o que utilizan lentes no puedan usar el dispositivo cómodamente, su tiempo de uso se ve limitado ya que según lo afirma Redacción Salud, (2017) esto puede causar náuseas, vómito e incluso problemas con la coordinación mano-ojo por lo que se requiere que el usuario deje de utilizar el dispositivo por un periodo de tiempo e interrumpiendo de manera inesperada el trabajo;

aunque aún se desconoce si estos malestares pueden llegar a ser permanentes sin duda alguna afecta a la salud.

Las nuevas generaciones hiperconectadas con la tecnología han perdido el interés en estudiar con los métodos tradicionales de enseñanza, mediante libros y cuadernos, creando un problema de déficit de atención y un bajo rendimiento académico, por lo cual existe la necesidad de buscar nuevos métodos para captar la atención de los estudiantes y mantenerlos concentrados e interesados durante las horas de clase.

1.2. Antecedentes

Callejas (2014) manifiesta que la tecnología evoluciona de manera muy rápida y es así que día a día se desarrollan nuevos dispositivos que podrían revolucionar al mundo, es así el caso del control gestual el cual ha visto un amplio campo aplicativo, no solo en ordenadores o consolas sino también en aplicaciones como: el control remoto por gestos de aviones desarrollado por Oblong, la versión de Kinect de Asus, los televisores Samsung con la capacidad de reconocer gestos; y, el sistema Leap Motion. Entre los diferentes sistemas para reconocimiento de gestos, resaltan dos, como son: Leap Interactive, el cual se trata de un sistema muy parecido a la Kinect, pero con mayor precisión y menor costo de adquisición; y, Ubi Interactive, el cual busca desarrollar proyectores con sensores Kinect permitiendo al usuario convertir cualquier superficie en una superficie interactiva sin la necesidad de utilizar teclado o ratón.

La Vanguardia (2017) en su publicación “Los gestos de la mano, sobre el nuevo sistema de control para el Volkswagen Golf” manifiesta que se ha desarrollado un control gestual que da

al usuario la capacidad de controlar algunas de las funciones del sistema de infoentretenimiento, permitiendo navegar por el menú principal, cambiar de emisora de radio, activar el visor de imágenes sin la necesidad de tocar el dispositivo. En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se ha utilizado el sensor Leap Motion Controller para el desarrollo de sistemas de entrenamiento lúdico y para el apoyo académico para niños basado en identificación de movimientos, para mejorar los métodos tradicionales de enseñanza y presentar un sistema novedoso y atractivo tanto para docentes, como para alumnos.

Dávila (2018) en su artículo “El Salto evolutivo de los hologramas, a punto de llegar” manifiesta que los hologramas siempre han requerido una superficie en la cual proyectarse. En 1967, el inventor alemán Uwe Maaass reemplazó la superficie de vidrio que se utiliza habitualmente, por un polímero metálico de 1 mm de grosor, obteniendo un mejor resultado. En el Ecuador se pueden observar hologramas 3D en el Museo de la Mitad del Mundo, utilizando superficies trapezoidales para su proyección.

El Espectador (2016) da a conocer las varias investigaciones sobre el uso de la realidad virtual y sus perjuicios hacia la salud, por ejemplo, manifiesta: “Banks ha encontrado un problema conocido como “conflicto de acomodación y convergencia” que causa fatiga ocular”, esto en virtud que los espectadores deben enfocar a una distancia hacia donde se emite la imagen, pero la convergencia se hace a otra distancia. Pese a que el efecto aparenta ser temporal, se considera necesario comenzar a indagar qué puede suceder con los ojos en el futuro. Además, el artículo refiere que la actual Guía de Directrices Saludables y de Seguridad de las Oculus Rift, un casco de realidad virtual, advierte sobre efectos colaterales de su uso

como: convulsiones, náuseas y mareos, hasta problemas con la coordinación mano-ojo en niños que pasan tiempo prolongado usando el casco.

1.3. Justificación e Importancia

Debido al impacto que ha tenido la tecnología en la sociedad, el uso de nuevos dispositivos para mejorar el nivel de educación debe considerarse como una herramienta imprescindible dentro de la formación académica de nuevos profesionales, esto debido a que los componentes son más accesibles.

El aprendizaje utilizando un dispositivo capaz de generar imágenes holográficas y detectar los gestos realizados con las manos hace la experiencia más interactiva y mucho más interesante para las actuales generaciones, a comparación de los tradicionales libros, los cuales con el paso del tiempo se han visto opacados por la tecnología.

La aplicación permite al estudiante adquirir conocimiento acerca de una estación didáctica que físicamente no existe, sin ser necesario el recurrir a catálogos y observar imágenes en 2D puede interactuar de manera virtual a través del control gestual sin poner en riesgo la integridad física de cada una de las diferentes piezas que componen la estación, este sistema elimina la necesidad de dispositivos especiales como las gafas de realidad virtual por lo cual no presenta los problemas que conlleva utilizarlas y puede ser observado por varios usuarios a la vez. Al ser este tipo de sistemas virtuales de un bajo coste de producción se pueden replicar con un bajo capital, dando la posibilidad de que existan suficientes equipos para todos los alumnos.

El presente proyecto podría habilitar nuevas tendencias de investigación, enfocadas no sólo al control gestual, sino también a la generación de imágenes holográficas más sofisticadas,

buscando así mejorar el aprendizaje de las futuras generaciones con la inclusión y el uso de nuevas tecnologías.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una estación holográfica controlada mediante gestos para interactuar con un modelo 3D en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar y estudiar los tipos de sensores gestuales y técnicas para la generación de imágenes holográficas.
- Modelar y animar en un software CAD la estación didáctica.
- Diseñar y construir el entorno de proyección de la imagen holográfica
- Establecer la comunicación entre el sensor gestual y el motor de videojuegos mediante la programación de control gestual
- Realizar las correspondientes pruebas de funcionamiento del sistema.

1.5. Hipótesis

¿El diseño e implementación de una estación holográfica controlada mediante gestos permitirá interactuar con un modelo 3D?

1.6. Alcance

El presente proyecto tiene como fin generar una proyección holográfica interactiva de una estación didáctica aplicable al área de automatización industrial para el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga. La estación modelada es similar a una estación didáctica de automatización Festo, que no se encuentra físicamente en el laboratorio, en la cual se puede ensamblar y desmontar los componentes principales de la misma mediante control gestual, mejorando su estudio.

Este proyecto inicia con una fase de investigación bibliográfica, la cual consistió en recolectar información referente a dispositivos que permitan el control gestual, comunicación entre hardware y software para control gestual, software que permita generar imágenes holográficas, superficies idóneas para la proyección de imágenes holográficas, configuración estructural y condiciones para la proyección de una imagen holográfica.

A continuación, se realizó el modelamiento 3D de la estación didáctica seleccionada con la ayuda de un software CAD, luego se exportó el modelo a un software de creación y animación 3D, en el cual se colocaron las diferentes animaciones requeridas, al igual que los detalles estéticos de la estación. Posteriormente, el modelo se exportó a un motor de videojuegos para su operación.

A partir de la investigación se obtuvo la información necesaria para escoger un sensor óptimo que permitió el control gestual y la comunicación entre hardware y software para el correcto funcionamiento. Se escogió un dispositivo adecuado para la proyección de imágenes a partir del cual se diseñó una estructura modelada en CAD, se construyó la estructura con los

materiales adecuados, y la forma idónea que permita observar la imagen desde una sola superficie y manipularla desde tres lados diferentes; conjuntamente se realiza la configuración del sensor de tal manera que permite su comunicación con el motor de videojuegos, la programación para el control gestual y la generación de imágenes holográficas, de tal forma que existe concordancia entre la estructura, la ubicación del sensor, el holograma y las animaciones generadas. Se analizó la factibilidad de colocar un sistema que permita regular el ángulo de inclinación de la superficie donde se proyecta el holograma.

Finalmente, en la fase de pruebas se realizó el estudio de las ventajas y desventajas que tiene el utilizar el control gestual en imágenes holográficas y medir la aceptación de esta nueva herramienta didáctica por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

1.7. Estructura del Proyecto

El capítulo 1 aborda el problema al cual se tratará de dar una solución, de la misma manera aborda los antecedentes con trabajos similares los cuales servirán como una guía para la construcción y posterior implementación de una “Estación holográfica controlada por gestos”.

El capítulo 2 describe la investigación bibliográfica de los diferentes sensores capaces de captar gestos, indica los diferentes entornos de desarrollo integrado y motores de videojuegos, el método de proyección de imagen y la forma de la estructura para la construcción de la estación holográfica.

El capítulo 3 desglosa un estudio de la casa de la calidad, misma que ayuda a percibir los diferentes requerimientos del cliente frente a los criterios de diseño y desarrollo del autor, de

la misma manera se presentan las selecciones de conceptos, partiendo desde el desarrollo de diversas ideas planteadas como alternativas, evaluándolas y escogiendo la opción más viable. Se detallan también los cálculos del diseño de la estructura de la estación holográfica y su construcción.

El capítulo 4 muestra el procedimiento para el desarrollo del ambiente interactivo con sus diferentes modos de operación, presentando todos los algoritmos de control, y finalmente la construcción del archivo ejecutable que sintetiza todo este proceso.

El capítulo 5 detalla las pruebas realizadas en la estación holográfica, la medición de aceptación del sistema por parte de los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecatrónica y la validación de la hipótesis.

El capítulo 6 presenta conclusiones del proyecto y recomendaciones para trabajos futuros en concordancia al estudio desarrollado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Control gestual

El control gestual se define como el uso de gestos, tales como unir los dedos, posición de los dedos o movimientos deslizantes, para ejecutar acciones en interfaces gráficas o dispositivos electrónicos. Los ejemplos más claros de control gestual se encuentran en los smartphones actuales los cuales utilizan una pantalla touch que reconoce varios tipos de gestos y ayudan a su control. (Digi-Key, 2017)

Utilizar un control gestual significa eliminar el control mediante dispositivos convencionales, facilitar la comunicación entre el usuario y los dispositivos electrónicos, mediante el uso de sensores capaces de detectar estos gestos y algoritmos matemáticos que el controlador pueda interpretar y ejecutar órdenes o acciones. (Pellat, 2018)

2.2. Sensores de reconocimiento gestual.

Tienen como objetivo interpretar gestos humanos a través de algoritmos matemáticos, estos gestos pueden ser cualquier movimiento corporal o estado, pero por lo general se los realiza con el rostro o con las manos, entre los cuales destacan:

2.2.1. Kinect

Es un dispositivo que integra un sensor de profundidad, una cámara RGB, un arreglo de micrófonos y sensores infrarrojos; es capaz de capturar el esqueleto humano y posicionarlo en el plano, tiene un amplio campo de visión de 70° en horizontal y 60° en vertical, lo cual permite detectar a más de una persona dentro de su campo de visión. Este

dispositivo que se muestra en la Figura 1 es utilizado en aplicaciones cuyo objetivo es la interacción con elementos virtuales a través de los movimientos del cuerpo humano. (Montserrat, 2014)

Las ventajas y desventajas del dispositivo Kinect se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Ventajas y desventajas del dispositivo Kinect

Ventajas	Desventajas
Permite libertad de movimiento	Retraso en ejecutar órdenes mediante voz
Sensor de movimiento de cuerpo completo	Menú de navegación y video inestables
Permite control por voz	Requiere mucho espacio físico
Se puede utilizar en varias aplicaciones	Solo puede ser programado en Visual Studio
Amplio rango de detección	Se puede utilizar solo en Windows

Fuente: (Montserrat, 2014)



Figura 1. Dispositivo Kinect

Fuente: (Montserrat, 2014)

2.2.2. Leap Motion

Es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de detectar los movimientos de las manos y proporcionar esta información a la plataforma de desarrollo, el sistema de coordenadas que utiliza se muestra en la Figura 2 y con su API puede medir las magnitudes físicas de distancia, tiempo, velocidad y ángulos.



Figura 2. Sistema de coordenadas Leap Motion

Fuente: (Belda, 2015)

Posee medidas de 75 x 25 x 11 mm, incorpora: dos cámaras de sensor monocromático y tecnología CMOS, tres leds infrarrojos que iluminan la zona de trabajo

del dispositivo, distribuidos de tal manera que la iluminación sea uniforme, un microcontrolador y un controlador USB 3.0. La zona de cobertura es una semiesfera de 61 centímetros de radio como se muestra en la Figura 3, sin embargo la zona efectiva de trabajo denominada “*Interaction Box*” es de 110.55 x 110.55 x 69.43 mm. Las ventajas y desventajas de utilizar este dispositivo se muestran en la Tabla 2. (Belda, 2015)

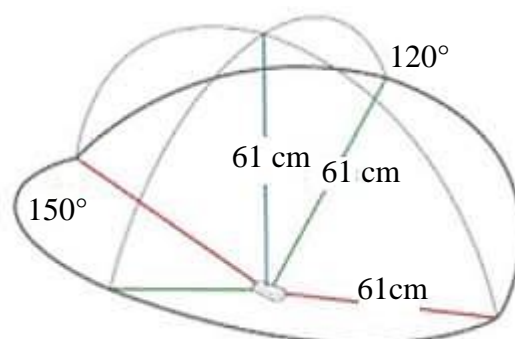


Figura 3. Zona de Cobertura

Fuente: (Belda, 2015)

Tabla 2.

Ventajas y desventajas del dispositivo Leap Motion.

Ventajas	Desventajas
Detección exclusiva de las manos	Espacio de detección limitado
Alta precisión	No posee control de voz
Envío de datos mediante USB	Alto consumo de recursos computacionales para la pc
Se puede utilizar en varias aplicaciones	Recalentamiento
Dispositivo compacto	

Fuente: (Belda, 2015)

2.3. Entorno de desarrollo integrado (IDE)

Conocido por sus siglas en inglés IDE (*Integrated Development Environment*) es un medio de programación el cual es construido como un software de aplicación, contiene un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI).

Los IDEs otorgan un medio de trabajo amigable para una gran cantidad de lenguajes de programación como C++, PHP, JAVA, C#, etc. En ciertos lenguajes permite utilizar el lenguaje

de programación de una manera interactiva, eliminando la necesidad del trabajo orientado a archivos de texto. (Fergaciac, 2013)

2.3.1. Unreal Engine 4

Es un editor de la empresa Epic Games que salió disponibilizado de manera gratuita en el año 2015, en sus inicios solo se orientaba a desarrolladores, pero en la actualidad cualquier persona pueda descargarlo y desarrollar sus propios proyectos bajo la condición de que si se comercializa el videojuego se debe cancelar un 5% de los primeros 3000 dólares de ganancias que genere.

Posee un amplio conjunto de herramientas que permite la creación de videojuegos en todos los niveles de complejidad, desde aplicaciones empresariales hasta entornos de realidad virtual y realidad aumentada, Este software fue creado específicamente para desarrolladores avanzados, por lo cual utiliza el lenguaje de programación de C++ para la creación de algoritmos de control que permiten crear juegos de gran envergadura y una alta complejidad, se recomienda usar este software si el proyecto es desarrollado por una cantidad considerable de personas. (Eduardo Pardos, 2017).

Los requerimientos mínimos para la instalación y uso del software se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Requisitos mínimos para la instalación y uso de Unreal Engine 4

Requisitos Mínimos	
Sistema Operativo	Windows 7/8 64 bits o superior
Procesador	2 GHz o superior
RAM	2 GB en sistema
GPU	Compatible con DirectX10
Espacio en disco duro	15 GB

Fuente: (Digitremor, 2015)

Las ventajas y desventajas de utilizar este software se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Ventajas y desventajas del software Unreal Engine 4

Ventajas	Desventajas
Alta calidad gráfica	Curva de aprendizaje complicada
Permite la creación de juegos extensos y complejos	Escases de información
Es gratuito	Comunidad muy reducida
Variedad de plataformas	Peso de los proyectos alto
Permite el desarrollo entre varios usuario	

Fuente: (Eduardo Pardos, 2017)

2.3.2. Unity3D

Es un editor con múltiples herramientas para el desarrollo de videojuegos de excelente calidad utilizando la tecnología 2D y 3D. Este editor tiene la capacidad de renderizar objetos 3D importados desde software de creación de modelamiento y animación 3D como Blender, Maya, 3DS Max, Adobe Photoshop, etc. y utilizarlos en la creación de escenas, personajes y objetos para la interacción en el ambiente virtual. (Unity, 2019)

Es compatible con el IDE de programación Visual Studio que permite el uso de diversos lenguajes de programación orientado a objetos, como C++, C#, ASP.NET, etc., para la creación de algoritmos de control para los elementos dentro del entorno de Unity. Su curva de aprendizaje es relativamente sencilla y posee dos tipos de versiones: una que es la versión profesional, que requiere de un pago económico; y, una versión de tipo gratuita, la cual, aunque no posee todas las funcionalidades de la versión profesional, permite que cualquier desarrollador pueda utilizar este editor y crear sus propios videojuegos de una alta calidad. Brinda un soporte multiplataforma con lo cual puede crear archivos compatibles con distintas plataformas y dispositivos como: IOS, Android, Oculus, Stem VR, Magic Leap, Windows, Mac, Linux, etc. (Unity, 2019)

Los requerimientos mínimos para la instalación y uso del software Unity3D se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5.

Requisitos mínimos para la instalación y uso de Unity3D.

Requisitos Mínimos	
Sistema Operativo	Windows 7 SP1, Windows 8/8.1 de 64 bits
CPU	Soporte para conjunto de instrucciones SSE2
GPU	Tarjeta de video con capacidad para DX10
RAM	6 GB

Fuente: (Unity, 2019)

Las ventajas y desventajas de utilizar este software se observan en la Tabla 6.

Tabla 6.

Ventajas y desventajas del software Unity.

Ventajas	Desventajas
Curva de aprendizaje sencilla	Exige un alto rendimiento de la PC
Assets Store amplia y completa	Calidad de gráficos media
Integración multiplataforma	Gestión de versiones
Acepta múltiples lenguajes de programación	
Posee una versión gratuita	

Fuente: (Eduardo Pardos, 2017)

2.3.3. Game Maker Studio 2

Es un programa desarrollado por Mark Overmars que permite el desarrollo de videojuegos. Su primera versión pública fue liberada el 15 de noviembre de 1999, posee una interfaz sencilla e intuitiva la cual permite crear prototipados en un lapso de tiempo corto, ya que cuenta con diversas acciones, imágenes y sonidos predefinidos. Tiene la capacidad de exportar videojuegos a múltiples plataformas como MAC, HTML5, IOS, Android, PS4, etc. Sin embargo, la descarga del software es pagada y no posee una versión estudiantil, utiliza un lenguaje de programación exclusivo llamado *Game Maker Language* (GML). (David, 2017)

Los requerimientos del sistema previo a la instalación y uso del software Game Maker Studio 2 se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Requisitos mínimos para la instalación y uso de Game Maker Studio 2

Requisitos Mínimos	
Sistema operativo	Windows 10 de 64 bits
Disco duro	SSD
GPU	Tarjeta de video con capacidad para DX11
RAM	8 GB

Fuente: (David, 2017)

Las ventajas y desventajas del uso de este editor se observan en la Tabla 8.

Tabla 8.

Ventajas y desventajas del software Game Maker Studio 2

Ventajas	Desventajas
Integración multiplataforma	Lenguaje de programación exclusivo
Puede utilizar inteligencia artificial	Pagado
Permite crear juegos multijugador	Sistema operativo para exportación
Alta calidad gráfica	

Fuente: (David, 2017)

2.4. Leap Motion SDK para Unity

El kit de desarrollo de software (SDK) del dispositivo Leap Motion en su versión 4.4.0 es un conjunto de módulos que permiten la comunicación entre el dispositivo y IDE, para su uso se requiere se necesita una versión de Unity 5.5 o superior, el presente proyecto hace uso principalmente de dos módulos que se detallan a continuación. (Leap Motion, 2018).

2.4.1. Módulo Core

Es el más importante ya que todos los demás módulos dependen de él, contiene los *assets* (archivos) fundamentales y necesarios para comunicar el servicio del dispositivo Leap Motion con la plataforma Unity. Se encarga del proceso de envío de datos como: movimiento de las manos, posición, ángulos de navegación etc., dentro de este módulo

también se encuentran los elementos para construir prototipos de control para realidad virtual (VR) o control sobre un escritorio.

Los componentes básicos del núcleo son los proveedores (*providers*) y la fuente de información estándar de las manos (*standard hand pipeline*), dentro de los proveedores existen los siguientes:

- **LeapProvider:** Define una interfaz básica la cual adquiere los datos proporcionados por las manos y los comparte con los demás módulos.
- **LeapServiceProvider:** Comunica el dispositivo con la plataforma IDE y transfiere los datos que proporciona las manos, se utiliza en todas las aplicaciones que requiera de los datos del sensor.

La fuente de información estándar de las manos (*estándar hand pipeline*) proporciona el flujo de datos estándar del dispositivo Leap Motion a través de modelos de manos, los cuales se utilizan para su representación virtual en un modelo 3D. (Leap Motion, 2018).

2.4.2. Módulo Interaction Engine

Este módulo permite la interacción con objetos físicos o pseudo-físicos dentro del entorno virtual ya sean objetos como cubos, esferas, cilindros etc. También permite controlar los eventos en donde se requiere el uso de botones en un panel de interfaz, uno de los requisitos para interactuar con los objetos es que estos sean flotantes y el usuario pueda acercarse lo suficiente a ellos.

Los componentes fundamentales de este módulo son:

- **Interaction Objects:** Son GameObjects que tienen el script “InteractionBehaviour” adjunto necesario para la interacción, para su correcto funcionamiento requieren un componente Rigidbody y al menos un Collider.
- **Interaction Manager:** Administra toda la lógica interna que permite la interacción con los objetos virtuales, actualiza todos los datos del controlador y el objeto con el que está interactuando. Se requiere que este componente se encuentre presente dentro de la escena de trabajo para que funcionen los objetos de interacción.
- **Interaction Controller:** Realiza todas las interacciones reales con los objetos ya sea: levantarlos, empujarlos, tocarlos. permitiendo que reacciones como si estuvieran en el mundo real. EL objeto controlador pueden ser las manos a través del componente Interaction Hand o si se utiliza gafas de realidad virtual con el componente InteractionXRController.

El componente Interaction Object puede crearse en cualquier parte de la escena, sin embargo, el componente Interaction Controller debe estar bajo la dependencia de un Interaction Manager, creando así una plataforma básica de control con el módulo Interaction Engine como se muestra en Figura 4. (Leap Motion, 2018)

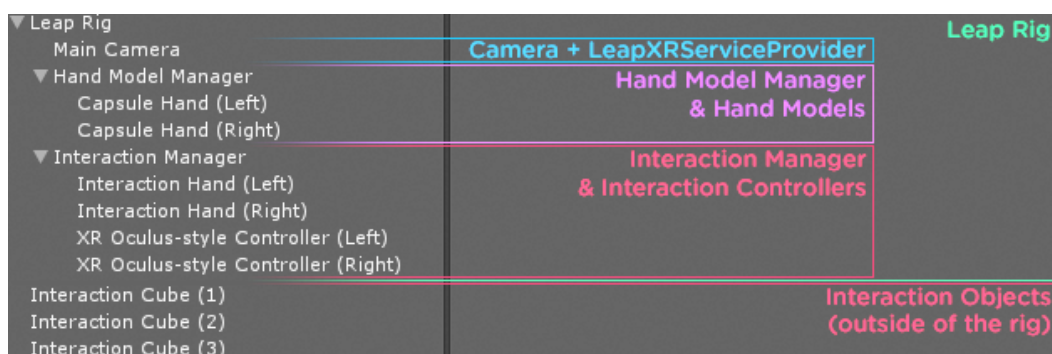


Figura 4. Plataforma básica de control

Fuente: (Leap Motion, 2018)

2.5. Dispositivos de proyección de imagen

Son dispositivos capaces de recibir información de videos y gráficos proporcionados desde un ordenador a través de su tarjeta gráfica y transmitidos por medio de un cable VGA o HDMI para proyectar las imágenes en sus pantallas, cada una utiliza una tecnología diferente.

2.5.1. Dispositivos con tecnología plasma

Poseen paneles de cristal que se encuentran divididos en celdas como se muestra en la Figura 5, dentro de cada una se encuentra mezcla de gases nobles y fósforo de color distinto (rojo, verde, azul) que al ser expuestos a energía eléctrica se transforma en plasma y el fósforo empieza a producir luz propia. Estos dispositivos se encuentran formados por pixeles constituidos por tres celdas, cada una con un color de fósforo distinto que al mezclarse constituyen el color del pixel. Gracias a estas características los dispositivos que utilizan esta tecnología pueden presentar un alto contraste, un tiempo de respuesta casi inmediato y un color negro intenso, sin embargo, al exponer imágenes estáticas de forma prolongada por largos periodos de tiempo los pixeles se llegan quemarse, y el fosforo utilizado se agota y atenúa reduciendo significativamente su tiempo de vida comparado con otras tecnologías. (Penalva, 2008)

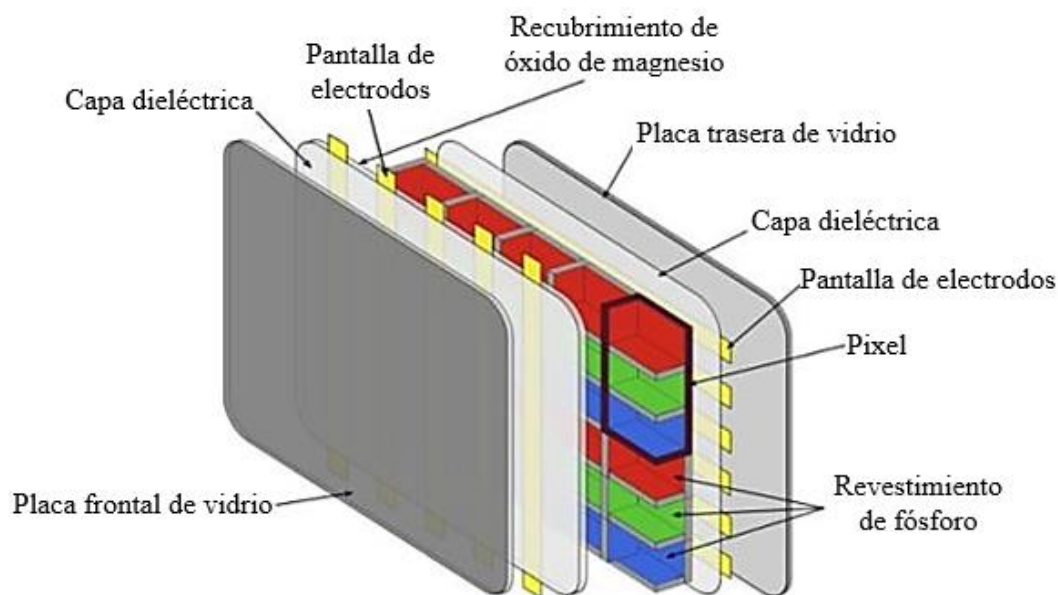


Figura 5. Distribución de pixeles de la tecnología plasma

Fuente: (Penalva, 2008)

Televisores de pantalla plasma

Son dispositivos de proyección de imagen que utiliza la tecnología plasma, en la Tabla 9 se presenta las ventajas y desventajas.

Tabla 9.

Ventajas y desventajas de televisores de pantalla plasma

Ventajas	Desventajas
Pantalla perfectamente plana	Admite solo un tipo de cable de señal
Brillo uniforme	Genera mucho calor y mayor consumo energético
Alta resolución	Disponible solo en grandes tamaños
Bajo precio	Bajo tiempo de vida útil

Fuente: (InfoRepuestos, 2016)

2.5.2. Dispositivos con tecnología LCD

Tienen su principio de funcionamiento en base al uso de cristales líquidos un material que comparte las características de los líquidos y los sólidos, colocados entre dos capas de cristales polarizados, un filtro de color RGB e iluminados por reflectores basados en diodos LED en su parte posterior como se muestra en la Figura 6, cada pixel que conforma la

pantalla variará su color dependiendo la cantidad de corriente eléctrica que se le aplique permitiendo así regular la cantidad de luz que atraviesa el cristal líquido. (Penalva, 2008)

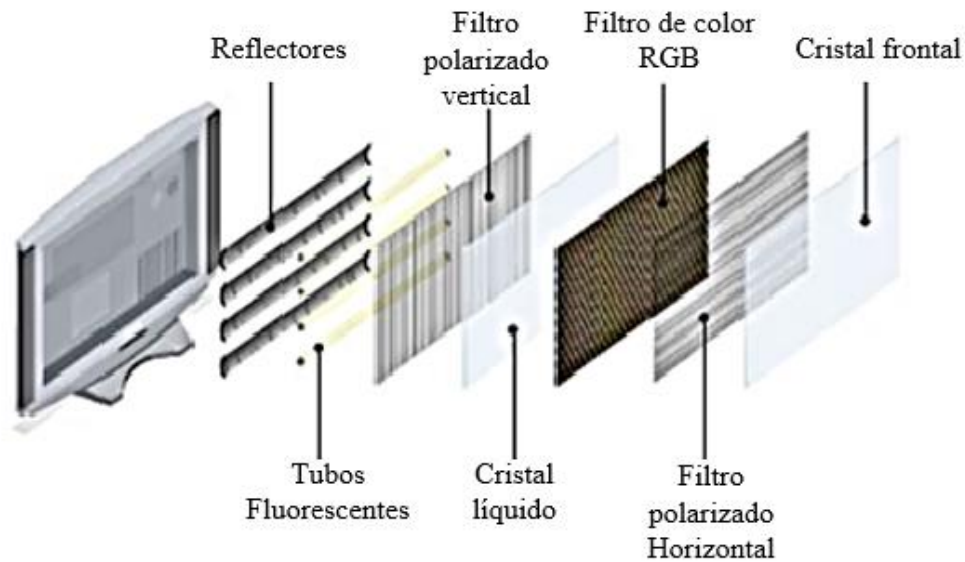


Figura 6. Estructura de una pantalla LCD
Fuente: (Penalva, 2008)

Gracias a esta composición la imagen resultante de estas pantallas tiene un alto contraste con un bajo coste energético y su vida útil es más prolongada que con otras tecnologías, sin embargo, a comparación de la tecnología plasma no es capaz de mostrar colores negros intensos.

Monitor LCD AOC

Es un monitor con tecnología LCD con una dimensión de 17 pulgadas de diagonal y una resolución ajustable con un rango de 1024x768 a 1280x1024, tiene un único tipo de cable de señal VGA y una alimentación de 110V, sus ventajas y desventajas se prestan en la Tabla 10. (AOC, 2014)

Tabla 10.*Ventajas y desventajas de un monitor AOC*

Ventajas	Desventajas
Resolución variable	Admite un solo tipo de cable de señal
Precio económico	No puede mostrar el color negro verdadero
Peso ligero	Alto tiempo de respuesta
Alta resolución	

Fuente: (InfoRepuestos, 2016)

Televisor LCD Samsung

Es una pantalla LCD que se muestra en la Figura 7 con una relación 16:9 en tamaño, diseñada principalmente para visualizar videos en movimiento de formato panorámico, tiene unas dimensiones de 19 pulgadas en diagonal y múltiples puertos de entrada como HMI, VGA y USB. Con una resolución de 1360x768 y un peso de 3.9 KG, sus ventajas y desventajas se presentan en la Tabla 11. (Samsung, 2017)

**Figura 7.** Televisor Samsung LCD

Fuente: (Samsung, 2017)

Tabla 11.*Ventajas y desventajas de un televisor LCD Samsung*

Ventajas	Desventajas
Formato de pantalla panorámica	No puede mostrar el color negro verdadero
Interfaz digital	Envejecimiento desigual de la pantalla
Sintonizador digital HD	Resolución fija
Múltiples puertos de conectividad	
Precio económico	

Fuente: (Samsung, 2017)

2.6. Holograma

Es la proyección en un medio bidimensional o tridimensional de una imagen formada cuando una fuente de luz puntual de longitud de onda fija (dispositivo de proyección) encuentra luz de la misma longitud de onda fija que llega desde una superficie de proyección. Los hologramas se clasifican en: hologramas de reflexión y hologramas de transmisión. (Jeong, 2014)

2.6.1. Hologramas de reflexión

Son aquellos que muestran una imagen tridimensional cerca de una superficie plana y reflectante. La imagen es transmitida desde un punto fijo ubicado a una distancia y ángulo específicos de la superficie de proyección, de esta manera la imagen reflejada puede ser observada por el espectador, las superficies idóneas para su proyección son aquellas con un índice de refracción menor a 1.5 que es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio que se proyecta, siendo 1 el menor índice de refracción que le corresponde al aire. (Searcy, 2015)

Este tipo de holograma se rige bajo dos principios:

- Principio de Fermat: La luz viaja en líneas rectas y tomará el camino más rápido para llegar del punto A al punto B. (García, 2016)
- Ley de la reflexión: El ángulo de incidencia de un rayo de luz formado con la normal de una superficie reflectante es igual al ángulo con que este se refleja; como se observa en la Figura 8. (Fernández, 2015)

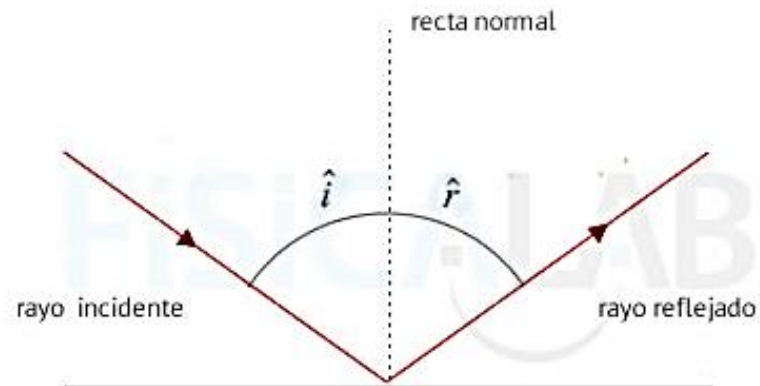


Figura 8. Ley de la reflexión

Fuente: (Fernández, 2015)

De acuerdo al campo de visión de la imagen que proporcione la estructura se puede clasificar este holograma en:

- **Holograma de 90°:** También conocido como Holograma Z está conformado por una superficie reflectante ubicada debajo del display a un ángulo comprendido desde 30 a 45 grados y un fondo de color oscuro como se muestra en la Figura 9, permite una vista frontal de 90 grados y un tamaño de holograma superior al de los modelos piramidales, debido a su configuración brinda la posibilidad de simular una interacción directa con el holograma. (Olomagic, 2017)

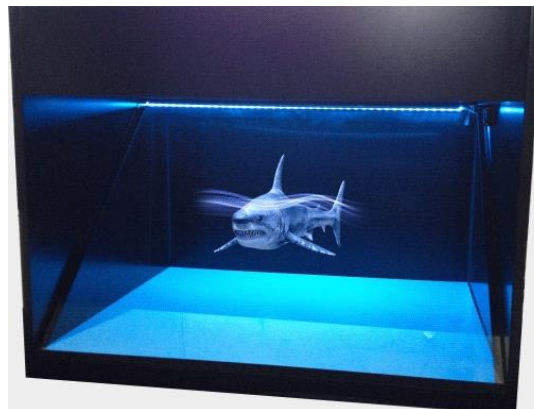


Figura 9. Holograma de 90°

Fuente: (Olomagic, 2017)

- **Holograma de 180°:** Está conformado por tres superficies reflectantes ubicadas en forma semi piramidal debajo del display, la superficie frontal con un ángulo de 50 a 55 grados, las superficies laterales con un ángulo de 45° y un fondo de color oscuro como se muestra en la Figura 10, permite una vista frontal y dos laterales, debido a su configuración piramidal no permite una interacción directa con el holograma ya que este se encuentra encerrado dentro de la estructura. (Olomagic, 2017)



Figura 10. Holograma de 180°
Fuente: (Olomagic, 2017)

- **Holograma de 360°:** Tiene la forma de una pirámide con cuatro superficies reflectantes, todas se encuentran a un ángulo de 45°, a diferencia de los anteriores hologramas este no posee un fondo como se muestra en la Figura 11 y permite observar el holograma desde cualquier ángulo, sin embargo debido a su configuración se encuentra totalmente encerrado en la estructura impidiendo una interacción directa, además de proyectar una imagen muy pequeña a comparación del holograma Z. (Three D Hologram, 2016)

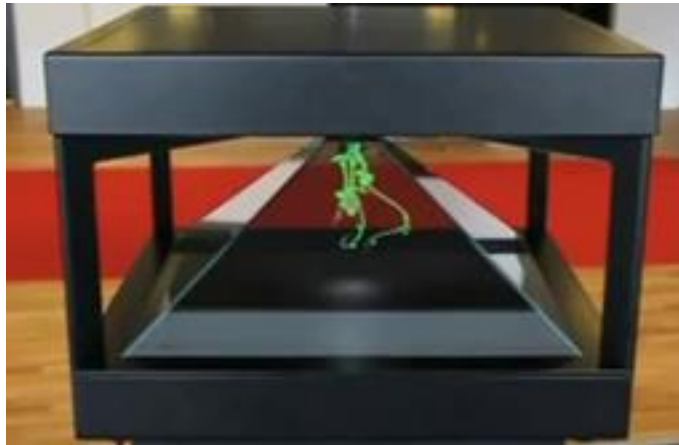


Figura 11. Holograma de 360°
Fuente: (Three D Hologram, 2016)

2.6.2. Holograma de transmisión

Es una estructura física y estática que refracta la luz de una imagen, captura el patrón de interferencia entre dos o más haces de luz coherentes y por lo tanto solo se puede observar el holograma en una impresión holográfica iluminada o exponiendo al holograma a un rayo láser y proyectándolo sobre una superficie como se muestra en la Figura 12. (Holocenter, 2016)



Figura 12. Holograma de transmisión
Fuente: (Holocenter, 2016)

La impresión holográfica se la realiza mediante láseres los cuales impregnan en un material fotosensible distintas amplitudes de onda las cuales después de un tratamiento adecuado resultarán en superficies más transparentes o más opacas que al exponerlos a una fuente de luz horizontal creará ondas semiesféricas las cuales le darán la apariencia de un holograma 3D. La principal desventaja de este tipo de hologramas es que es estático y no se puede interactuar de manera virtual con él.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA PROPUESTA

3.1. Matriz QFD

Es una metodología que permite captar las diversas necesidades del cliente y que estas sean traducidas en características técnicas que serán analizadas y valoradas en base al criterio del desarrollador, con el fin de identificar las más relevantes para el sistema y brindar un producto de calidad. (Ulrich, 2013)

3.1.1. Necesidades del cliente

Acorde a las opiniones de estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, la estación holográfica debe contar con las siguientes características:

- Buena resolución del holograma.
- Fluidez en los gráficos.
- Adecuada detección de gestos.
- Interfaz intuitiva.
- Estructura liviana, resistente y fácil de transportar.

3.1.2. Requerimientos técnicos

Acorde a las necesidades y opiniones de los usuarios se derivan los requerimientos técnicos:

- Dimensiones y material para la construcción de la estructura.

- Software que permita el uso de programación orientada a objetos.
- Tipo de sensor para la detección de gestos.
- Velocidad de procesamiento de datos.
- Características del dispositivo de proyección de imagen.

La casa de la calidad de la Figura 13 muestra que los parámetros con mayor importancia a considerar durante la etapa diseño y selección de componentes son:

- Dimensiones para el diseño de la estructura.
- Materiales para la construcción de la estructura.
- Programación orientada a objetos.
- Sensor que permita una adecuada detección de gestos.

Fila N	Valor Máximo de la Relación en la Fila	Peso Relativo	Peso / Importancia	Calidad Demandada	Características de calidad						
					Columna #	1	2	3	4	5	6
					Dirección de Mejoramiento : Minimizar (▼), Maximizar (▲), u Objetivo(Target) (x)						
					▼	▲	x	x	▲	x	x
					Dimensiones	Material	Programación	Tipo de Sensor	Velocidad de procesamiento	Tipo de procesador	Dispositivo de Proyección
1	9	15,0	150,0	Buena Calidad de Holograma	○	○			○	○	○
2	9	10,0	100,0	Fluidez en los Gráficos					○	○	
3	9	15,0	150,0	Buena Detección de gestos			○	○	○	○	
4	9	15,0	150,0	Interfaz Intuitiva			○				
5	9	15,0	150,0	Comodidad de Uso	○		○	○			○
6	9	5,0	50,0	Liviana	○	○					○
7	9	10,0	100,0	Facil de transportar	○	▲		▲			▲
8	9	15,0	150,0	Resistente	○	○					
					Dificultad (0=Fácil de lograr, 10=Extremadamente)						
					7	6	8	5	8	5	6
					Valor Máximo de la relación en la						
					9	9	9	9	9	9	9
					Peso / Importancia						
					360,0	205,0	225,0	280,0	180,0	180,0	205,0
					Peso Relativo						
					22,0	12,5	13,8	17,1	11,0	11,0	12,5

Figura 13. Casa de la Calidad.

3.2. Análisis Funcional

Se utiliza esta técnica que permite identificar la función principal del sistema y a su vez dividir esta función en sub-funciones o subrutinas para ayudar a cumplir el objetivo principal. (Ulrich, 2013)

3.2.1. Función Principal

La función principal, que se observa en la Figura 14, tiene como entradas: energía, proveniente de una fuente de 110 voltios para la alimentación del computador y el dispositivo de proyección, y el control a través de un sensor de detección de gestos; como salida tiene el ensamble y desensamble virtual.

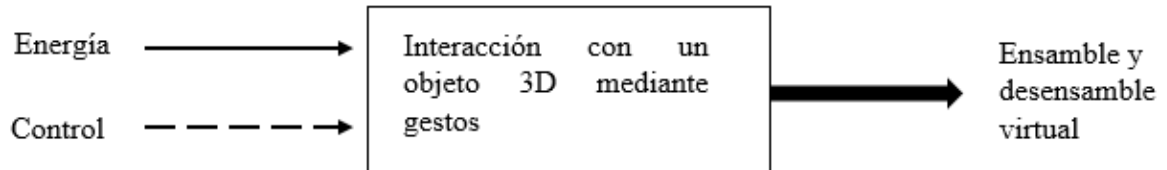


Figura 14. Función Principal

3.2.2. Funciones específicas

El sistema consta de tres etapas como se muestra en la Figura 15. Como primera etapa tiene la adquisición y envío de datos, la cual utilizará un sensor de detección de gestos que captará los movimientos del usuario y los envía a un ordenador; la segunda etapa es el procesamiento de datos realizado por el ordenador, para permitir la interacción con el objeto 3D; la tercera etapa es la visualización holográfica interactiva del modelo 3D.

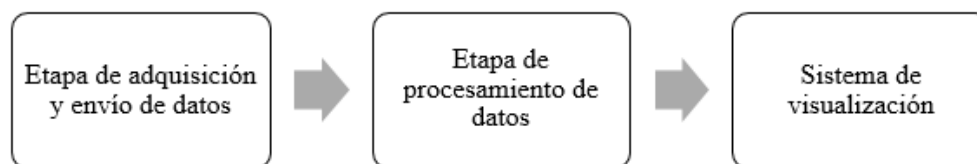


Figura 15. Subfunciones del sistema

3.3. Generación de conceptos

En la generación de conceptos se ha evaluado para cada etapa las opciones más relevantes investigadas, con el fin de escoger los componentes adecuados para la construcción de la estación holográfica, utilizando una escala de valoración de 0 a 5, siendo 5 la mejor calificación y 0 la peor, considerando la recomendación de Ulrich (2013).

3.3.1. Etapa de adquisición y envío de datos.

En la Tabla 12 se presenta la matriz de evaluación de conceptos para la etapa de adquisición y envío de datos, obtenida a partir de la investigación, análisis de ventajas y desventajas que se detallan en la sección 2.2.

Tabla 12.

Matriz de evaluación para la etapa de adquisición y envío de datos.

Criterios de Selección	Peso	Kinect		Leap Motion	
		Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación
Tamaño	15%	2	0.30	5	0.75
Precisión	20%	4	0.60	5	1
Espacio de trabajo	15%	5	0.75	2	0.30
Objeto de detección	30%	2	0.60	5	1.50
Velocidad de procesamiento	20%	2	0.40	4	0.80
Total		15	2.65	21	4.35
Lugar		2		1	
Continuar		No		Desarrollar	

Para la adquisición de datos se utilizará el sensor Leap Motion debido a su capacidad de detectar exclusivamente manos, su alta precisión y sobre todo por ser un dispositivo compacto.

3.3.2. Etapa de procesamiento de datos

En la Tabla 13 se presenta la matriz de evaluación de conceptos para la etapa de procesamiento de datos, obtenida a partir de la investigación, análisis de ventajas y desventajas que se detallan en sección 2.3.

Tabla 13.

Matriz de evaluación para la etapa de procesamiento de datos.

Criterios de selección	Peso	Unreal Engine		Unity		Game Maker Studio	
		Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación
Velocidad de procesamiento	25%	4	1.00	4	1.00	5	1.25
Calidad de imagen	20%	5	1.00	4	0.80	5	1.00
Compatibilidad con el controlador	25%	2	0.50	5	1.25	2	0.50
Integración Multiplataforma	10%	2	0.20	4	0.40	5	0.50
Curva de aprendizaje de programación	20%	2	0.40	5	1.00	1	0.20
Total		15	3.10	22	4.45	18	3.45
Lugar		3		1		2	
Continuar		No		Desarrollar		No	

Para el procesamiento de datos se utilizará el software Unity, debido a su alta velocidad de procesamiento, curva de aprendizaje sencilla, fácil conexión con el controlador Leap Motion, programación orientada a objetos y licencia estudiantil.

3.3.3. Sistema de Visualización

En la Tabla 14 se presenta la matriz de evaluación de conceptos para el dispositivo de proyección de imagen, obtenida a partir de la investigación, análisis de ventajas y desventajas que se detallan en la sección 2.5.

Tabla 14.*Matriz de evaluación para el sistema de visualización.*

Criterios de selección	Peso	Televisor LCD		Monitor LCD		Pantalla Plasma	
		Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación
Resolución	30%	5	1.50	3	0.90	5	1.25
Tamaño	25%	4	1.00	5	1.25	3	0.75
Precio	15%	4	0.60	5	0.75	5	0.75
Conectividad	20%	5	1.00	3	0.60	5	1.00
Peso	10%	5	0.50	5	0.50	2	0.20
Total		23	4.60	21	4.00	19	3.95
Lugar		1		2		3	
Continuar		Desarrollar		No		No	

Para el sistema de visualización, se utilizará un televisor LCD debido a su bajo peso, disponibilidad en varios tamaños, alta resolución, múltiples puertos de conectividad y precio económico.

En la Tabla 15 se presenta la matriz de evaluación de conceptos para el tipo de estructura donde se proyectará la imagen holográfica, obtenida a partir de la investigación, análisis de ventajas y desventajas que se detallan en la sección 2.6.1.

Tabla 15.*Matriz de evaluación para el tipo de estructura.*

Criterios de Selección	Peso	Piramidal Invertida		Estructura en Z	
		Calificación	Evaluación	Calificación	Evaluación
Tamaño	25%	1	0.25	5	1.25
Interacción	35%	2	0.70	5	1.75
Espacio de trabajo	20%	2	0.45	3	0.60
Definición de imagen	20%	5	1.00	2	0.40
Total		10	2.40	15	4
Lugar		2		1	
Continuar		No		Desarrollar	

Se utilizará una estructura tipo Z donde se proyectará la imagen holográfica pues debido a su tamaño y forma, con un dispositivo de dimensiones moderadas se puede obtener un espacio de trabajo adecuado para la interacción virtual.

3.4. Selección de componentes eléctricos y electrónicos.

3.4.1. Selección del sensor de detección de gestos

Se requiere un sensor capaz de detectar los movimientos de las manos del usuario, con una fuente de alimentación de 5 voltios y que sea de dimensiones compactas. El sensor utilizado para la detección de gestos es el dispositivo Leap Motion, descrito en la sección 2.2.2. Sus datos técnicos se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16.

Datos técnicos del sensor Leap Motion

Datos técnicos del sensor Leap Motion	Especificaciones
Requisitos del sistema	Windows 7 64-bits o mayor Leap Motion Orion 4.0.0 Puerto USB
Dimensiones	75mm x 25 mm x 11mm
Voltaje de funcionamiento	5V
Cámaras	Sensor CMOS monocromático Longitud de onda 850 nm Velocidad hasta 200 fps
Iluminación infrarroja	Leds con longitud de onda 850 nm
Tipo de controlador	Controlador USB hasta 3.0
Zona de cobertura	Semiesfera de 61 cm de radio
Zona de trabajo	110.5mm x 110.55 mm x 69.43 mm
Microcontrolador	MXICMX25L3206

Fuente: (Leap Motion, 2017)

El sensor trabaja con un campo de luz infrarroja emitido por los leds, al ingresar las manos estas causan una reflexión en la luz y son captada por ambas cámaras, estos datos son digitalizados y guardados en una matriz dentro del dispositivo. Cada posición de la matriz guarda un valor de intensidad de luz de cada pixel el cual es procesado por el microcontrolador que mediante un modelo matemático identifica y construye los modelos de las manos, para determinar el movimiento y posicionamiento de las manos utiliza una un método de visión estereoscópica gracias a su sistema de visión binocular. (Leap Motion, 2017).

3.4.2. Selección del dispositivo de proyección

El dispositivo de proyección debe generar una imagen clara, con colores vivos y múltiples puertos de entrada, por lo cual se escogió el televisor LCD Samsung LN19C350DID descrito en la sección 2.5.2. Sus datos técnicos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17.

Datos técnicos del televisor Samsung LCD LN19C350DID

	Especificaciones
Tamaño del display (diagonal)	48.3 cm (19")
Dimensiones	462mm x 58 mm x 323mm
Resolución	1366 x 768 pixels
Relación de aspecto	16:9
Peso	3.9 Kg
Puertos	HDMI, USB, VGA
Tiempo de respuesta	6 ms

Fuente: (Samsung, 2017)

3.5. Descripción de la estación holográfica

La estación holográfica consta de tres etapas: adquisición de datos, procesamiento de datos y proyección de imagen.

La etapa de adquisición de datos consta de un dispositivo Leap Motion que detecta los movimientos realizados por las manos del usuario, luego envía estos datos a la computadora para que mediante la plataforma Unity se procesen los datos y se ejecuten todas las acciones que permite el ambiente virtual interactivo (presionar botones, movimientos hacia atrás y adelante, ensamblar y desensamblar piezas, proyección de videos), posteriormente por medio de un cable HDMI se transfieren las imágenes a un televisor Samsung el cual proyectará las mismas sobre la superficie reflectante generando una holograma de 90° como se detalla en la sección 2.6, este proceso de muestra en la Figura 16.

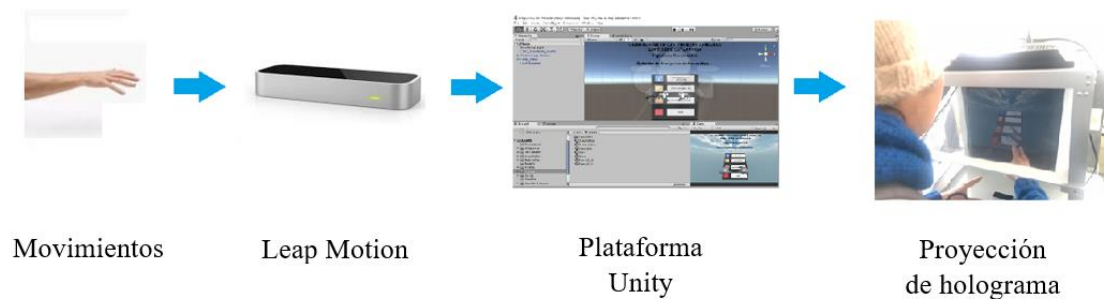


Figura 16. Funcionamiento de la estación holográfica

3.6. Diseño de la estructura mecánica.

3.6.1. Descripción de la estructura

Está configurada estructuralmente como se detalla en la sección 2.6.1 para observar un holograma de 90°, consta de un soporte para dispositivo de proyección sobre el cual se coloca el televisor LCD descrito en la sección 3.4.2, cuatro columnas que resisten el peso total del soporte y el televisor, una placa posterior en la que se coloca un pliego de fomix negro, una base con tres seguros en los que se coloca el dispositivo Leap Motion, cuatro extensores que permiten modificar la altura de la estructura y una superficie reflectante sobre la que se proyecta el holograma como se muestra en la Figura 17.

3.6.2. Criterios de diseño

Previo a realizar el diseño de la estructura de la cámara holográfica se consideró:

- La estructura fue implementada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga dentro del Laboratorio de Mecatrónica.
- El material debe ser resistente a la flexión y con un acabado superficial antirreflejo.

- La estructura cumple con la normativa sobre el uso de perfiles de aluminio, como se detalla en la Norma NTE INEN 2250 “Aluminio, Perfiles, Barras, Varillas y Tubos extruidos. Requisitos e Inspección”.
- Fácil regulación de altura de la estructura debido a que será utilizada por diversos usuarios.

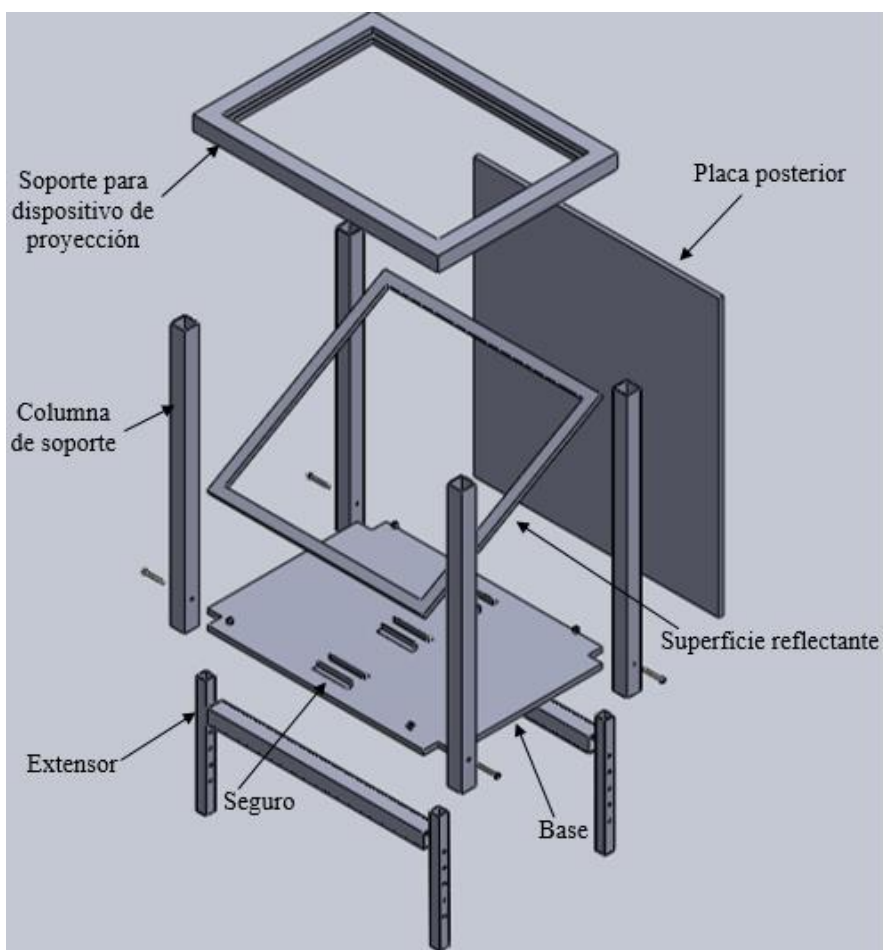


Figura 17. Componentes de la estructura mecánica

3.6.3. Diseño de la estructura de soporte para el dispositivo de proyección.

Esta parte de la estructura tiene forma de marco y soportes donde se apoyará todo el peso del dispositivo de proyección de imagen, debido a esto se tienen los siguientes datos:

- Dimensiones del dispositivo de proyección: 462mm x 323mm x 58mm
- Masa total del dispositivo de proyección: 3,9 Kg.
- Dimensiones del display 412 mm x 302 mm.

La geometría de esta parte de la estructura se muestra en la Figura 18, para validar el diseño es sometida a un análisis estático.

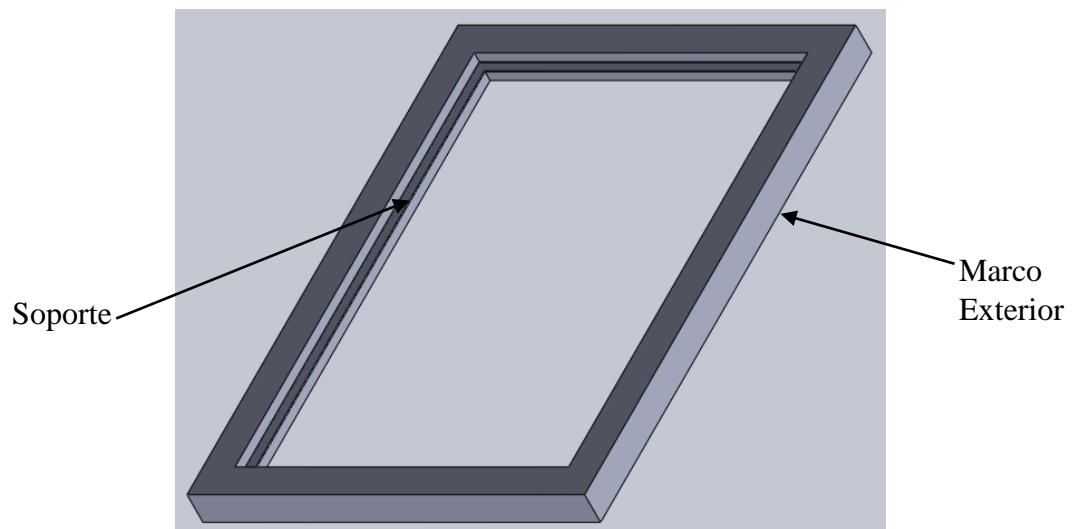


Figura 18. Estructura de apoyo

La sección de la estructura sometida a un análisis estático es el soporte, construido con perfil de aluminio de tipo L de dimensiones 10 x 1mm, acorde a lo que manifiesta Mott (2009) este material es ligero, resistente y debido a su geometría permite un fácil acoplamiento al marco exterior construido con perfiles cuadrados de 31.70 mm de y 1.80 mm de espesor, sobre él reposa todo el peso del dispositivo de proyección de imagen.

Cálculo de reacciones en el soporte

Para el cálculo de esfuerzos en el soporte por la carga del dispositivo acorde lo recomienda Mott (2009) se utiliza la Ecuación 1.

$$W_D = \frac{m_D * g}{4}$$

Ec. 1

Donde:

- m_D = Masa total del dispositivo: 3,9 kg
- g = Valor de la gravedad: 9,8 $\frac{m}{s^2}$
- W_D = Peso del dispositivo para cada soporte.

Reemplazando en la Ecuación 1 se tiene:

$$W_D = \frac{m_D * g}{4}$$

$$W_D = \frac{3,9kg * 9,8 \frac{m}{s^2}}{4}$$

$$W_D = 9,56 N$$

Cálculo de la carga distribuida.

La carga distribuida en el soporte se la obtiene aplicando la Ecuación 2 según Mott (2009).

$$q_D = \frac{W_D}{L}$$

Ec. 2

Donde:

- q_D = Carga producida por el peso del dispositivo de proyección.
- W_D = Peso del dispositivo de proyección en cada soporte: 9,5 N
- L = Longitud del soporte 10 mm

Reemplazando los valores en la Ecuación 2 se obtiene $q_D = 0,95 \frac{N}{mm}$, resultado en el diagrama que se muestra en la Figura 19.

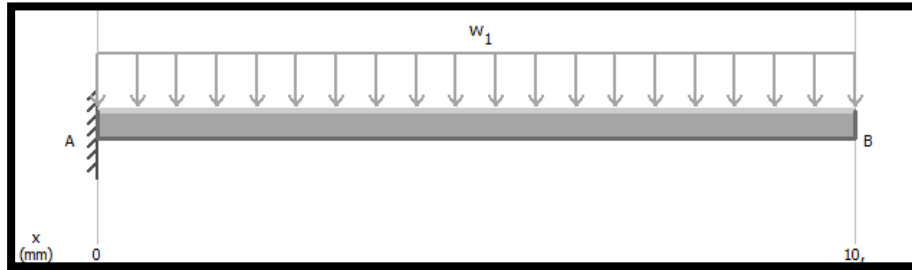


Figura 19. Carga distribuida en el soporte

Se transforma la carga distribuida a carga puntual, multiplicando la carga distribuida por la longitud de soporte como se observa en la Figura 20.

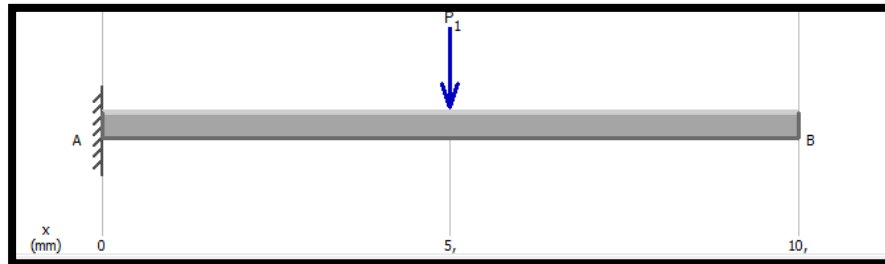


Figura 20. Carga puntual sobre el soporte

Se aplican las ecuaciones estáticas de equilibrio, realizando la sumatoria de fuerzas en el eje “y” teniendo en consideración que las fuerzas hacia abajo son positivas.

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ec. 3}$$

Desarrollando la ecuación 3 se obtiene:

$$-R_A + P_1 = 0$$

$$R_A = 9.5N$$

Se realiza la sumatoria de momentos con respecto al punto A, considerando los momentos en sentido anti horario como positivos.

$$\sum M_A = 0$$

Ec. 4

Desarrollando la Ecuación 4

$$M_A - (P1) \left(\frac{l}{2} \right) = 0$$

$$M_A = (9,5N) \left(\frac{10}{2} \right)$$

$$M_A = 47,5 \frac{N}{mm}$$

Diagrama de fuerzas cortante y momentos flectores

Con el uso del software MDSolids se realizan los diagramas de fuerzas cortante y momentos flectores que se muestran en las Figuras 21 y 22.

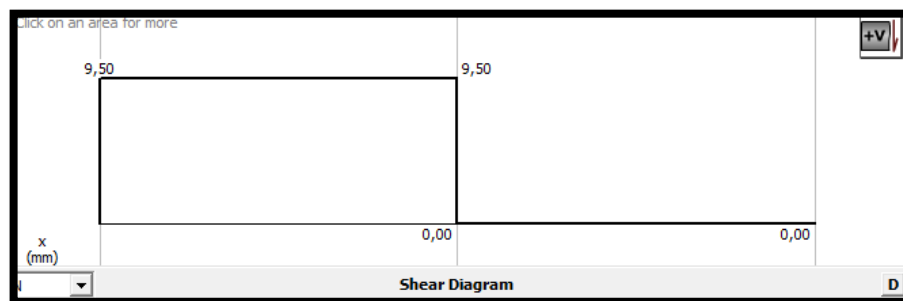


Figura 21. Diagrama de fuerzas cortantes

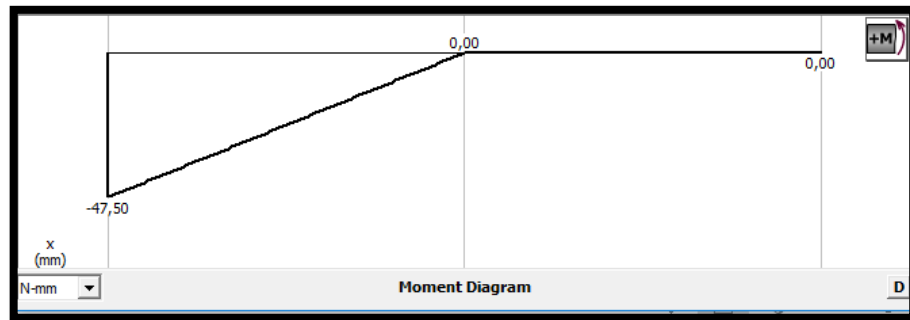


Figura 22. Diagrama de momentos flectores

Se obtienen los momentos de interés ubicados a una distancia de 0 y de 5 mm siendo estos valores:

$$M_0 = 47,5 \frac{N}{mm}$$

$$M_5 = 0 \frac{N}{mm}$$

Cálculo del momento de inercia

Se calcula los momentos de inercia de las secciones transversales de ambas vigas del marco, en este caso tienen una sección rectangular, acorde a lo manifestado en Mott (2009) en su Apéndice A-1 el momento de inercia para una sección rectangular es:

$$I_{x1} = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12}(320mm)(1mm)^3$$

$$I_{x1} = 26,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I_{x2} = \frac{1}{12} (560\text{mm})(1\text{mm})^3$$

$$I_{x2} = 46,67 \text{ mm}^4$$

Cálculo del diagrama M/EI

De acuerdo con Mott (2009), se utiliza el método de área momento para calcular la deflexión en una viga para lo cual se construye el diagrama M/EI; acorde al apéndice A-17, el módulo de elasticidad del aluminio es:

$$E = 69 \text{ GPa}$$

Por lo tanto, el valor de M/EI para cada viga es igual a

$$\frac{M}{EI_{x1}} = \frac{45.7 \frac{N}{\text{mm}^2}}{69 \text{ e}^3 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 26.67 \text{ mm}^4}$$

$$\frac{M}{EI_1} = 2.48 \text{ e}^{-5} \text{ mm}^{-1}$$

$$\frac{M}{EI_2} = \frac{45.7 \frac{N}{\text{mm}^2}}{69 \text{ e}^3 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 46.67 \text{ mm}^4}$$

$$\frac{M}{EI_{x2}} = 1.41 \text{ e}^{-5} \text{ mm}^{-1}$$

Se calcula el área del diagrama M/EI para cada viga.

$$A_{\Delta 1} = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$A_{\Delta 1} = \frac{(5mm)(2,48 e^{-5} mm^{-1})}{2}$$

$$A_{\Delta 1} = 6,20 e^{-5} rad$$

$$A_{\Delta 2} = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$A_{\Delta 2} = \frac{(5mm)(1,41 e^{-5} mm^{-1})}{2}$$

$$A_{\Delta 2} = 3,53 e^{-5} rad$$

El centroide de esta área se ubica a dos tercios de la distancia del centro hacia el empotramiento.

$$\bar{x} = \frac{2}{3}(5mm)$$

$$\bar{x} = 3.33 mm$$

Se calcula la deflexión máxima de cada soporte mediante el método del área momento con la Ecuación 5

$$y_B = A_{\Delta} \times \bar{x} \quad \text{Ec. 5}$$

$$y_{B1} = A_{\Delta 1} \times \bar{x}$$

$$y_{B1} = (6.20 e^{-5} rad)(3.33mm)$$

$$y_{B2} = 2,06 e^{-4} mm$$

$$y_{B2} = A_{\Delta 2} \times \bar{x}$$

$$y_{B2} = (3,53 e^{-5} \text{ rad})(3,33\text{mm})$$

$$y_{B2} = 1.18 e^{-4} \text{ mm}$$

Para garantizar la seguridad del diseño se debe comparar las deflexiones calculadas con la deflexión recomendada:

$$y_{Recomendada} = \frac{L}{360} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde

- L = longitud total de la viga: 10 mm

Reemplazando los datos en la Ecuación 6 se obtiene

$$y_{Recomendada} = \frac{10 \text{ mm}}{360}$$

$$y_{Recomendada} = 0.055 \text{ mm}$$

De tal manera que se cumple el criterio de diseño:

$$y_{calculada} < y_{recomenda}$$

$$2.06 e^{-4} \text{ mm} < 0.055 \text{ mm}$$

$$1.18 e^{-4} \text{ mm} < 0.055 \text{ mm}$$

Análisis CAE de la estructura de soporte para el dispositivo de proyección de imagen

Para el análisis CAE de la estructura es necesario tomar en cuenta el peso total del dispositivo de proyección de imagen el cual es:

$$W_D = 3,9 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_D = 38.22 \text{ N}$$

Mediante un software CAE, se genera un nuevo estudio estático en el cual se añadió la sujeción fija de la estructura; de igual manera se colocó la carga provocada por el peso del dispositivo de proyección y se generó un mallado fino para obtener resultados más precisos como se muestra en la Figura 22.

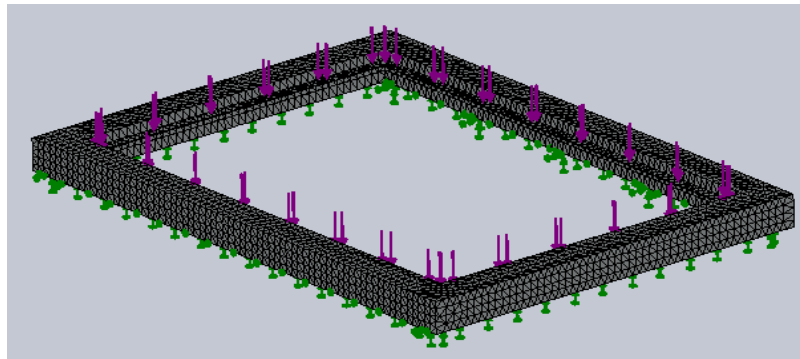


Figura 23. Estudio estático de la estructura de apoyo

Una vez ejecutado el estudio estático se procede a verificar los valores de las tensiones de Von Mises, y los desplazamientos máximos como se muestra en las Figuras 24 y 25

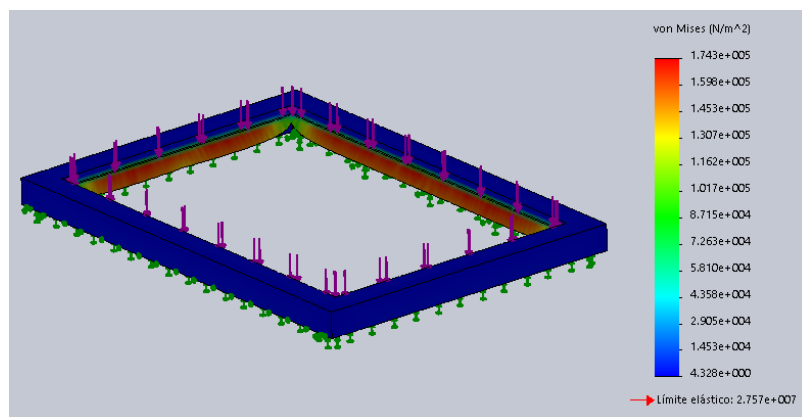


Figura 24. Tensiones de Von Mises de la estructura

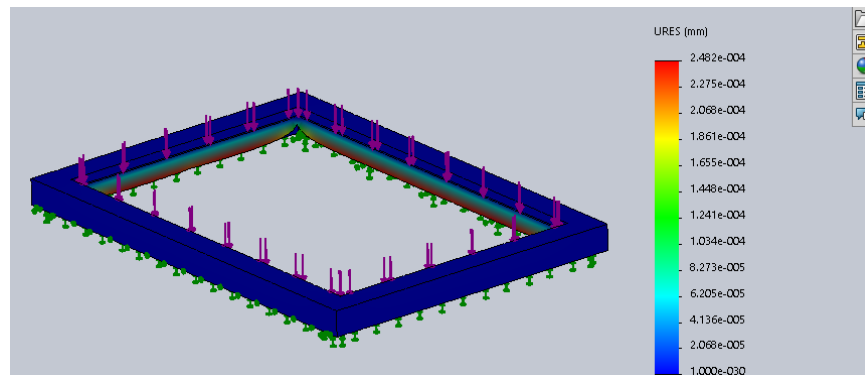


Figura 25. Desplazamientos máximos de la estructura

Como se aprecia en la Figura 24, la tensión de Von Mises máxima del sistema es 1.743×10^5 y se encuentra dentro del límite elástico permitido que es 2.757×10^7 , razón por la cual el sistema es seguro.

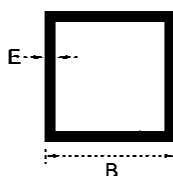
La deflexión o desplazamiento máximo que se observa en la Figura 25 es de 2.482×10^{-4} concuerdan con los resultados anteriormente calculados, por lo cual el estudio confirma que el sistema es seguro.

3.6.4. Diseño de las columnas de soporte.

Sobre estas columnas reposará el peso total del dispositivo de proyección de imagen más la estructura mostrada en la sección 3.6.3, por lo que se tienen los siguientes datos.

- Masa del dispositivo de proyección: 3,9 Kg
- Masa de la estructura de la sección 3.6.3: 1,82 Kg
- Masa total del sistema: 5,72 Kg
- Peso total del sistema: 56,1 N.

El material seleccionado para la columna es el perfil de aluminio 1373 debido a que según Mott (2009) este material posee un elevado módulo de elasticidad lo cual garantiza una alta rigidez y un peso ligero, sus características se observan en la Figura 26 del catálogo de perfiles cuadrados, para validar su selección será sometido a un análisis estático.



REFERENCIA	Lado B		Espesor(E)	Peso
	Milímetros	Pulgadas	mm	Kg/m
1014	44.40	1 3/4	1.90	0.875
1015	50.80	2	2.00	1.058
1017	38.10	1 1/2	2.40	0.929
**1244	22.20	7/8	1.20	0.298
*1285	25.40	1	1.60	0.488
1286	25.40	1	1.80	0.461
1373	31.73	1 1/4	1.80	0.584
1386	38.10	1 1/2	1.80	0.708

Figura 26. Catálogo de perfiles de aluminio

Fuente: (CEDAL, 2014)

Cálculo de carga permisible para la columna.

Conforme lo determina Mott (2009), los datos requeridos para el análisis de la columna son los siguientes:

- L = Largo de la columna: 560 mm.
- Sección transversal cuadrada hueca de 31,73 mm de lado y 1,80 mm de espesor.
- Ambos extremos fijos.
- N = Factor de diseño: 3

Se determina el factor de fijación de los extremos, de acuerdo a lo que manifiesta Mott (2009) para este tipo de columnas se utiliza los valores de $K=0,65$ y se procede a calcular la longitud efectiva con la Ecuación 7

$$L_e = KL$$

Ec. 7

Donde:

- L_e = Longitud efectiva
- K = Factor de fijación: 0,65
- L = Longitud real de la columna

Reemplazando los datos en la Ecuación 7 se obtiene:

$$L_e = (0,65)(560mm)$$

$$L_e = 364 mm$$

Se calcula el radio de giro (r) con la Ecuación 8.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Ec. 8

Donde:

- I = Momento de inercia de la sección transversal: $29990,04 mm^4$
- A = Área de la sección transversal: $210,24 mm^2$

Reemplazando los datos en la Ecuación 8

$$r = 11,94 mm$$

Se calcula la relación de esbeltez (SR) con la Ecuación 9

$$SR = \frac{L_e}{r}$$

Ec. 9

Donde:

- L_e = Longitud efectiva: 364 *mm*
- r = Radio de giro: 11.94 *mm*

Reemplazando los valores en la Ecuación 9:

$$SR = 30,5$$

Se calcula la constante de la columna con la Ecuación 10 y se compara este valor con la relación de esbeltez para determinar si la columna es larga o corta; acorde a lo que manifiesta Mott (2009), en su apéndice A-17, los valores de E y S_y son: 69 *GPa* y 103 *MPa*, respectivamente.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- C_c = Constante de columna
- E = Módulo de elasticidad del aluminio: 69 *GPa*
- S_y = Resistencia a la cedencia del aluminio: 103 *MPa*

Desarrollando la Ecuación 10:

$$C_c = 64,87$$

Por lo tanto:

$$C_c > SR$$

Como manifiesta Mott (2009), si la constante de columna es mayor a la relación de esbeltez, la columna se considera corta y debe usar la fórmula de J.B Johnson (Ecuación 11) para calcular la carga de pandeo crítica.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y(L_e/r)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

- P_{cr} = Carga de pandeo crítica
- A = Área de la sección transversal: $210,24 \text{ mm}^2$
- S_y = Resistencia a la cedencia del aluminio: 103 MPa
- $\frac{L_e}{r}$ = Relación de esbeltez: 30,5
- E = Resistencia a la cedencia del aluminio: MPa

Desarrollando la Ecuación 11

$$P_{cr} = 20,86 \text{ kN}$$

Como se especificó un factor de diseño de $N = 3$ se calcula el valor de la carga permisible con la Ecuación 12

$$P_A = \frac{P_{cr}}{N} \quad \text{Ec. 12}$$

$$P_A = \frac{20,86 \text{ kN}}{3}$$

$$P_A = 6,95 \text{ kN}$$

Cada columna soporta una carga máxima de 14,1 N por lo que al ser una carga menor a la permisible se verifica que la estructura es segura.

Análisis CAE de la columna.

En este análisis se coloca una sujeción fija en la parte inferior de la columna y se añade una fuerza equivalente a 14,1 N, se ejecuta el estudio y se muestran los resultados en las Figuras 27 y 28

Como se muestra en la Figura 27, la tensión de Von Mises máxima es de 1.750×10^5 y se encuentran dentro del rango del límite elástico permitido que es 2.757×10^7 por lo cual se verifica que la columna es segura.

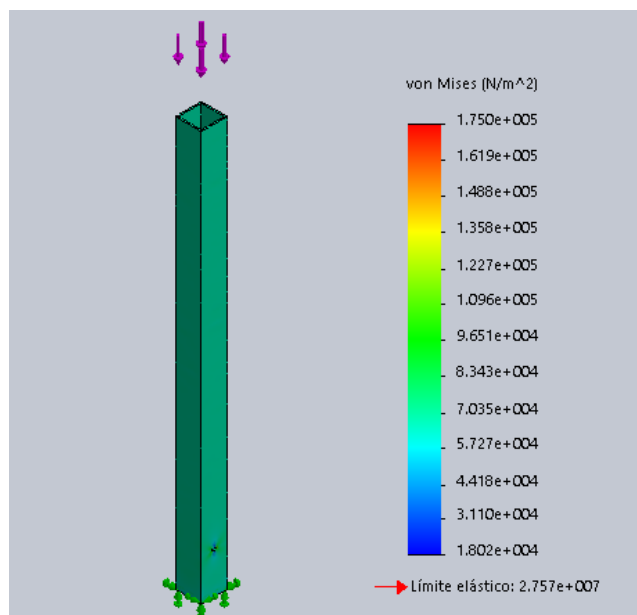


Figura 27. Tensiones de Von Mises de la columna

La deformación o desplazamiento máximo mostrados en la Figura 28 es de 5.446×10^{-4} por lo cual al ser una deformación se verifica que la columna no falla por deflexión excesiva y se considera segura.

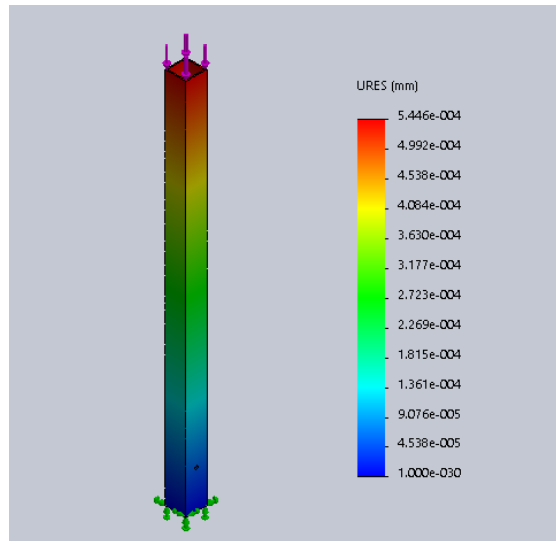


Figura 28. Desplazamiento máximo de la columna

3.6.5. Análisis CAE de la estructura

Una vez analizado los componentes más relevantes de la estructura de manera individual, se procede a realizar un análisis computarizado de la estructura ensamblada como se muestra en la Figura 29.

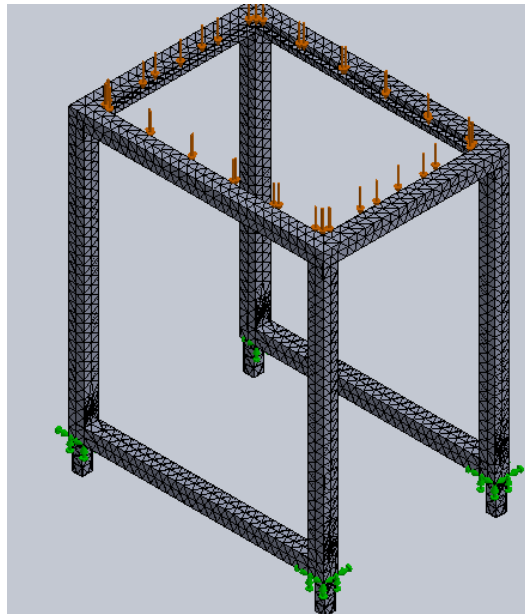


Figura 29. Mallado de la estructura

La Figura 30 muestra las tensión de Von Mises máxima las cual es 5.142×10^5 y se encuentra dentro del rango del límite elástico y verifica que la estructura es segura.

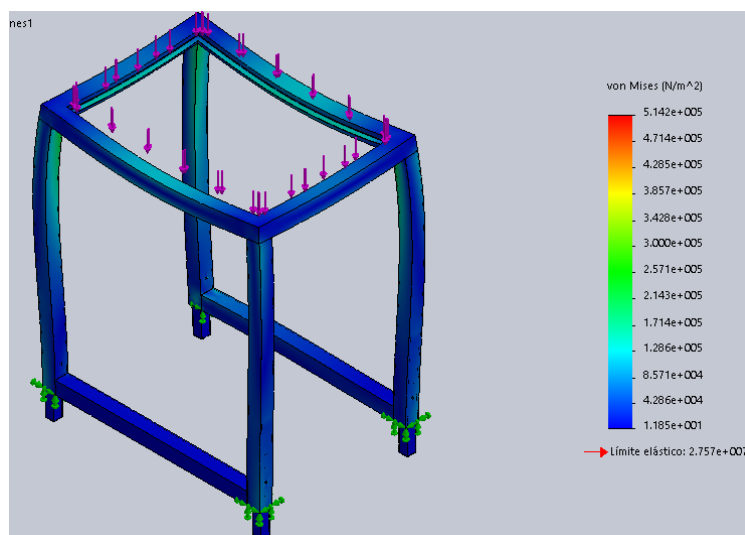


Figura 30. Tensiones de Von Mises de la estructura

La Figura 31 muestra los desplazamientos máximos de la estructura los cuales son mínimos con un valor de 3.846×10^{-3} mm y por lo tanto se verifica que la estructura no falla por deflexiones excesivas.

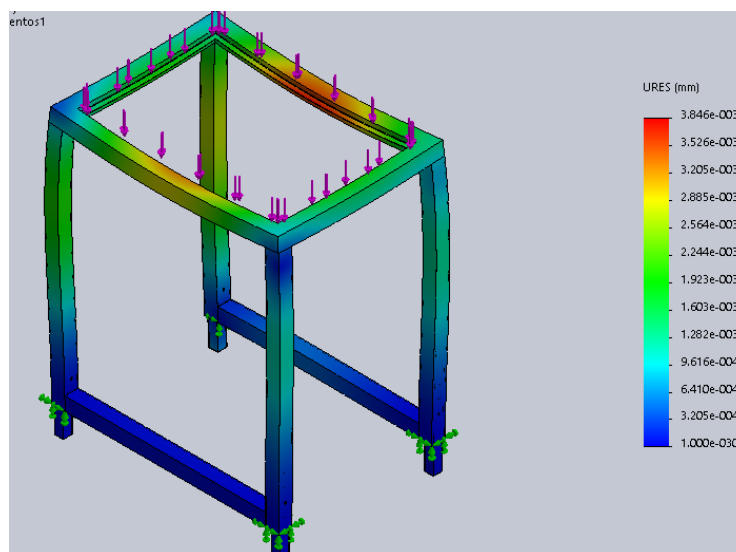


Figura 31. Desplazamientos máximos de la estructura

3.6.6. Construcción del prototipo de la estructura

Una vez obtenido el diseño CAD previamente validado se procedió a crear un prototipo de madera con las medidas previamente establecidas; con el fin de realizar pruebas de proyección de imagen y posicionamiento del dispositivo Leap Motion como se observa en la Figura 32.



Figura 32. Prototipo de la estructura

Una vez realizadas estas pruebas se procede a la construcción de la estructura en aluminio como se muestra en la Figura 33 con los siguientes materiales:

- 2 perfiles cuadrados 31.73 x 1.80 x 386 mm
- 2 perfiles cuadrados 31.73 x 1.80 x 525 mm
- 4 perfiles cuadrados 31.73 x 1.80 x 560 mm
- 1 plancha de aluminio 591 x 225 x 10 mm
- 1 plancha de aluminio 383 x 525 x 10 mm
- 2 perfiles cuadrados 31.73 x 1.80 x 463 mm
- 4 perfiles cuadrados 22.20 x 1.20 x 150 mm
- 2 perfiles L 10 x 10 x 1 x 1000 mm



Figura 33. Estructura en aluminio

3.6.7. Implementación de la superficie de reflexión de imagen

Para la construcción e implementación de una superficie reflectante se consideró:

- El material reflectante debe ser transparente y delgado.
- La imagen debe simular un entorno interactivo.
- El espacio de trabajo del dispositivo Leap Motion debe ser adecuado para la detección de gestos.

Se utilizó una lámina de acetato de 1 mm de espesor. Para el análisis del ángulo de la superficie de reflexión se consideró la investigación detallada en la sección 2.6.1.

Conforme lo manifiesta Fernández (2015) se calcula el ángulo crítico de reflexión del material mediante la Ecuación 13.

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_1}{n_2} \right)$$

Ec. 13

Donde:

- n_1 = índice de refracción del aire: 1
- n_2 = índice de refracción del acetato: 1.47

Reemplazando los valores se obtiene:

$$\theta_c = 42.86^\circ$$

Con este valor de ángulo se obtiene una reflexión total, sin embargo al considerar el espacio de trabajo y ubicación que requiere el dispositivo Leap Motion, en ese ángulo no se consigue un holograma interactivo por lo que se procede a realizar pruebas con varios ángulos de inclinación en el prototipo construido en la sección 3.6.6, como se observa en las Figuras 34, 35 y 36; se determina que a un ángulo de inclinación de 30° con respecto al dispositivo de reflexión y encontrándose dentro del rango permitido conforme se manifiesta en la sección 2.6.1 para este tipo de estructuras se obtiene un tamaño, ubicación de imagen; y espacio de trabajo para el dispositivo Leap Motion adecuado para simular la interacción con el entorno virtual.

Debido a este análisis la superficie tiene la geometría de un marco con las siguientes dimensiones: 470 x 430 mm con material reflectante adherido y templado al marco. como se observa en la Figura 37.



Figura 34. Espacio de trabajo y tamaño de imagen a 30°



Figura 35. Espacio de trabajo y tamaño de imagen a 45°



Figura 36. Espacio de trabajo y tamaño de imagen a 38°



Figura 37. Superficie reflectante

3.7. Modelado CAD de la estación de manipulación neumática

Dentro del Laboratorio de Mecatrónica se trabaja con distintas estaciones didácticas que simulan procesos industriales automatizados que facilitan el aprendizaje, sin embargo, existen otros modelos de estas estaciones las cuales no existen dentro del laboratorio, por lo que se consideró apropiado modelar una estación que contenga una funcionalidad y configuración

estructural diferente a las estaciones existentes, optando por una estación de manipulación neumática.

Esta estación consta de un módulo de válvulas de rendimiento compacto encargado de controlar el flujo de aire hacia los componentes neumáticos, sensores de reflexión directa que detectan la presencia de un objeto, un soporte vertical sobre el que se colocan piezas cilíndricas, una pinza neumática equipada con un sensor óptico para determinar el color de la pieza y definir su posición final, un riel sobre el cual se transporta la pinza neumática, una torre sobre la que reposan estos dos componentes, la unión de estos tres últimos componentes se denomina módulo PickAlfa, dos rampas en las que se colocarán las piezas cilíndricas, y una válvula de reguladora que se encarga de regular la presión de aire suministrada al sistema, como se muestra en las Figuras 38 y 39 .

La estación de manipulación neumática detecta mediante un sensor de reflexión directa la presencia de un objeto sobre el soporte vertical, posteriormente se envía una señal que activa el movimiento sobre el riel posicionando la pinza neumática sobre el objeto, la pinza toma el objeto y mediante un sensor óptico determina su color, finalmente lo transporta hasta una de las rampas según le corresponda.

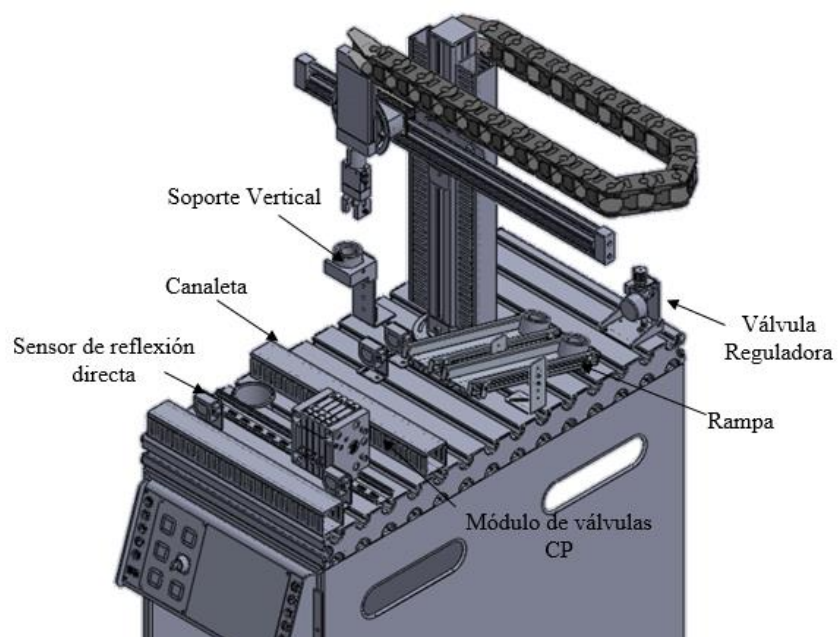


Figura 38. Componentes de la estación neumática

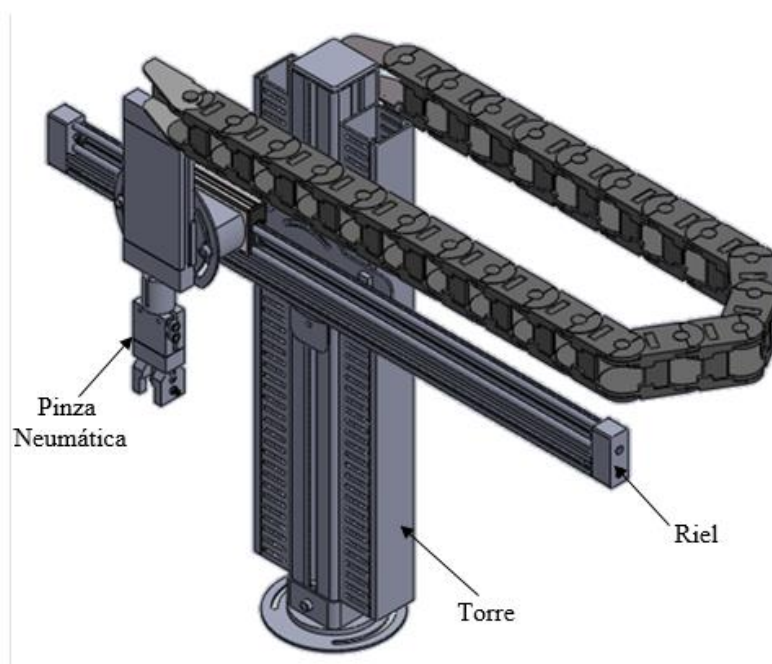


Figura 39. Componentes del módulo PickAlfa

Para realizar el modelado en software CAD de la estación de manipulación neumática, al ser esta similar a las estaciones existentes en el Laboratorio de Mecatrónica, se procedió a tomar

medidas de las piezas que comparten estas estaciones con la estación de manipulación neumática. Para piezas propias del modelo, pero inexistentes en las estaciones del laboratorio se tomó las medidas del catálogo de estaciones interactivas; los detalles para el modelado de las diferentes piezas se encuentran en el Anexo B. Sus medidas principales son 1300 x 344 x 700 mm.

Una vez realizado el modelado de la estación de manipulación neumática en el software CAD que se observa en la Figura 40 es necesario convertir el archivo CAD a una extensión compatible con la plataforma Unity, por lo se utiliza un software de creación de gráficos y animación 3D para convertirlo en una de las siguientes extensiones: FBX u OBJ.

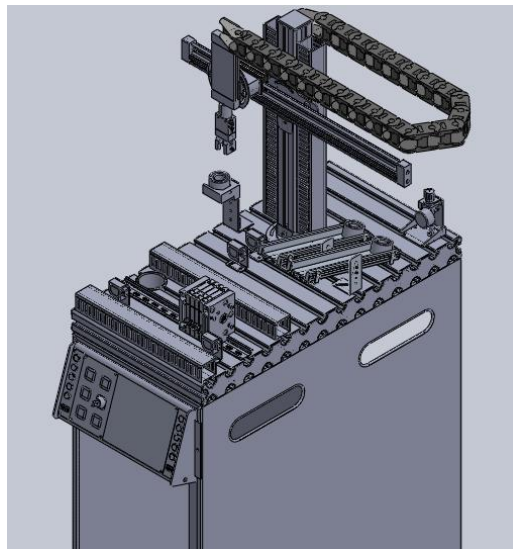


Figura 40. Modelado en software CAD

Finalizado el proceso de modelado CAD de la estación de manipulación neumática, se procede con la programación de ambiente interactivo que se detalla en el Capítulo IV.

CAPÍTULO IV

PROGRAMACIÓN DEL AMBIENTE INTERACTIVO

4.1. Descripción del sistema interactivo.

El sistema abarca una interfaz que permite al usuario ingresar en tres modos de interacción diferentes:

- **Descripción de la estación:** se mostrará información detallada de las características y función de cada uno de los componentes que integran la estación de manipulación neumática.
- **Ensamble:** se reproducirá un video tutorial sobre los controles y funciones dentro de este modo para posteriormente ingresar al entorno interactivo que permitirá: a) Desplazamiento hacia adelante y atrás mediante gestos en el espacio de trabajo; b) Generar los diferentes elementos que componen la estación; c) Manipular y colocar una a una las diferentes piezas sus lugares correspondientes; d) Apremiar la estación una vez colocadas todas las piezas; e) Ver una imagen con los nombres de todas las piezas sobre la estación; f) Observar mediante un video su funcionamiento.
- **Desensamble:** se reproducirá un video tutorial sobre los controles y funciones dentro de este modo, seguido de esto se ingresará al entorno interactivo que permitirá: a) Desplazamiento hacia adelante y atrás mediante gestos en el espacio de trabajo; b) Seleccionar y retirar de manera ordenada una a una las piezas que componen la estación; d) Apremiar las características de los componentes a medida que se los retire; e)

Visualizar todos los elementos retirados en una mesa de exhibición; f) Visualizar una hoja técnica de todas las piezas retiradas al finalizar el desmontaje de la estación.

En la Figura 41 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema interactivo.



Figura 41. Diagrama de flujo del sistema interactivo

4.2. Desarrollo del menú de selección de modos

Para que el usuario interactúe con los modos de trabajo de la estación se creó un menú principal. El menú desarrollado contiene los elementos necesarios para que el usuario pueda explorar todos los modos existentes dentro del entorno virtual de una manera intuitiva, se ha asignado a cada uno de los elementos una acción específica controlada mediante programación, la posición de cada botón se puede apreciar en la Figura 42.

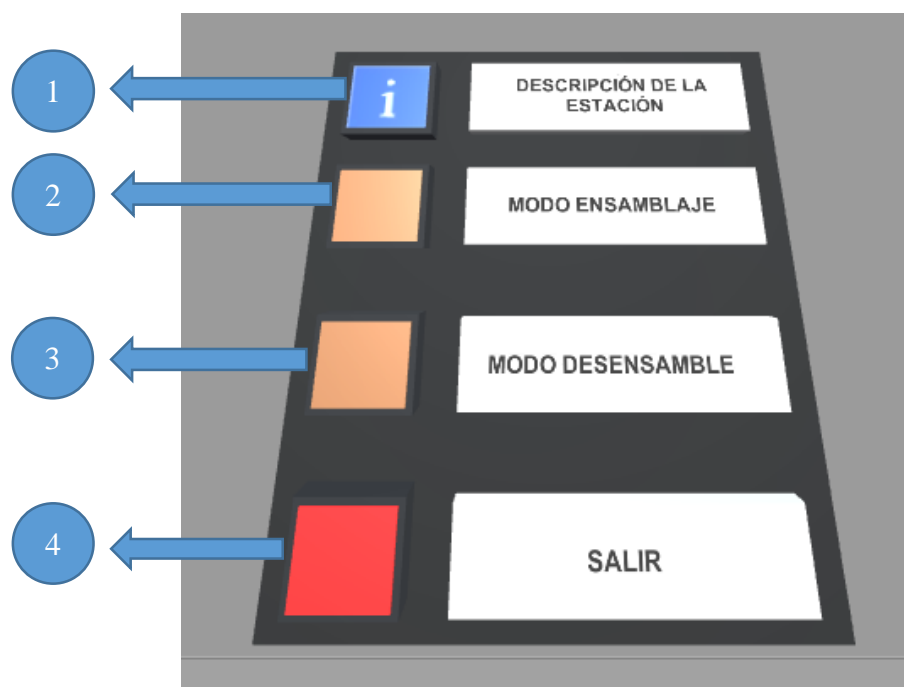


Figura 42. Distribución de botones en el menú

Las funciones que realiza cada botón son:

- **Botón 1:** Ingresa al modo “Descripción” de la estación.
- **Botón 2:** Inicia el “Modo Ensamble” de la estación de manipulación neumática.
- **Botón 3:** Inicia el “Modo Desensamble” de la estación de manipulación neumática
- **Botón 4:** Finaliza y cierra el programa.

4.2.1. Desarrollo del control con el dispositivo Leap Motion

Para poder controlar el entorno interactivo, se debe crear mediante las herramientas que proporcionan los paquetes *Leap Motion Core Assets* y *Leap Motion Interaction Engine* un nuevo *GameObject*, el cual contendrá en su interior los componentes necesarios vistos en la sección 2.4 para su correcto funcionamiento, como se observa en la Figura 43.



Figura 43. GameObject de control

El procedimiento para construir este nuevo *GameObject* es el siguiente:

1. En la ventana de proyecto, dentro de la carpeta LeapMotion/Core/Prefabs, se selecciona el archivo *Leap Rig* y se lo arrastra hacia la ventana jerarquía, este archivo contendrá los componentes *Main camera* y *Hand Models*.
2. Para generar los modelos virtuales de las manos, en la ventana de proyectos dentro de la carpeta LeapMotion/Core/Prefabs/ HandModelsNonHuman se seleccionan los archivos *LoPoly Rigged Hand Left* y *LoPoly Rigged Hand Right* y se los arrastra dentro del componente *Hand Models*, en la ventana jerarquía y posteriormente se los asigna al script *Hand Model Manager*, que se localiza en la ventana inspector del objeto *Hand Models* como se observa en la Figura 44.
3. Ya que no se va a trabajar con dispositivos de realidad virtual en la ventana inspector del componente *Main Camera* se elimina el componente Leap XR Service Provider.

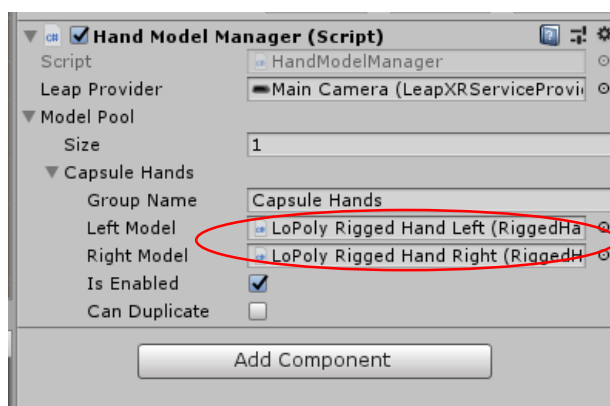


Figura 44. Script Hand Models

4. Para trabajar con el dispositivo Leap Motion en su modo escritorio se crea un nuevo *GameObject* dentro del componente *Leap Ring*, en la ventana inspector, se añade el componente *Leap Service Provider* y en el parámetro *Edit Time Pose*, se selecciona la opción *Desktop Mode A* como se muestra en la Figura 45.

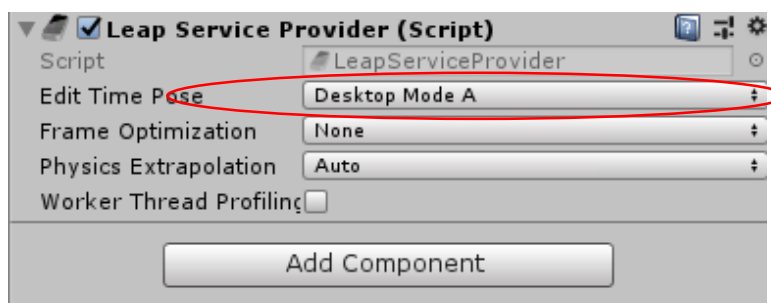


Figura 45. Componente Leap Service Provider

5. En la ventana inspector del componente *Hand Model* dentro del script *Hand Model Manager*, al parámetro *Leap Provider* se asigna el *GameObject* creado en el paso anterior como se muestra en la Figura 46.
6. Para permitir la interacción con los objetos virtuales se selecciona el archivo *Interaction Manager* que se encuentra en la carpeta *LeapMotion/Modules/InteraccionEngine/Prefabs* en la ventana de proyecto y se lo arrastra dentro del componente *Leap Ring*.

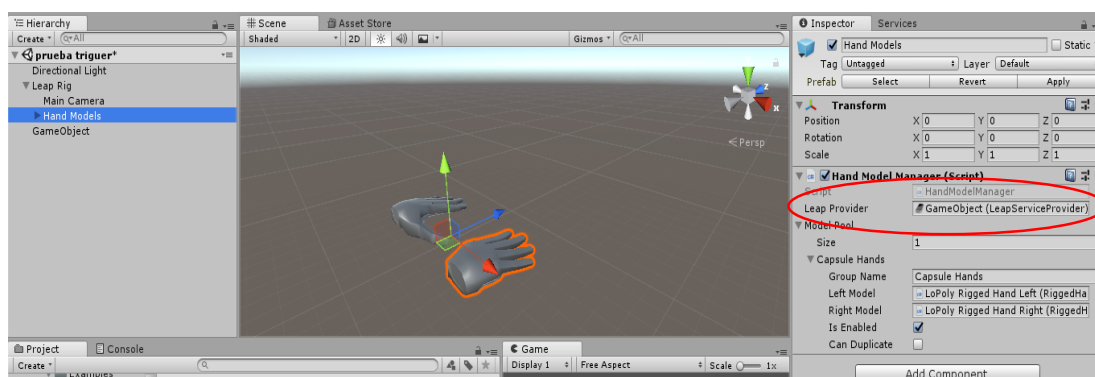


Figura 46. Asignación del controlador Leap Service Provider.

Una vez finalizado este proceso, dentro de la ventana *Game* se observa que las manos virtuales se encuentran completamente configuradas. Para identificar este *GameObject* se le asigna un nombre (se recomienda *Control Leap Motion*), es utilizado durante el desarrollo de todo el proyecto, debido a esto se lo debe convertir en un *prefab*, en la ventana de proyecto dentro de carpeta *Assets* se crea una nueva carpeta (se recomienda nombrarla *Prefabs*), aquí se arrastra el *GameObject* y el *prefab* se creará automáticamente.

4.2.2. Creación y configuración de botones.

Para la navegación dentro de todos los modos que componen el sistema se debe realizar la creación de botones. Al utilizar como controlador el dispositivo Leap Motion, la creación de estos componentes debe realizarse en 3D y debido a esto tienen una manera particular de ser creados y configurados la cual se detalla a continuación.

1. Crear un nuevo *GameObject* al cual se agrega un nuevo nombre (se recomienda Botón) y los *scripts* **Interaction Button** y **Simple Interaction Glow**, estos permiten interactuar con los objetos 3D, como un botón dentro del entorno, y cambiar los colores de los

botones cuando se interactúa con ellos, respectivamente; se encuentran predefinidos dentro del SDK instalado.

2. Dentro del *GameObject* creado en el paso 1 crear un *3D object* y seleccionar *cube*, dentro de este cubo creado repetir el proceso de creación de un segundo cubo. De tal manera que dentro de la ventana jerarquía se tendrá una configuración como se muestra en la Figura 47. El objeto creado se visualizará en la ventana de escena como se muestra en la Figura 48.

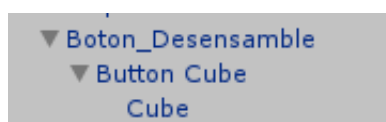


Figura 47. Jerarquía

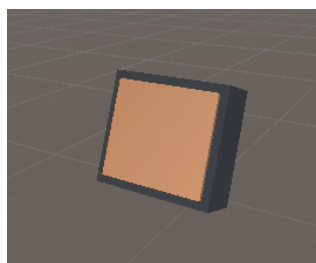


Figura 48. Botón

3. En el *script* Interaction Button pulsar los botones *Add Button Parent Transform*, *Freeze Rotation* y *Auto-Fix* como se muestra en la Figura 49.

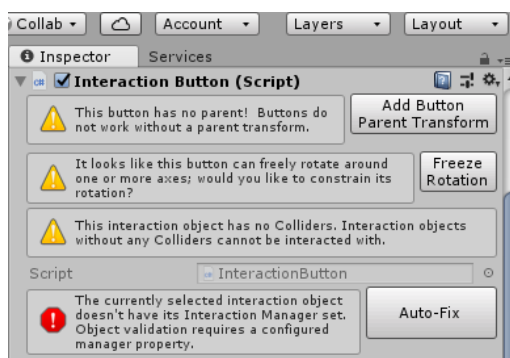


Figura 49. Configuración Inicial

- Configurar los parámetros del *script* Interaction Button como se muestra en la Figura 50.

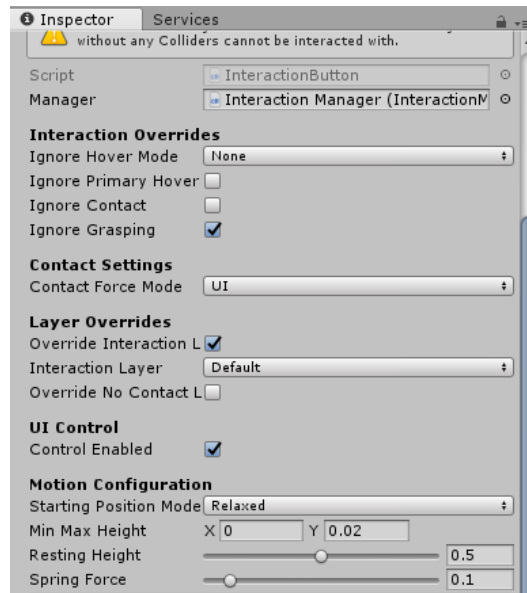


Figura 50. Configuración de parámetros

- Crear un nuevo C# *script* asignándole un nombre apropiado, utilizar las librerías *UnityEngine* y *UnityEngine.SceneManagement*. y programar una nueva función pública vacía la cual acepte un parámetro de tipo string.
- Dentro de la función creada, utilizar la clase *SceneManager.LoadScene()* para navegar entre las diferentes escenas del proyecto.
- En la ventana jerarquía crear un nuevo *GameObject*, asignarle un nuevo nombre (se recomienda *Level Manager*) y añadir el *script* antes creado.
- Seleccionar el *GameObject* “Botón” creado en el paso 1 y dentro del *script* Interaction Button, en el parámetro *On Unpress*, dar clic en el signo (+), asignar a este nuevo parámetro el *GameObject* “*Level Manager*”. como se muestra en la Figura 51.



Figura 51. Asignación de GameObject

9. Dentro de la pestaña “No Function”, escoger la opción con el nombre del *script* creado en el paso 5, y dentro del mismo seleccionar el nombre de la función pública creada dentro del *script* como se muestra en la Figura 52.

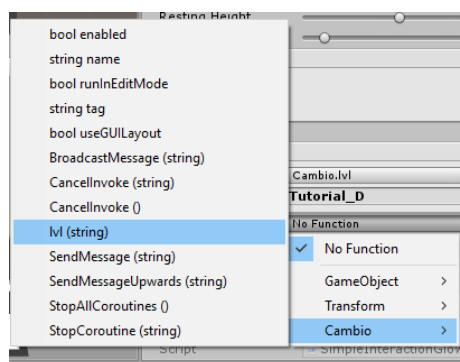


Figura 52. Selección de la función

10. En la casilla que se activará luego de realizar el paso anterior, escribir el nombre exacto (parámetro) de la escena a la cual se dirigirá el programa una vez presionado el botón como se muestra en la Figura 53.

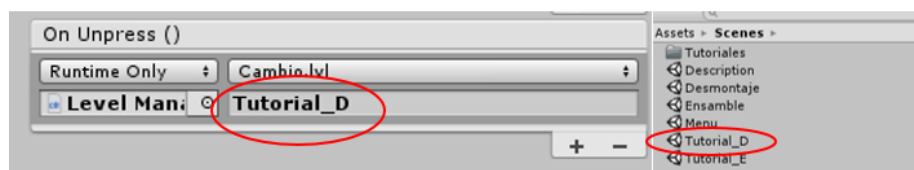


Figura 53. Asignación del parámetro tipo string.

Una vez terminado este proceso para la creación de todos los botones requerido, se debe copiar el *GameObject* creado en el paso 1 y cambiar el nombre asignado en el paso 10 para direccionar a cada botón hacia su escena correspondiente.

4.2.3. Creación de recuadros de etiquetas

A continuación, se detalla el procedimiento para la creación de recuadros de etiqueta y su automatización.

1. Crear un nuevo *GameObject*, asignarle un nombre (se recomienda Etiqueta), dentro del *GameObject* “Etiqueta” crear dos nuevos *GameObjects* y asignarle los nombres *Label Cube* y *Label Text* como se muestra en la Figura 53.

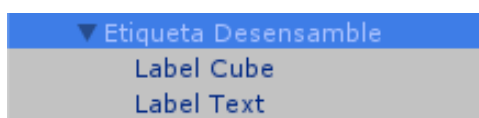


Figura 54. Jerarquía de creación

2. Dentro del *GameObject* “*Label Cube*”, crear un *3D object* y seleccionar *cube*.
3. Dentro del *GameObject* “*Label Text*”, añadir el componente *Text Mesh* y dentro del parámetro *Text* escribir el nombre de la etiqueta.

Una vez realizados estos pasos se podrá apreciar en la ventana de escena la etiqueta creada como se muestra en la Figura 55.



Figura 55. Etiqueta creada

4.3. Desarrollo de los modos de interacción.

Para el correcto desarrollo de los modos de interacción es necesario considerar:

- Las clases creadas mediante programación *C#* pueden ser utilizadas varias veces para distintos objetos sin afectar su independencia.

- Las variables de tipo públicas definen la funcionalidad de la clase.
- Cada objeto contiene las mismas clases creadas, pero son configuradas de manera independiente.

El proyecto consta de tres modos interactivos diferentes, cada uno con sus funcionalidades y objetivos específicos como se detallaron en la sección 4.1. El proceso de creación y desarrollo de cada uno de ellos se presentan a continuación.

4.3.1. Modo “Descripción de la Estación”.

Este modo de interacción presenta una descripción detallada de la estación de manipulación neumática mediante un video, mismo que servirá de guía para identificar las diferentes piezas dentro de los otros modos de interacción. El procedimiento para la creación de este entorno se detalla a continuación.

1. Crear dentro de la carpeta *Scenes* una nueva escena con el nombre Descripción.
2. Eliminar el objeto *Main Camera* que se crea automáticamente al crear la escena y arrastrar a la ventana jerarquía el *prefab* creado en la sección 4.2.1 ya que este contiene un objeto una *Main Camera* ya configurado.
3. Dentro de la carpeta *Assets* crear una nueva carpeta llamada video, esta carpeta contendrá el video que será cargado al entorno de interacción. Las extensiones para los videos que acepta la plataforma Unity son .MOV y .MP4.
4. Pegar dentro de la carpeta creada en el paso anterior el video que será utilizado para esta sección.
5. En la ventana jerarquía crear un *3D Object* y seleccionar *Plane*.

6. En el objeto *Plane* añadir el componente *Video Player* y en el parámetro *Video Clip* asignar el video previamente cargado en el paso anterior como se muestra en la Figura 56.

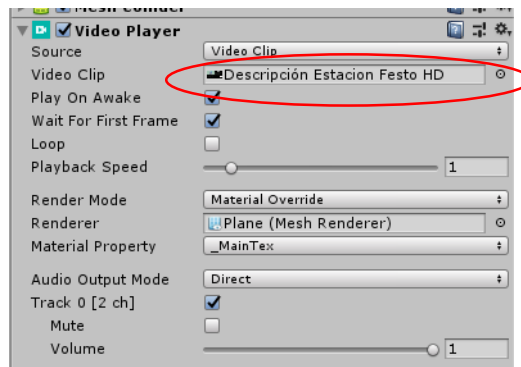


Figura 56. Componente Video Player

7. Crear un nuevo *C# script* y nombrarlo “Transicion”. Realizar un programa que contenga dos variables públicas una de tipo *int* y otra de tipo *string*, dentro de la variable de tipo *int* se colocará la duración del video y con la ayuda de un cronómetro se verificará si el video ha finalizado. A la variable de tipo *string* se le asignará el nombre de la escena a la cual se dirigirá una vez finalizado el video, en este caso “Menu”.
8. Crear un nuevo *C# script* y nombrarlo “Salir”. Realizar la programación para que cuando el usuario presione el botón escape del teclado regrese inmediatamente a la escena menú.
9. Crear un nuevo *GameObject*, asignar un nuevo nombre (se recomienda Level Manager), a este nuevo objeto asignarle los *scripts* creados en los pasos 7 y 8. Asignar el valor Menú a la variable de tipo *string* y la duración del video a la variable de tipo *int* en el *script* denominado “Transicion”.

4.3.2. Modo “Ensamble”

El modo ensamble se divide en dos escenas independientes, la primera escena contiene el video tutorial sobre el funcionamiento de este modo de interacción, mientras que la segunda escena contiene la interacción del usuario con la estación de manipulación neumática con el objetivo de ensamblar las diferentes piezas que contiene el modo de interacción. Los pasos para la creación de estas escenas se detallan a continuación.

Desarrollo de la escena “Video Tutorial”

1. Crear dentro de la carpeta *Scenes* una nueva escena con el nombre *Tutorial_E*.
2. Repetir los pasos del 2 al 6 de la sección 4.3.1.
3. Crear un nuevo *C# script* y nombrarlo “Saltar_T”. Realizar un programa que contenga una variable pública de tipo *string*, que permita que cuando el usuario presione el botón espacio del teclado, salte inmediatamente a la escena determinada por el valor que contenga la variable *string*.
4. En el objeto *Plane* añadir:
 - El *script* creado en el paso anterior, para la variable de tipo *string* asignar el valor *Ensamble*.
 - El *script* creado en el paso 7 en la sección 4.3.1 y designar para la variable tipo *int* la duración del video utilizado para este modo, y en la variable de tipo *string* el valor de *Ensamble*.
 - El *script* creado en el paso 8 de la sección 4.3.1.

La configuración final de este nuevo objeto se muestra en la Figura 57.

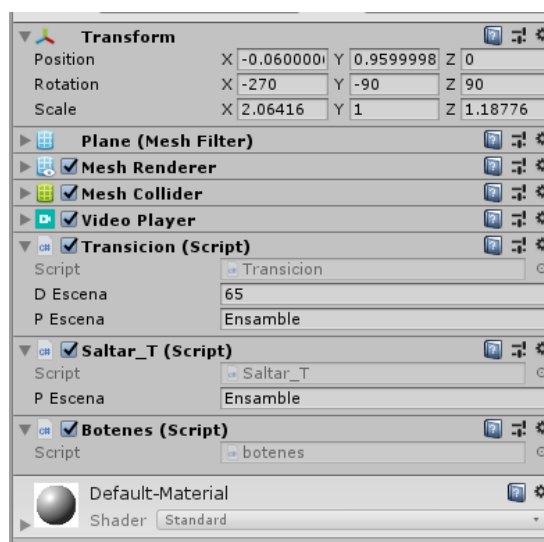


Figura 57. Configuración del objeto

Desarrollo de la escena “Ensamble”

Una vez realizada la exportación del modelo 3D de la estación de manipulación neumática, como se muestra en la sección 3.7, se copia este archivo a una nueva carpeta creada dentro del proyecto y se lo arrastra a la ventana jerarquía. Se podrá visualizar a la estación dentro de la ventana de escena como se muestra en la Figura 58. Se retiran todas las piezas que se encuentran sobre la mesa de trabajo hacia un punto en el cual la cámara no los pueda observar como se muestra en la Figura 59.

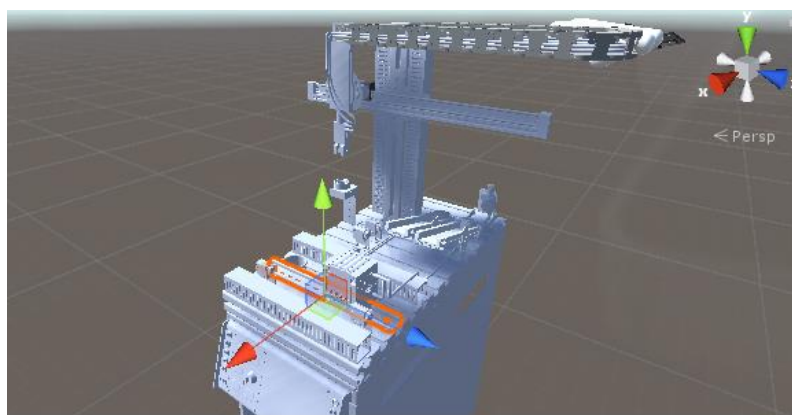


Figura 58. Estación de manipulación neumática

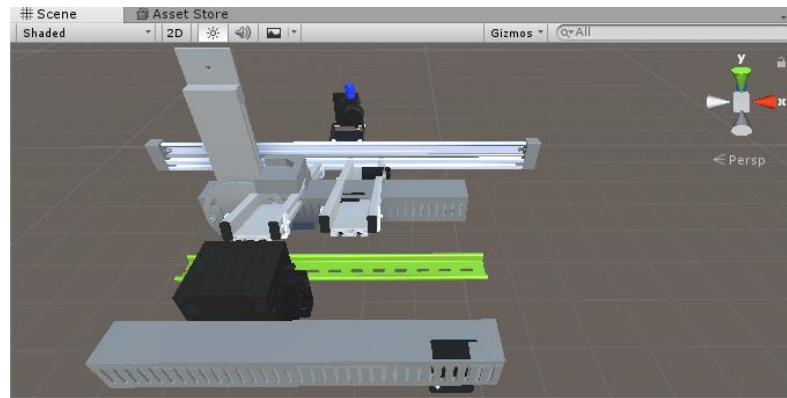


Figura 59. Piezas aisladas de la estación.

Es necesario crear una memoria dentro del proyecto de forma que, cualquier *script* pueda acceder a sus métodos, funciones y utilizarlos, para ello se implementa la clase “Contador” que se muestra en la Figura 60 dentro de un nuevo *GameObject* denominado “Instancia”.

```

using UnityEngine;
public class Contador : MonoBehaviour {
    private static Contador instance = null;
    private int contadorPiezas=0;
    private int con,i,j;
    private int count=0;
    float time = 5, tiempo=15;
    [SerializeField]
    private GameObject stage1, stage2,stage3,stage4,stage5;
    private bool running = true;
    static Contador() { }
    private Contador() { }

    public static Contador Instance
    {
        get
        {
            if (instance == null)
            {
                instance = GameObject.FindObjectOfType<Contador>();
                DontDestroyOnLoad(instance.gameObject);
            }
            return instance;
        }
    }
}

```

```
private void Awake()
{
    if (instance == null)
    {
        instance = this;
        DontDestroyOnLoad(this);
    }
    else if (this != instance)
    {
        Destroy(this.gameObject);
    }
}

public bool IsRunning()
{
    return this.running;
}

public void Run()
{
    this.running = true;
}

public void Stop()
{
    this.running = false;
}
```

Figura 60. Clase Contador

Dentro de esta misma clase “Contador” se crean las funciones *set* y *get*, la función *set* podrá modificar sus valores recibiendo un parámetro desde cualquier otro script, mientras que la función *get* enviará los valores a tiempo real de la clase hacia cualquier *script*.

Para realizar la toma y colocación de las piezas en el ensamble se utilizan las clases:

- InteractionBehaviour: Permite la interacción entre las *Hand Models* y los objetos 3D dentro del entorno.

- **AnchorableBehaviour:** Permite que una pieza se fije en un punto determinado al acercarse a una región delimitada.

Estas clases se encuentran incluidas en el SDK de Leap Motion. Al detectar el evento proporcionado por la clase “AnchorableBehaviour” se activa el método de la clase “DesactivarInteracción”, el cual bloquea toda interacción y movimiento de la pieza una vez colocada en el lugar que le corresponde, reproduce un sonido de colocación y envía un dato que aumenta el valor de la clase “Contador” en 1.

Para ejecutar los eventos de movimiento hacia adelante, movimiento hacia atrás y alimentación de piezas, se debe crear una nueva clase llamada “Alimentación”, la cual contiene dos funciones especiales: a) *private void OnTriggerEnter ()* y b) *private void OnTriggerExit ()*, las cuales detectan cuando un objeto colisiona con otro objeto específico y cuando deja de colisionar respectivamente. Dentro de la clase “Alimentación”, al detectar la colisión entre los dedos medios se activa la clase “Inicio”, la cual contiene las coordenadas en las que serán ubicadas cada una de las piezas de manera independiente, como se muestra en la Figura 61.

```
private void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.gameObject.tag=="alimentar" && contador.getContadorPiezas()==0) {

        pieza[0].GetComponent<Inicio>().enabled = true;
        pieza[1].GetComponent<Inicio>().enabled = true;
        pieza[2].GetComponent<Inicio>().enabled = true;
        pieza[3].GetComponent<Inicio>().enabled = true;
        adelante.SetActive(true);
        atras.SetActive(true);
        aviso.SetActive(false);
    }
}
```

Figura 61. Activación de la clase “Inicio”

Se deberá modificar el *prefab* realizado en la sección 4.2.1. Una vez arrastrado el *prefab* a la ventana jerarquía, dentro del objeto *Hand Model* crear 3 pares de *Box Coliders*, y ubicarlos en los dedos pulgares, medios y meñiques de ambas manos, los cuales detectarán las colisiones entre los dedos, añadir a los *Box Coliders* de la mano izquierda los *tags* “adelante”, “atrás” y “alimentar”, y, a los de la mano derecha el *script* “Alimentacion” para que ejecuten los siguientes eventos:

- Colisión entre dedos pulgares: el usuario se moverá hacia adelante.
- Colisión entre dedos medios: permite que se generen en grupos las piezas que se deben ensamblar a la estación.
- Colisión entre dedos meñiques: el usuario se moverá hacia atrás.

Finalizado este proceso, a cada una de las piezas que componen la estación de manipulación neumática, como se muestra en la Figura 62 se añaden los *scripts*:

- InteractionBehaviour
- AnchorableBehaviour
- DesactivarInteracción
- Inicio
- Componente Audio Source

Crear y asignar un nuevo *script* al *GameObject* “Instancia” que permita visualizar un video de funcionamiento al finalizar el ensamble.

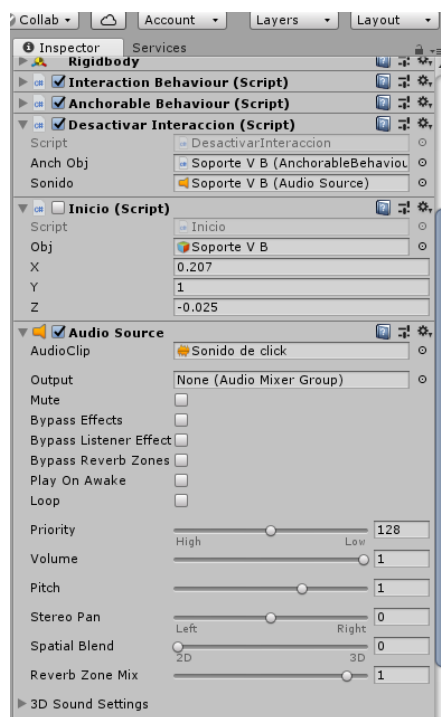


Figura 62. Asignacion de *Scripts*

Desarrollo de la interfaz de usuario

La interfaz gráfica de usuario debe contener los elementos necesarios para mostrar la información e instrucciones durante el uso del entorno interactivo. Cada etiqueta se genera con el procedimiento observado en la sección 4.2.3; para su automatización se realiza y se asigna un *script* que reciba los valores de la clase “Contador”, y acorde a este valor, se escribe en la etiqueta el texto que corresponda. La información que presenta cada una de las etiquetas que se observa en la Figura 63 es:

- **Etiqueta 1:** Nombre de la pieza con la que se interactúa.
- **Etiqueta 2:** Ensamble completo, aparecerá cuando se colocan todas las piezas.
- **Etiqueta 3:** El entorno requiere que se generen piezas, aparecerá cuando se colocan todas las piezas de un grupo.

- **Etiqueta 4:** El número de piezas colocadas, cambiará su valor a medida que se posicionen las piezas del ensamble.
- **Etiqueta 5:** Combinación de dedos para controlar los movimientos dentro del entorno.

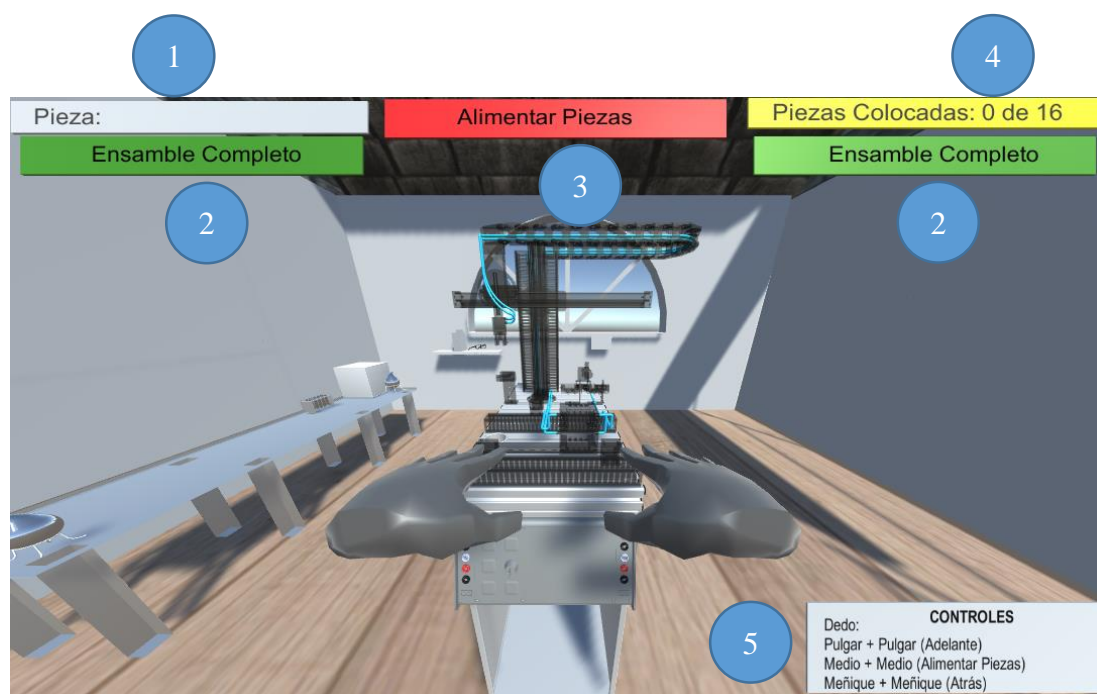


Figura 63. Interfaz de usuario

4.3.3. Modo “Desensamblable”

Este modo de interacción se divide en dos escenas independientes: la primera proyectará un video tutorial sobre el funcionamiento del entorno de interacción, y la segunda permitirá interactuar con la estación de manipulación neumática, con el objetivo de retirar una a una las piezas que componen la misma. Para la creación de la primera escena se ejecutará los pasos descritos en la sección 4.3.2, debido a esto se procederá directamente con el desarrollo de la segunda escena.

Desarrollo de la escena “Desensamble”

Crear una nueva escena y eliminar el componente *Main Camera* que se crea por defecto, arrastrar el archivo CAD exportado en la sección 4.3.2, en la ventana jerarquía, luego se podrá observar el modelo de la estación neumática dentro de la ventana Escena. Crear un nuevo *GameObject*, asignarle nombre “Instancia” y cargar la clase “Contador” desarrollada en la sección 4.3.2..

Para el control de movimiento hacia adelante y atrás, ejecutar los pasos vistos en la sección 4.3.2, omitiendo la creación del par de *Box Colliders* ubicados en los dedos medios, y se ejecutará los siguientes eventos:

- Colisión entre dedos pulgares, el usuario se moverá hacia adelante.
- Colisión entre dedos meñiques, el usuario se moverá hacia atrás.

Es necesario crear un punto específico a donde se deben llevar las piezas, una vez retiradas de su lugar, para ello se usará el complemento “*Asset JMO*” y se importará a la escena con los pasos descritos en el Anexo A; dentro de las carpetas de este complemento se encuentran diferentes animaciones de eventos como: golpes, explosiones, luces, etc. observados en la Figura 64.

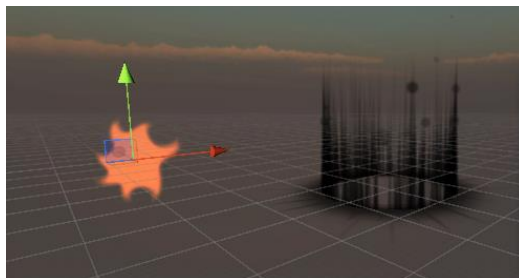


Figura 64. Animaciones

Para el proyecto se selecciona y arrastra el componente “*CFX3_DarkMagicAura*” en el componente *Main Camera* de la ventana jerarquía, crear un *Capsule Colider* dentro del componente arrastrado y asignarle el *tag* “pared” para que detecte cuando las diferentes piezas de la estación entren en contacto con este objeto y las coloque sobre la mesa como se muestra en la Figura 65.



Figura 65. Componente “*CFX3_DarkMagicAura*”

Identificar cada una de las piezas que serán retiradas de la estación de manipulación neumática, dentro de cada una colocar el componente *Box Colider*, *Rigidbody* y, asignarles un *tag* con el nombre que le corresponda. Crear y asignar un nuevo *script* denominado “Retirar”, que detecte la colisión, entre la pieza retirada y el componente *CFX3_DarkMagicAura*; aumente el valor de la clase “Contador” en 1 y configure las coordenadas de posición de la pieza a un lugar específico dentro del entorno de trabajo. La configuración final de las piezas se muestra en la Figura 66.

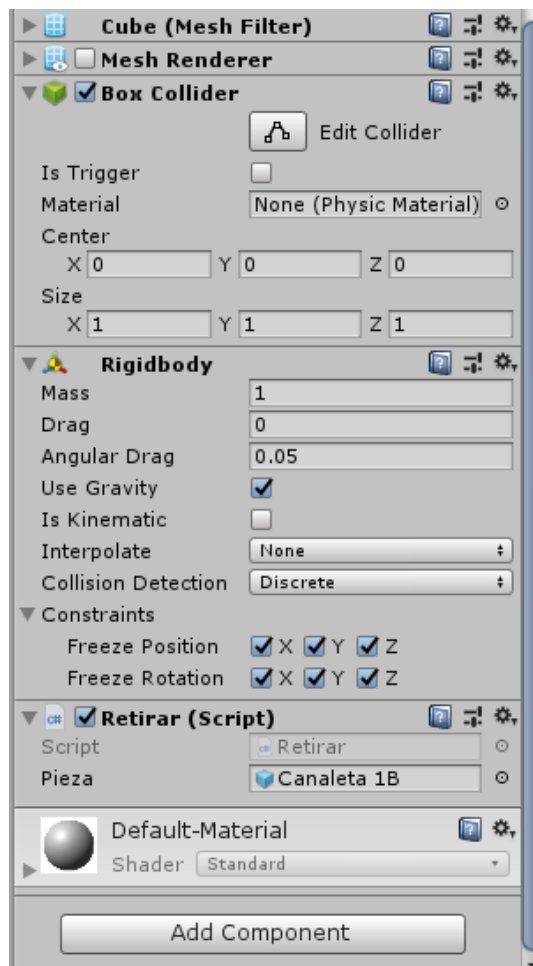


Figura 66. Configuración

Para la manipulación de las piezas se debe crear un nuevo *GameObject* dentro de la mano derecha en el componente *Hand Models*, crear y asignarle un nuevo *script* denominado “RetirarPieza”, el que detectará la colisión entre el dedo índice de la mano, con la pieza que el entorno solicite retirar. Cuando detecte cualquier otra colisión activará una etiqueta de aviso “Pieza Incorrecta” y sincronizará los valores de las coordenadas de la pieza con las coordenadas del extremo del dedo índice. Crear un *script* que permita mostrar una tabla con las características de cada una de las piezas retiradas una vez finalizado el proceso, y asignarlo al *GameObject* “Instancia”.

Desarrollo de la interfaz de usuario

Para realizar esta interfaz gráfica de usuario, ejecutar los pasos descritos en la sección 4.3.2, y realizar un nuevo *script* para que las etiquetas que se observan en la Figura 67 presenten la siguiente información:

- **Etiqueta 1:** Nombre de la pieza que se debe retirar.
- **Etiqueta 2:** Alerta de “Pieza Incorrecta”, aparecerá cuando se intente retirar una pieza diferente a la que ordena el entorno.



Figura 67. Interfaz de Usuario

4.4. Construcción del archivo ejecutable

Al finalizar el desarrollo de todas las escenas se procede a construir el entorno interactivo. En la pestaña *File* seleccionar la opción *Build Settings...*, se desplegará la ventana que se muestra en la Figura 68, seleccionar todas las escenas, presionar el botón *Player Settings* y configurar los parámetros como se muestra en la Figura 69.

Realizado este proceso, presionar el botón *Build*, la plataforma Unity3D creará dentro de una carpeta seleccionada. Un archivo ejecutable y todos los archivos necesarios para su correcto funcionamiento, como se muestra en la Figura 70.

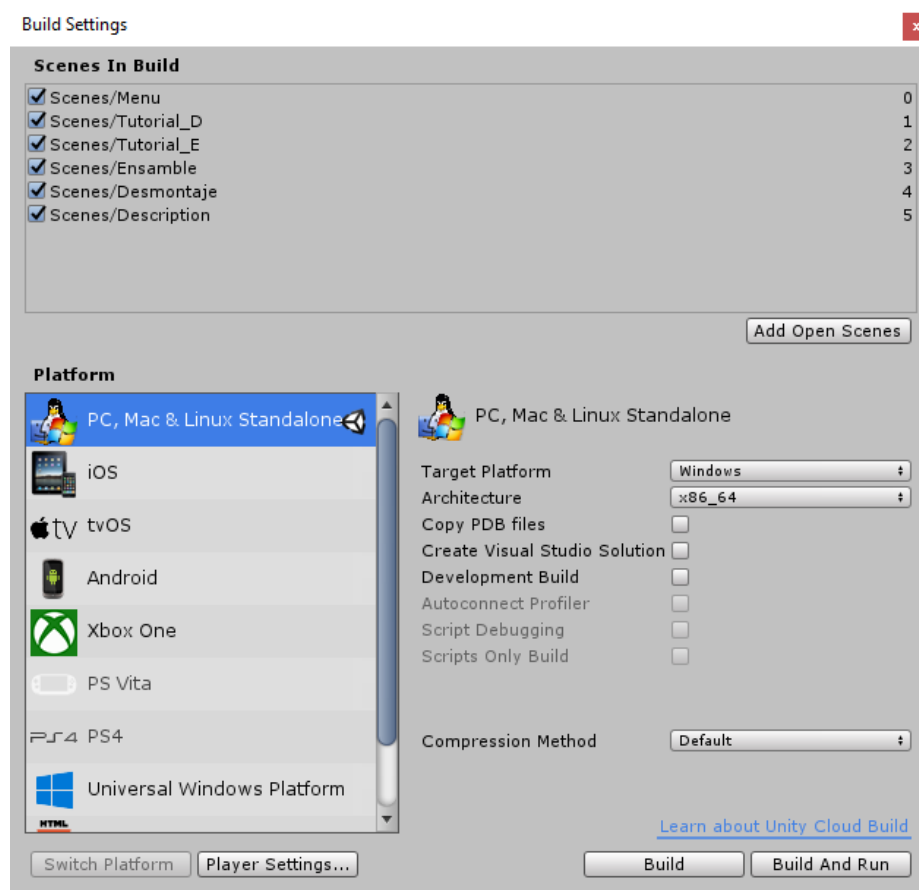


Figura 68. Ventana Build Settings

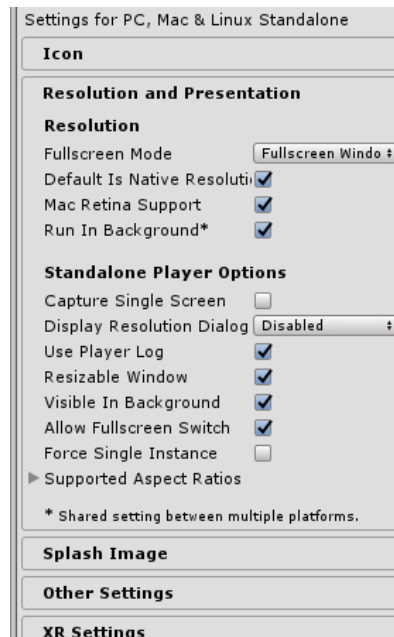


Figura 69. Player Settings

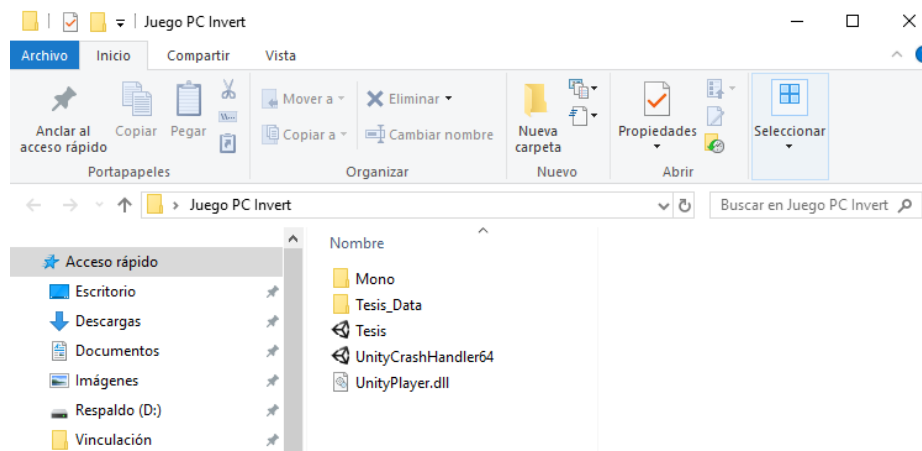


Figura 70. Archivo ejecutable

Este archivo ejecutable, sintetizará cada una de las escenas creadas anteriormente, sus interacciones y respectivos *scripts* de programación, permitiendo al usuario, explorar los diferentes modos de interacción, y realizar las tareas que permite cada uno de ellos con el uso del controlador Leap Motion.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

En esta fase del trabajo de investigación se realizan las pruebas de funcionamiento de la estación de proyección holográfica con el fin de validar la hipótesis del proyecto, medir la aceptación del sistema por parte de los estudiantes de ingeniería mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, e identificar los alcances y limitaciones del sistema.

5.1. Pruebas y tabulación de resultados

La metodología utilizada para la obtención de datos es una encuesta dirigida a los estudiantes la carrera de ingeniería mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Latacunga. Debido a la gran cantidad de estudiantes las pruebas de funcionamiento y las encuestas fueron realizadas por una muestra de 20 estudiantes.

Resultados del funcionamiento del sistema

A partir de lo que se indica en el artículo de Bob G. & Michael J.(1998) sobre la medición de la presencia en un ambiente virtual se elaboró una encuesta (Anexo C) utilizando la escala de Liker para medir diferentes factores como:

- **Control:** Indica el nivel de control que tiene el usuario sobre el ambiente interactivo, percibiendo la velocidad con la que el ambiente responde a las acciones, la anticipación que tiene el usuario sobre los sucesos en el entorno y el nivel de naturalidad con la que se ejecutan las acciones. (Bob G. & Michael J., 1998).
- **Realismo:** Muestra el nivel de coherencia de la información transmitida por el entorno virtual y las acciones realizadas en el mundo real, este factor varía conforme

al contenido de la escena, resolución, fuentes de luz y el campo de visión, además toma en consideración la desorientación o ansiedad que podrían experimentar los usuarios al finalizar el uso del entorno interactivo. (Bob G. & Michael J., 1998).

- **Distracción:** Analiza el nivel de aislamiento del usuario en el entorno virtual mediante la capacidad del usuario de enfocarse en las actividades e ignorar las distracciones externas provenientes del entorno real o de los dispositivos de proyección y control del sistema. (Bob G. & Michael J., 1998)

La distribución de preguntas y el factor que analiza cada una de ellas se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18.

Distribución de preguntas

Número de pregunta	Factor de análisis
1-9	Control
10-14	Realismo
15-18	Distracción

Los intervalos de interpretación de los factores analizados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19.

Intervalos de interpretación.

Ponderación	Factor de control	Factor de Realismo	Factor de distracción
Alto	(6,26 – 9,00)	(3,26 – 5,00)	(2,26 – 4,00)
Medio	(3,26 – 6,25)	(1,26 – 3,25)	(1,26 - 2,25)
Bajo	(0,00 – 3,25)	(0,00 – 1,25)	(0,00 - 1,25)

Los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga encuestados se encuentran distribuidos como se muestra en la Tabla 20, de los cuales once son hombres y nueve mujeres.

Tabla 20.*Distribución de estudiantes por nivel*

Nivel	Número de estudiantes
1ero	3
2do	3
3ero	2
4to	2
5to	2
6to	2
7mo	2
8vo	2
9no	2

Para el procesamiento de datos se transforma los resultados obtenidos mediante la escala de Likert a valores cuantitativos como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21.*Tabla de transformación entre escalas*

Escala de Likert	Escala cuantitativa
1	0
2	0,25
3	0,50
4	0,75
5	1

Por ejemplo, si una persona contesta las preguntas como se muestra en la Tabla 22, en la escala de Likert siendo 1 la peor calificación y 5 la mejor, se calcularía de la siguiente manera $2+3+5 = 10$, considerando los valores de la Tabla 21 y transformando a una escala cuantitativa se obtendría $0,25+0,5+1=1,75$.

Tabla 22.*Ejemplo de respuesta de encuesta*

Nº	PREGUNTA	1	2	3	4	5
1	¿Cree usted que pudo controlar de manera adecuada todos los eventos dentro del entorno virtual?		x			
2	¿Considera usted que el ambiente tiene una sensibilidad adecuada a las acciones que realizó?			x		
3	¿Cree usted que las interacciones con el ambiente parecieron naturales?					x

Los datos que se presentan en la Tabla 23 son los valores transformados de la escala de Likert a escala cuantitativa para cada factor, obtenidos a partir de las encuestas aplicadas después de utilizar la estación de proyección holográfica.

Tabla 23.

Datos recopilados de las encuestas realizadas primera parte

	Factor de control (valoración sobre 9 puntos)	Factor de realismo (valoración sobre 5 puntos)	Factor de distracción (valoración sobre 4 puntos)
Estudiante 1	8,25	4,50	0,25
Estudiante 2	8,25	4,75	0,25
Estudiante 3	7,25	4,25	0,50
Estudiante 4	7,75	4,25	0,50
Estudiante 5	7,25	4,25	0,25
Estudiante 6	8,50	4,50	0,25
Estudiante 7	8,25	4,75	0,25
Estudiante 8	8,25	4,50	0,25
Estudiante 9	7,75	4,25	0,50
Estudiante 10	8,25	4,25	0,25
Estudiante 11	8,75	4,75	0,00
Estudiante 12	8,25	4,75	0,50
Estudiante 13	8,50	4,25	0,50
Estudiante 14	8,25	4,75	0,25
Estudiante 15	7,75	4,50	0,25
Estudiante 16	8,50	4,75	0,25
Estudiante 17	7,75	4,50	0,50
Estudiante 18	8,25	4,75	0,25
Estudiante 19	8,50	4,25	0,00
Estudiante 20	8,75	4,75	0,00
Valor promedio	8,15	4,5125	0,2875

Se utiliza el método estadístico T-Student para cada factor analizado, ya que la muestra es inferior a treinta y los datos para cada factor son de una población normal, con este método se comprobó qué tan eficiente es el control, realismo y que tan concentrado está el usuario en el entorno virtual.

Para la validación de las hipótesis nulas o alternativas, se utilizan las condiciones descritas en la Tabla 24.

Tabla 24.*Condiciones para la validación de las hipótesis alternativas.*

Hipótesis alternativas	Condición de validación
$\bar{X} > \mu_0$	$t > -t_\alpha$
$\bar{X} < \mu_0$	$t < t_\alpha$

Fuente: (Montgomery, 1996)

Dónde: t es el valor crítico de la distribución calculado y t_α es el valor de distribución obtenido de la tabla que se muestra en el Anexo D.

5.1.1. Validación de la hipótesis para el factor de control por el método T-Student

Para la validación del factor de control se plantearon las siguientes hipótesis nula y alternativa:

H0: El puntaje del factor de control en la estación holográfica es igual al 90% del puntaje máximo, siendo el valor máximo 9 de la escala cuantitativa.

$$\mu_0 = 8.1$$

H1: El puntaje del factor de control en la estación holográfica es mayor al 90% del puntaje máximo.

$$\mu_0 > 8.1$$

Se toma el número de muestras y el valor promedio del factor de control de la Tabla 23 el cual representa el puntaje medido de este factor.

Conforme lo manifiesta Montgomery (1996), para calcular la desviación estándar de los datos se utiliza la Ecuación 14

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Ec. 14

Para una muestra de $n = 20$ se obtuvo el promedio de los puntajes del factor de control dando como resultado $\bar{X} = 8,15$, aplicando la Ecuación 14 se determina.

$$S = 0,4322$$

Para calcular el valor del parámetro t se aplica la Ecuación 15. (Montgomery, 1996)

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

- \bar{X} = Promedio de los valores medios
- μ_0 = Valor esperado

Se reemplazan los datos y se obtiene:

$$t = 0.517$$

Para un nivel de significancia de 0.05 y una muestra de $n = 20$, de acuerdo a la tabla del Anexo D, se tienen un valor de $t_\alpha = 1.729$. Aplicando las condiciones de validación que se muestran en la Tabla 24 se tiene que:

$$t > -t_\alpha$$

$$0,517 > -1,729$$

Por consiguiente, el puntaje del factor de control es mayor al 90%, y se puede manifestar que el control dentro entorno virtual es alto.

5.1.2. Validación de la hipótesis para el factor de realismo por el método T-Student

Para la validación del factor de realismo se plantearon las siguientes hipótesis nula y alternativa:

H0: El puntaje del factor de realismo en la estación holográfica es igual al 90% del puntaje máximo, siendo el valor máximo 5 de la escala cuantitativa.

$$\mu_0 = 4.5$$

H1: El puntaje del factor de realismo en la estación holográfica es mayor al 90% del puntaje máximo.

$$\mu_0 > 4.5$$

Se toma el número de muestras y el valor promedio del factor de realismo de la Tabla 23 el cual representa el puntaje medido de este factor.

Para una muestra de $n = 20$ se obtuvo el promedio de los puntajes del factor de realismo dando como resultado $\bar{X} = 4,51$, aplicando la Ecuación 14 se determina.

$$S = 0,2217$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 15 se encuentra el valor de distribución T-Student.

$$t = 0.2016$$

Para un nivel de significancia de 0.05 y una muestra de $n = 20$ de acuerdo a la tabla del Anexo D se tienen un valor de $t_{\alpha} = 1.729$. Aplicando las condiciones de validación que se muestran en la Tabla 24 se tiene que:

$$t > -t_{\alpha}$$

$$0,2016 > -1,729$$

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, el puntaje del factor de realismo es mayor al 90%, y se puede manifestar que el nivel de realismo dentro del entorno virtual es alto.

5.1.3. Validación de la hipótesis para el factor de distracción por el método de T-Student

Para la validación del factor de distracción se planteó las siguientes hipótesis nula y alternativa:

H0: El puntaje del factor de distracción en la estación holográfica es igual al 40% del puntaje máximo, siendo 4 el valor máximo de la escala cuantitativa.

$$\mu_0 = 1,6$$

H1: El puntaje del factor de distracción en la estación holográfica es menor al 40% del puntaje máximo.

$$\mu_0 < 1,6$$

Se toma el número de muestras y el valor promedio del factor de distracción de la Tabla 23 el cual representa el puntaje medido del factor de distracción.

Para una muestra de $n = 20$ se obtuvo el promedio de los puntajes del factor de distracción dando como resultado $\bar{X} = 0,28$, aplicando la Ecuación 14 se determina.

$$S = 0,388$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 15 se encuentra el valor de distribución T-Student.

$$t = -15,20$$

Para un nivel de significancia de 0.05 y una muestra de $n = 20$ de acuerdo a la tabla del Anexo D se tienen un valor de $t_{\alpha} = 1.729$. Aplicando las condiciones de validación que se muestran en la Tabla 24 se tiene que:

$$t < t_{\alpha}$$

$$-15.79 < 1,729$$

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, el puntaje del factor de distracción es menor al 40%, y se puede afirmar que el nivel de distracción por factores en el mundo real es bajo durante el uso de la estación holográfica.

Una vez validados los datos obtenidos para cada uno de los factores y haber conseguido un resultado positivo, se concluye que la estación holográfica controlada mediante gestos funciona de manera adecuada, permitiendo al usuario tener el control sobre el entorno virtual interactivo con un nivel de realismo aceptable y una baja probabilidad a distraerse con elementos del mundo real.

Resultados de la aceptación del sistema

Para comprobar la aceptación del sistema se formuló cinco preguntas al final de cada encuesta, los resultados fueron graficados y analizados como se muestran a continuación:

Pregunta 19:

- ¿Estima usted que la información en las interfaces de usuario ayuda con el aprendizaje del estudiante?

Análisis: Como se observa en la Figura 71, de un total de veinte estudiantes encuestados, trece escogieron la opción de acuerdo equivalente a un 65% de la población total, cuatro seleccionaron muy de acuerdo equivalente al 20% de la población y tres escogieron indiferente.

Conclusión: Una cantidad superior al cincuenta por ciento de los estudiantes encuestados afirman que las interfaces de usuario del ambiente interactivo si ayudan al aprendizaje.

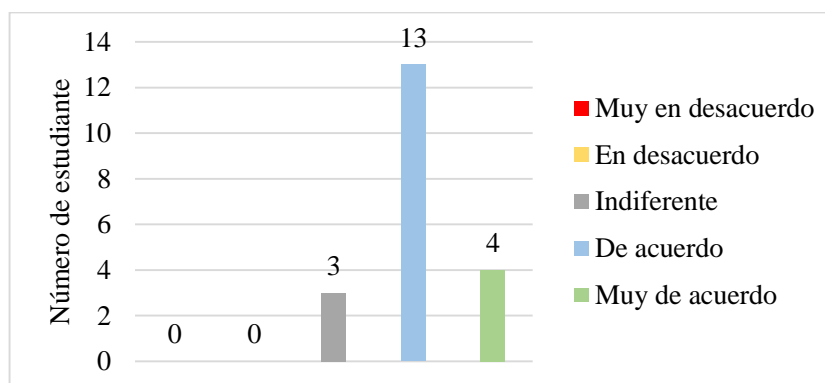


Figura 71. Resultados en la pregunta 19 de la encuesta

Pregunta 20:

- ¿Considera que la información en los videos tutoriales es suficiente para comprender el uso de la estación?

Análisis: Como se observa en la Figura 72, de un total de veinte estudiantes encuestados, trece escogieron la opción de acuerdo equivalente a un 65% de la población total y tres escogieron muy de acuerdo equivalente a un 35% de la población total.

Conclusión: Gran parte de los estudiantes encuestados concuerdan que la información brindada por los videos tutoriales es suficiente para poder usar la estación.

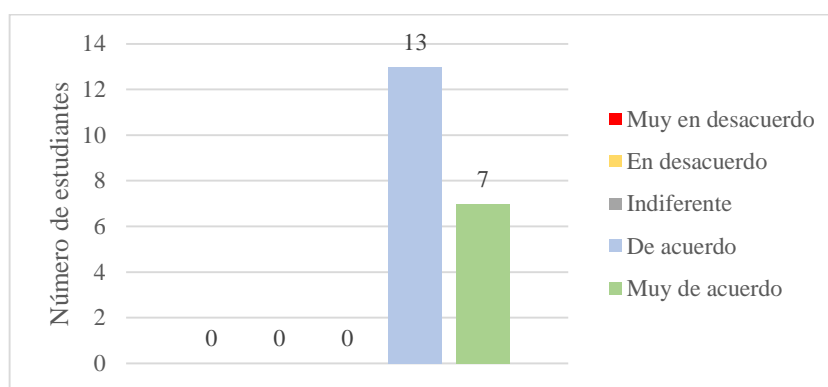


Figura 72. Resultados de la pregunta 20 de la encuesta

Pregunta 21:

- ¿Considera usted que la estación es fácil de usar?

Análisis: Como se muestra en la Figura 73, de un total de veinte estudiantes encuestados, tres escogieron la opción en desacuerdo equivalente a un 15% de la población total, cuatro indiferente equivalente a un 20% de la población total, diez de acuerdo equivalente a un 50% de la población total y tres muy desacuerdo equivalentes a un 15% de la población total.

Conclusión: La estación de proyección holográfica tiene una facilidad de uso alta, en virtud que solo un porcentaje reducido de estudiantes manifestaron lo contrario.

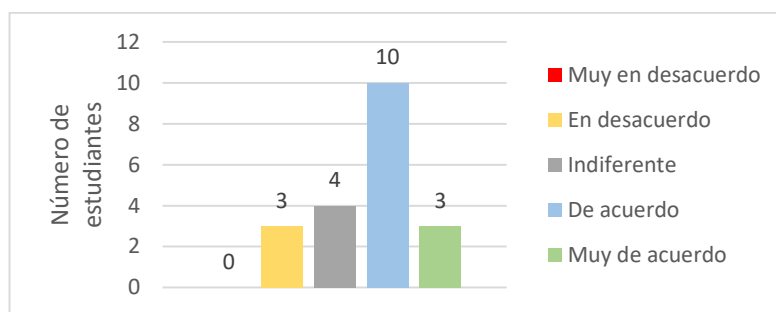


Figura 73. Resultados de la pregunta 21 de la encuesta

Pregunta 22:

- ¿Cree usted que el uso de la estación holográfica complementa el conocimiento sobre las estaciones didácticas del laboratorio?

Análisis: Como se observa en la Figura 74, de un total de veinte estudiantes encuestados, dieciséis escogieron la opción de acuerdo equivalente a un 80% de la población total y cuatro escogieron muy de acuerdo equivalente a un 20% de la población total.

Conclusión: El uso de la estación holográfica si complementa el conocimiento sobre las estaciones didácticas existentes en el laboratorio de mecatrónica mediante la interacción con el modelo 3D de la estación de manipulación neumática y la información presentada en la interfaz de usuario.

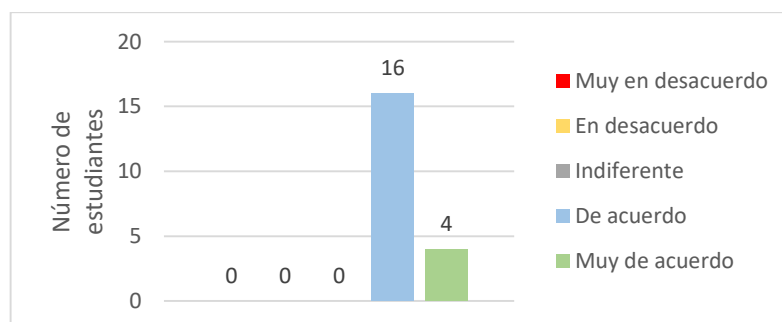


Figura 74. Resultados de la pregunta 22 de la encuesta

Pregunta 23:

- ¿Considera usted que pese a que la estación modelada no se encuentra físicamente en el Laboratorio de Mecatrónica fue capaz de entender su funcionamiento e identificar sus componentes?

Análisis: Como se observa en la Figura 75, de un total de veinte estudiantes encuestados, tres escogieron la opción indiferente equivalente a un 15% de la población total, doce seleccionaron de acuerdo equivalente a un 60% de la población y cinco escogieron indiferente equivalente a un 25% de la población.

Conclusión: La mayoría de estudiantes encuestados fueron capaces de comprender el funcionamiento de la estación modelada en el entorno virtual pese a no existir físicamente en el laboratorio de mecatrónica.

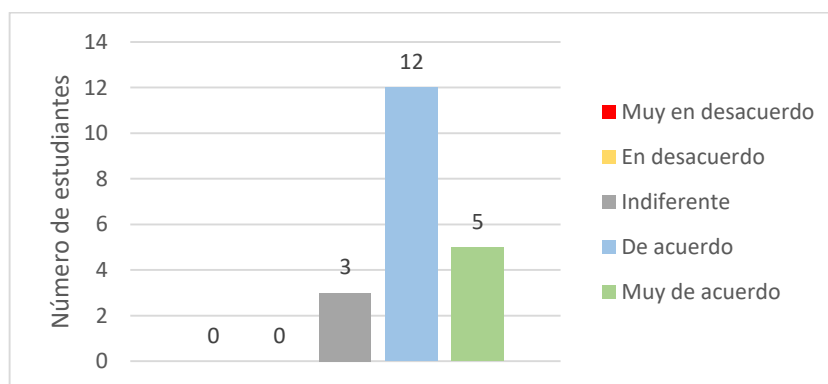


Figura 75. Resultados de la pregunta 23 de le encuesta

Pregunta 24:

- ¿Cree usted que para mejorar el aprendizaje de los estudiantes se debería implementar más de estas estaciones en el laboratorio?

Análisis: Como se muestra en la Figura 76, de un total de veinte estudiantes encuestados, tres escogieron la opción en desacuerdo equivalente a un 15% de la población total, dos indiferente equivalente a un 10% de la población total, siete de acuerdo equivalente a un 35% de la población total y ocho muy de acuerdo equivalentes a un 40% de la población total.

Conclusión: La mayoría de estudiantes concuerdan que se debería implementar más de estas estaciones para mejorar el proceso de aprendizaje sobre los elementos que componen las estaciones didácticas en el laboratorio de mecatrónica.

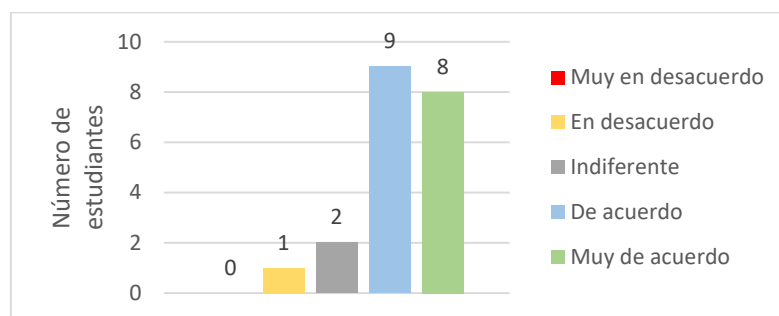


Figura 76. Resultados de la pregunta 24 de la encuesta

Conforme lo demuestra el análisis cualitativo el impacto que tuvo el usar el sistema fue alto ya que una gran parte de los estudiantes han manifestado que la estación ayuda a adquirir o complementar los conocimientos sobre las estaciones didácticas que existen, así como también poder observar he interactuar con un modelo CAD de aquellos modelos de estaciones didácticas que no se encuentran físicamente en el laboratorio de mecatrónica.

5.2. Validación de la Hipótesis

Validado el correcto funcionamiento y aceptación de la estación holográfica controlada mediante gestos se procede a validar la hipótesis planteada en el proyecto para lo cual se utilizó el método de Rho Sepearman para medir el nivel de correlación que existe entre los factores

analizados, ya que estos datos no están normalizados entre sí; se consideran los factores de interacción, realismo y distracción.

La hipótesis planteada en el proyecto es:

- ¿El diseño e implementación de una estación holográfica controlada mediante gestos permitirá interactuar con un modelo 3D?

Para interpretar los datos obtenidos mediante el método de Rho Sepearman se consideran que los signos de los parámetros establecidos por Ortega (2009) en su artículo los cuales se muestran en la Tabla 25 si son positivos indican una correlación directamente proporcional, y si son negativos presentan una correlación inversamente proporcional.

Tabla 25.

Rango de correlación de Sepearman

Escala	Rango de relación
0,00 – 0,25	Escasa o nula
0,26 – 0,50	Débil
0,51 – 0,75	Entre moderada y fuerte
0,76 – 1,00	Entre fuerte y perfecta

Fuente: (Martínez Ortega & Otros, 2009)

Para comenzar el análisis se consideran los datos obtenidos en la Tabla 23, y para la obtención de la matriz de correlación se procesan estos datos con la ayuda un software de tareas financieras y contables, obteniendo los resultados que muestran en la Tabla 26.

Tabla 26.

Matriz de correlación

	<i>Factor de control</i>	<i>Factor de realismo</i>	<i>Factor de distracción</i>
<i>Factor de control</i>	1		
<i>Factor de realismo</i>	0,528476837	1	
<i>Factor de distracción</i>	-0,580834955	-0,36706624	1

Con los resultados obtenidos y considerando los parámetros de la Tabla 25 se interpreta lo siguiente:

- La correlación entre el factor de control y el factor de realismo es moderada y positiva.
- La correlación entre el factor de control y el factor de distracción es moderada y negativa.
- La correlación entre el factor de realismo y el factor de distracción es débil y negativa.

Con estos datos en base a las definiciones presentadas en la sección 5 se puede argumentar que en la estación holográfica controlada mediante gestos mientras exista un buen control sobre el movimiento y los objetos dentro del ambiente interactivo se elevará el nivel de realismo que este proporciona al usuario y disminuirá así las distracciones que se pueden presentar en el mundo real.

Por lo tanto, al haber comprobado que el funcionamiento del sistema es correcto y que existe un grado de correlación entre los factores de control, realismo y distracción. Se concluye que el diseño e implementación de una estación holográfica controlada mediante gestos permite la interactuar con un modelo 3D validando de esta manera la hipótesis del proyecto.

Ademas se pudo apreciar que a medida que los estudiantes se familiarizaban con el entorno el tiempo empleado para colocar las piezas disminuía.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El sistema cuenta con un dispositivo Leap Motion, este sensor es de tamaño reducido por lo cual puede funcionar incluso en entornos con poco espacio de trabajo y de una manera fiable, permite detectar de manera acertada la anatomía, movimientos, velocidades, posiciones y gestos realizados por las manos del usuario; tiene un área de trabajo con dimensiones 110.55 x 110.55 x 69.43 mm.
- El principio de Fermat y la ley de la reflexión son elementos esenciales de la óptica que permiten analizar y entender el comportamiento de la luz al transferirse de una superficie a otra, bajo estos principios se construyó el medio donde se proyectan las imágenes holográficas siendo este una estructura con la forma de una Z con una inclinación de 30 grados con respecto al dispositivo de proyección de imagen debido que esta configuración permitió desarrollar una interacción directa entre el usuario y el holograma.
- Mediante el uso de herramientas computacionales se modeló una estación didáctica inexistente en el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, compartiendo similares características a las de una estación de manipulación neumática, el modelo fue exportado desde el software CAD hacia un software de diseño gráfico permitiendo generar un archivo compatible con la plataforma Unity, en donde se generaron las distintas animaciones e interacciones con las piezas que conforman el modelo 3D de la estación utilizando un alto coste computacional.

- Mediante el SDK para la plataforma Unity proporcionado por los desarrolladores del dispositivo Leap Motion y a través del módulo “Core” se logró comunicar el sensor de detección de gestos con el motor de videojuegos, a través de una correcta construcción y configuración de una plataforma de control que adquiere todos los datos enviados por el hardware y los envía para su procesamiento mediante el lenguaje de programación orientado a objetos permitiendo así el desarrollo de un ambiente interactivo y controlado mediante gestos.
- Conforme a los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a los estudiantes que manipularon la estación de proyección holográfica se verificó el correcto funcionamiento de la misma a través del análisis de tres factores presentes en un sistema inversivo como son el control, el realismo y la distracción con lo cual se determinó que al existir un buen control mejora el realismo del entorno virtual y reduce la probabilidad que el usuario se distraiga con perturbaciones del mundo real.

6.2. Recomendaciones

- Tener en cuenta la cantidad de objetos con lo que se pretende interactuar dentro del entorno virtual debido a que el dispositivo Leap Motion consume muchos recursos computacionales haciendo que la fluidez de gráficos se vea disminuida.
- Considerar la perspectiva de enfoque de la cámara del motor de videojuegos ya que esto puede generar conflictos de visualización con el entorno de interacción.
- Generar el holograma en un ambiente cerrado y con poca luz para tener una mejor calidad de gráficos reflejados.
- Adecuar la estructura para que su variación de altura sea de manera sencilla utilizando rieles.
- Montar el dispositivo Leap Motion sobre un riel de desplazamiento a lo largo del eje Y para facilitar el posicionamiento del sensor.
- Buscar un sensor de detección de gestos que posea una mayor sensibilidad a la interacción con objetos debido a que presenta una complicada interacción con los objetos.
- Rediseñar la estructura para que se pueda utilizar el ángulo de reflexión total sin afectar el nivel de interacción con el holograma.
- Buscar un método con el cual se pueda realizar un mejor templado al material reflectante para mejorar la calidad visual del holograma.
- Rediseñar la superficie de reflexión para que se pueda cambiar de manera fácil el material reflectante en caso de que sufra daños.
- Practicar el uso del sensor Leap Motion para facilitar la interacción con los objetos 3D.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOC. (23 de Agosto de 2014). Recuperado el 15 de enero de 2019, de Especificaciones: Monitor AOC: <ftp://ftp.abcddata.com.pl/AOC/Guide/FT700/ESPANOL/FT700/SPECS/specs.htm>
- AOC. (12 de Julio de 2015). Recuperado el 20 de Febrero de 2019, de Especificaciones: Monitor color de la serie AOC: <ftp://ftp.abcddata.com.pl/AOC/Guide/FT700/ESPANOL/FT700/SPECS/specs.htm>
- Belda, J. (19 de Mayo de 2015). *ShowLeap Technologies*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Lep Motion: <http://blog.showleap.com/category/leap-motion/>
- Bob G., W., & Michael J., S. (03 de Junio de 1998). *Publications*. Recuperado el 18 de Marzo de 2019, de Measuring Presence in Virtual Enviromet: A Presence Questionnaire: https://nil.cs.uno.edu/publications/papers/witmer1998measuring.pdf?fbclid=IwAR0aGAsitFWSixbUVaZvKyaykB_Lr43yEJuhiZCQc8k-0rOv0Hp9WuLxth0
- Carpio, S. (18 de Julio de 2014). *Prezzi*. Recuperado el 12 de Febero de 2019, de Ventajas y desventajas de Kinect: <https://prezi.com/mmqtki1p6awx/desventajas-de-kinect/>
- CEDAL. (17 de Junio de 2014). *Catálogo de perfiles estructurales*. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de <http://www.cedal.com.ec/categorias/perfiles-de-aluminio.html>
- Chisholm, L. (15 de Noviembre de 2017). *YOYOGAME*. Recuperado el 05 de Marzo de 2019, de GameMaker Studio 2 Creator Edition: <https://www.yoyogames.com/blog/453/new-gamemaker-studio-2-creator-edition>
- David. (15 de Marzo de 2017). *APRENDEGAMEMAKER*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Qué es Game Maker Studio: <https://www.aprendegamemaker.com/introduccion-game-maker-studio-2/>
- Digi-Key. (05 de Julio de 2017). *Digi-Key Electronics*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Usar gestos para controlar cualquier sistema: <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2017/jul/use-gestures-to-control-any-system>
- Digitremor. (8 de Agosto de 2015). *Digitremor*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Requerimientos e instalación de Unreal Engine 4: <http://www.digitremor.com/?p=4107>
- Eduardo Pardos. (12 de Marzo de 2017). Recuperado el 19 de Enero de 2019, de Unreal Engine 4, el motor gráfico que ofrece realismo al máximo: <http://www.baboonlab.com/blog/noticias-de-marketing-inmobiliario-y-tecnologia-1/post/unreal-engine-4-el-motor-grafico-que-ofrece-realismo-al-maximo-23>

- Fergaciac. (25 de enero de 2013). *wordpress*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Entorno de desarrollo integrado: <https://fergaciac.wordpress.com/2013/01/25/entorno-de-desarrollo-integrado-ide/>
- Fernández, J. L. (15 de Febrero de 2015). *FISICALAB*. Recuperado el 16 de Marzo de 2019, de Reflexión y Refracción de la Luz: <https://www.fiscalab.com/apartado/reflexion-refraccion-luz#contenidos>
- García, Á. F. (10 de Octubre de 2016). *sc.ehu.es*. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de El principio de Fermat: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/ondas/fermat/fermat.html>
- Gutierrez, D. (29 de Agosto de 2014). *Prezzi*. Recuperado el 04 de Marzo de 2019, de Exposición Leap Motion: <https://prezi.com/ya8sfcw3egcj/exposicion-leap-motion/>
- Holocenter. (17 de Septiembre de 2016). *What is a hologram*. Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de <http://holocenter.org/what-is-holography>
- InfoRepuestos. (29 de Octubre de 2016). Recuperado el 17 de Febrero de 2019, de Pantallas Led, LCD y Plasma (Ventajas y Desventajas): <https://inforepuesto.com/pantallas-led-lcd-y-plasma-ventajas-y-desventajas/>
- Jeong, A. (23 de Mayo de 2014). *INTEGRAF*. Recuperado el 20 de Marzo de 2019, de What Are the Main Types of Holograms?: <https://www.integraf.com/resources/articles/a-main-types-of-holograms/>
- Leap Motion. (06 de Noviembre de 2017). *What is the Leap Motion Controller?* Recuperado el 23 de Marzo de 2019, de <https://support.leapmotion.com/hc/en-us/articles/223783728-What-is-the-Leap-Motion-Controller->
- Leap Motion. (11 de Junio de 2018). *github*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de Unity Modules Leap Motion's Unity SDK 4.4.0: <https://leapmotion.github.io/UnityModules/core.html>
- Lopez, L. (22 de Noviembre de 2014). *Arquitectura de los computadores*. Recuperado el 21 de Marzo de 2019, de Monitores: <https://arquitecturacomputadoreshoy.wordpress.com/2014/11/22/monitores/>
- Martínez Ortega, R. M., & Otros. (12 de Junio de 2009). *Scielo*. Recuperado el 19 de Junio de 2019, de El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&fbclid=IwAR1i3lFpDgWhwQrkYf4A_W9kv5111Omn3EW9COnjaO0nCrotHN30YHrsjh0
- Montgomery, D. (1996). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. México: Continental S.A. de C.V. México.

- Montserrat, M. (28 de Enero de 2014). *Kinect For Developers*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Características Kinect 2: <http://www.kinectfordevelopers.com/es/2014/01/28/caracteristicas-kinect-2/>
- Murillo, Alejandro. (6 de Noviembre de 2015). *Kinect For Developers*. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <http://www.kinectfordevelopers.com/es/2012/11/06/que-es-el-dispositivo-kinect/>
- Olomagic. (14 de Marzo de 2017). *Holographic Showcase*. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <https://www.olomagic.com/olomagic-90/>
- Olomagic. (15 de Febrero de 2017). *Olomagic 180 grados*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de <https://www.olomagic.com/es/olomagic-180-degrees/>
- Pellat, M. A. (22 de Mayo de 2018). *Ruiz-Healy Times*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de La revolución del reconocimiento gestual: <https://www.ruizhealytimes.com/ciencia-y-tecnologia/la-revolucion-del-reconocimiento-gestual>
- Penalva, J. (28 de Mayo de 2008). *Xataka*. Recuperado el 15 de Febrero de 2019, de Cómo funciona un televisor plasma: <https://www.xataka.com/alta-definicion/como-funciona-un-televisor-de-plasma>
- Penalva, J. (5 de Junio de 2008). *Xataka*. Recuperado el 17 de Marzo de 2019, de Como funciona un televisor LED: <https://www.xataka.com/alta-definicion/como-funciona-un-televisor-lcd>
- Redacción Salud. (17 de Abril de 2017). *Realidad virtual, ¿qué tan perjudicial para nuestra salud?* Recuperado el 14 de Enero de 2019, de El Espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/salud/realidad-virtual-tan-perjudicial-nuestra-salud-articulo-627624>
- Samsung. (17 de Junio de 2017). *icecat*. Recuperado el 17 de Enero de 2019, de Samsung LN19C350D1D LCD: <https://icecat.biz/p/samsung/ln19c350d1dxza/lcd-LN19C350D1D-8168302.html>
- Searcy, M. (Febrero de 2015). *Uchicago Magazine*. Recuperado el 12 de Abril de 2019, de Hologram Reflection: <https://mag.uchicago.edu/science-medicine/hologram-reflection>
- Shibuya, M. (16 de Mayo de 2015). *IDIS*. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de Unity: <https://proyectoidis.org/unity3d/>
- Three D Hologram. (25 de Agosto de 2016). *Holographic Box*. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <http://www.threedholograms.com/holobox.html>
- Ulrich, K. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. Mexico: Mc Graw Hill Education.

- Unity. (2019). *Unity Technologies*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Unity 2019: Rendimiento de manera predeterminada, herramientas para artistas y rendrización de próxima generación: <https://unity3d.com/es/unity>
- Unity. (2019). *Unity Technologies*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de Plataforma líder en la industria: <https://unity3d.com/es/unity/features/multiplatform>
- Usera, J. D. (26 de Agosto de 2018). *HardZone*. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de VGA, DVI, HDMI o DisplayPort: qué diferencias hay entre las principales salidas de vídeo: <https://hardzone.es/2018/08/26/vga-dvi-hdmi-displayport-salidas-video/>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **SALAZAR QUISPE, EUCLIDES DANIEL**

En la ciudad de Latacunga, a los 8 días del mes de julio del 2019.

Aprobado por:

Ing. Rea Minango, Sylvia Nathaly

DIRECTORA DEL PROYECTO



Ing. Darío Mendoza Chipantasi

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

SECRETARIO ACADÉMICO

