



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**“SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL A TRAVÉS DEL  
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN ENTORNOS SUBMARINOS”**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR: JOHNNY OMAR GANAN MARTÍNEZ**

**DIRECTOR: Ing. HUGO MORENO AVILÉS, PhD.**

Riobamba-Ecuador

2020

**@2020, Johnny Omar Ganan Martínez**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Johnny Omar Ganan Martínez declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de junio de 2020

**Johnny Omar Ganan Martínez**  
**180471945-6**

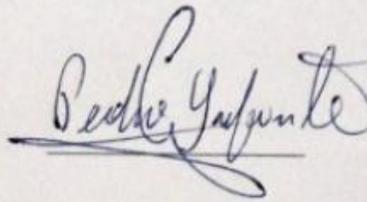
**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, **SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL A TRAVÉS DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN ENTORNOS SUBMARINOS**, realizado por el señor **JOHNNY OMAR GANAN MARTÍNEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

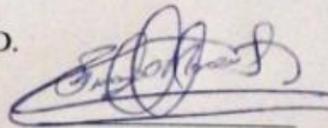
FECHA

Ing. Pedro Severo Infante Moreira  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



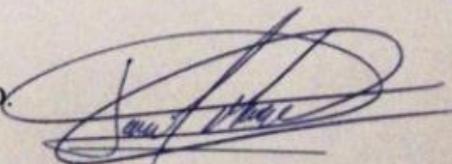
16/07/2020

Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**



15/07/2020

Ing. Paul David Moreno Avilés, PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



15/07/2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación es dedicado para Dios, la Virgen María Santísima, y al Doctorcito San Buenaventura por iluminarme y bendecirme en toda la trayectoria de mi carrera. Dedico además esta meta cumplida a mis padres Julio Ganan y Laura Martínez quienes con firmeza me supieron guiar y sembrar en mi valores y principios, por acompañarme en cada paso de mi vida y por cuidar de mi persona durante todo mi existir. A mis hermanos Jessenia, Monserrat y Erick quienes son mis compañeros de vida y me ayudaron a no rendirme en los momentos más difíciles de igual manera a mi hermana Elizabeth a quien tanto extraño y espero que Dios la tenga en su gloria y donde quiera que ella este me cuide y me bendiga en mi vida profesional. A mi tía y segunda madre Juana Martínez por estar presente en toda mi vida apoyándome. A mis primos Stalin y Sebastián que siempre han estado presentes como hermanos. A mis demás familiares y amigos que siempre los tengo presentes.

**Omar**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios, la Virgen María Santísima, y al Doctorcito San Buenaventura por todas las bendiciones recibidas dentro y fuera de mis estudios. Agradezco a mi majestuosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que fue mi segunda casa la cual desde que llegué me acogió como uno más de sus hijos en donde no solo obtuve grandes conocimientos, también buenos amigos y los valores éticos del profesionalismo. A todo el personal de la Facultad de Informática y Electrónica por brindarme la sabiduría y virtudes para mi vida profesional. Al Instituto de Investigaciones por mantener siempre las puertas abiertas en el transcurso de mi trabajo de titulación.

Agradezco de manera especial al Ing. Hugo Moreno director del trabajo de titulación por la confianza, por brindarme sus conocimientos y guiarme en el desarrollo, de igual manera al Ing. David Moreno por su plena disposición en aportar de su tiempo y conocimientos.

Agradezco a mis padres Julio Ganan y Laura Martínez por apoyarme durante toda mi vida, a mis hermanos Elizabeth, Jessenia, Monserrat y Erick por estar siempre a mi lado, A mis amigos Lisbeth, Ramiro y Cinthya por su amistad y acompañarme durante mi carrera universitaria. A mis demás familiares y amigos por el apoyo que recibí de cada uno de ellos.

**Omar**

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	8
1.1 Realidad virtual.....	8
1.1.1 <i>Estudios sobre Realidad Virtual</i> .....	9
1.2 Dron submarino.....	10
1.2.1 <i>Dron Submarino Nemo</i> .....	12
1.2.2 <i>Dron Submarino fi-fish v6</i> .....	13
1.3 Gafas de Realidad Virtual.....	14
1.3.1 <i>Gafas HTC Vive</i> .....	15
1.3.2 <i>Gafas Oculus Rift</i> .....	16
1.3.3 <i>Gafas de realidad virtual para smartphone</i> .....	18
1.4 Software de Preprocesamiento de imagenes.....	19
1.4.1 <i>Matlab</i> .....	19
1.4.1.1 <i>Matlab e Image Processing Toolbox</i> .....	19
1.5 Software de Procesamiento (Fotogrametría) de imagenes.....	20
1.5.1 <i>Agisoft Metashape</i> .....	20
1.5.1.1 <i>Herramientas de Agisoft Metashape</i> .....	21

1.5.2	<b>Pix4D</b> .....	22
1.5.2.1	<i>Herramientas de Pix4D</i> .....	23
1.6	<b>Software de Modelado 3D</b> .....	23
1.6.1	<b>Software Blender</b> .....	24
1.6.1.1	<i>Características de Blender</i> .....	24
1.7	<b>Motor de Realidad Virtual o de Desarrollo</b> .....	25
1.7.1	<b>Unity 3D</b> .....	25
1.7.1.1	<i>Características de Unity3D</i> .....	26
1.7.2	<b>Unreal Engine</b> .....	26
1.7.2.1	<i>Características de Unreal Engine</i> .....	27
1.8	<b>Imágenes</b> .....	28
1.8.1	<b>Definición de Imagen</b> .....	28
1.8.1.1	<i>Imagen Digital</i> .....	28
1.8.2	<b>Procesamiento digital de imágenes</b> .....	28
1.8.3	<b>Mejoramiento de imágenes con baja luz</b> .....	29
1.8.3.1	<i>Invertir Imagen</i> .....	30
1.8.3.2	<i>Eliminación de turbidez</i> .....	31
1.8.4	<b>Fotogrametría</b> .....	31
1.8.4.1	<i>Planificación y recolección de datos</i> .....	32
1.8.4.2	<i>Calibración de Cámara</i> .....	33
1.8.4.3	<i>SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)</i> .....	34
1.8.4.4	<i>Geometría Epipolar</i> .....	34
1.8.4.5	<i>Orientación externa</i> .....	35
1.8.4.6	<i>Triangulación</i> .....	35
1.8.4.7	<i>Superficie TIN</i> .....	36
1.8.4.8	<i>Mapas de profundidad</i> .....	36

## CAPÍTULO II

2	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	38
2.1	<b>Selección de Dispositivos hardware y software</b> .....	38

2.1.1	<i>Selección del Dron submarino.....</i>	38
2.1.2	<i>Selección de Gafas de Realidad Virtual.....</i>	39
2.1.3	<i>Selección del software de procesamiento de imágenes.....</i>	39
2.1.4	<i>Selección del motor de Realidad Virtual.....</i>	40
2.2	<b>Algoritmo para reconstrucción del entorno submarino.....</b>	41
2.3	<b>Planificación y toma de datos submarinos.....</b>	42
2.3.1	<i>Características necesarias que se obtienen del dron Nemo.....</i>	42
2.3.2	<i>Limitaciones del dron Nemo.....</i>	43
2.3.3	<i>Planificación de la toma de datos.....</i>	43
2.3.4	<i>Recolección de datos.....</i>	44
2.4	<b>Preprocesamiento de imágenes.....</b>	45
2.4.1	<i>Guide en Matlab.....</i>	45
2.5	<b>Procesamiento de imágenes submarinas.....</b>	48
2.5.1	<i>Configuraciones Iniciales en Agisoft.....</i>	49
2.5.2	<i>Cargar Imagenes Submarinas En Agisoft.....</i>	50
2.5.3	<i>Alinear imágenes.....</i>	51
2.5.4	<i>Construcción de nube de puntos Densa del entorno submarino.....</i>	53
2.5.5	<i>Generación de la malla del entorno submarino.....</i>	55
2.5.5.1	<i>Editar malla poligonal.....</i>	57
2.5.6	<i>Generación de la textura para el modelo del entorno submarino.....</i>	58
2.5.7	<i>Exportar modelo a Unity3D.....</i>	60
2.6	<b>Modelado de objetos virtuales en Blender.....</b>	61
2.7	<b>Realidad virtual submarina unity3D.....</b>	65
2.7.1	<i>Creación del menú de Inicio ESPOCH.....</i>	65
2.7.1.1	<i>Generación del gameobject Canvas.....</i>	66
2.7.1.2	<i>Diseño del panel del menú inicio ESPOCH.....</i>	67
2.7.2	<i>Creación del menú de los entornos submarinos (underwater).....</i>	67
2.7.2.1	<i>Diseño del panel del menú underwater.....</i>	68
2.7.3	<i>Generación de la primera escena underwater.....</i>	69
2.7.4	<i>Generación de la segunda escena underwater.....</i>	70
2.7.4.1	<i>Creación de visión estereoscópica en unity.....</i>	70

<b>2.7.4.2</b>	<i>Prueba de funcionamiento de la visión estereoscópica</i> .....	71
<b>2.7.5</b>	<b>Generación de la tercera escena underwater</b> .....	72
<b>2.7.5.1</b>	<i>Creación de waypoints</i> .....	72
<b>2.7.5.2</b>	<i>Añadir Sonido a la escena</i> .....	73
<b>2.7.5.3</b>	<i>Importación de objetos a la escena y script para waypoints</i> .....	73
<b>2.7.5.4</b>	<i>Script para sensor giroscopio y pruebas de funcionamiento</i> .....	74

### **CAPÍTULO III**

<b>3</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	75
<b>3.1</b>	<b>Validación del sistema de realidad virtual por medio de una encuesta</b> .....	75
<b>3.2</b>	<b>Discusión de resultados</b> .....	83
<b>3.3</b>	<b>Análisis económico del sistema de realidad virtual</b> .....	84

	<b>CONCLUSIONES</b> .....	85
--	---------------------------	----

	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	86
--	------------------------------	----

### **GLOSARIO**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Parámetros de selección de Dron.....	11
<b>Tabla 2-1:</b>	Especificaciones Dron Submarino Nemo.....	12
<b>Tabla 3-1:</b>	Especificaciones Dron Fi-Fish V6.....	14
<b>Tabla 4-1:</b>	Gafas de Realidad Virtual.....	14
<b>Tabla 5-1:</b>	Especificaciones HTC VIVE.....	16
<b>Tabla 6-1:</b>	Especificaciones Gafas OCULUS RIFT.....	17
<b>Tabla 7-1:</b>	Especificaciones necesarias de un smartphone para RV .....	18
<b>Tabla 8-1:</b>	Parámetros de Selección de Software de Procesamiento.....	20
<b>Tabla 9-1:</b>	Requerimientos de PC para Agisoft.....	21
<b>Tabla 10-1:</b>	Herramientas Agisoft Metashape.....	22
<b>Tabla 11-1:</b>	Requerimientos Mínimos de PC para Pix4D.....	23
<b>Tabla 12-1:</b>	Funciones de Pix4D.....	23
<b>Tabla 13-1:</b>	Características necesarias para Blender.....	24
<b>Tabla 14-1:</b>	Parámetros de selección del Motor de Realidad Virtual.....	25
<b>Tabla 15-1:</b>	Características de Unity3D.....	26
<b>Tabla 16-1:</b>	Características de Unreal Engine.....	27
<b>Tabla 17-1:</b>	Fases para realizar fotogrametría.....	31
<b>Tabla 1-2:</b>	Selección del dron submarino.....	38
<b>Tabla 2-2:</b>	Selección de gafas de realidad virtual.....	39
<b>Tabla 3-2:</b>	Selección del software de procesamiento.....	39
<b>Tabla 4-2:</b>	Selección del motor de Realidad Virtual.....	40
<b>Tabla 5-2:</b>	Especificaciones necesarias del Dron Submarino Nemo.....	42
<b>Tabla 6-2:</b>	Pasos de Procesamiento de imagenes submarinas.....	48
<b>Tabla 7-2:</b>	Parámetros de <i>Align Photos</i> .....	51
<b>Tabla 8-2:</b>	Parámetros de <i>Build Dense Cloud</i> .....	53
<b>Tabla 9-2:</b>	Parámetros de <i>Build Mesh</i> .....	55
<b>Tabla 10-2:</b>	Parámetros de <i>Build Texture</i> .....	59
<b>Tabla 11-2:</b>	Pasos de la interfaz de RV.....	65
<b>Tabla 1-3:</b>	Preguntas de evaluación del sistema.....	75

<b>Tabla 2-3:</b>	Primera prejunta.....	76
<b>Tabla 3-3:</b>	Segunda pregunta.....	77
<b>Tabla 4-3:</b>	Tercera pregunta.....	77
<b>Tabla 5-3:</b>	Cuarta Pregunta.....	78
<b>Tabla 6-3:</b>	Quinta pregunta.....	79
<b>Tabla 7-3:</b>	Sexta pregunta.....	80
<b>Tabla 8-3:</b>	Séptima pregunta.....	80
<b>Tabla 9-3:</b>	Octava pregunta.....	81
<b>Tabla 10-3:</b>	Novena pregunta.....	82
<b>Tabla 11-3:</b>	Decima pregunta.....	83
<b>Tabla 12-3:</b>	Validación.....	84
<b>Tabla 13-3:</b>	Análisis Económico.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Sistema de Realidad Virtual.....	9
<b>Figura 2-1:</b>	Drones Submarinos.....	11
<b>Figura 3-1:</b>	Dron Nemo.....	12
<b>Figura 4-1:</b>	Fi-Fish V6.....	13
<b>Figura 5-1:</b>	Gafas HTC VIVE.....	15
<b>Figura 6-1:</b>	Gafas OCULUS RIFT.....	17
<b>Figura 7-1:</b>	Gafas VR BOX para smartphone.....	18
<b>Figura 8-1:</b>	Interfaz de Matlab.....	19
<b>Figura 9-1:</b>	Image Processing Toolbox.....	20
<b>Figura 10-1:</b>	Agisoft Metashape.....	21
<b>Figura 11-1:</b>	Pix4D.....	22
<b>Figura 12-1:</b>	Blender y su interfaz.....	24
<b>Figura 13-1:</b>	Interfaz de Unity3D.....	25
<b>Figura 14-1:</b>	Plataformas concurrentes con unity.....	26
<b>Figura 15-1:</b>	Unreal Engine.....	27
<b>Figura 16-1:</b>	Procesamiento de Imagen por medio de Fourier.....	29
<b>Figura 17-1:</b>	Imágen submarina.....	30
<b>Figura 18-1:</b>	Imágen antes y después de ser invertida.....	30
<b>Figura 19-1:</b>	Imagen antes y posteriormente de efectuar la reducción de la turbidez.....	31
<b>Figura 20-1:</b>	Recubrimiento longitudinal, lateral y superficie que cubre una fotografía.....	32
<b>Figura 21-1:</b>	Planificación para generar volúmenes 3D.....	33
<b>Figura 22-1:</b>	Emparejamiento SIFT.....	34
<b>Figura 23-1:</b>	Geometría epipolar.....	35
<b>Figura 24-1:</b>	Triangulación por Delaunay.....	36
<b>Figura 25-1:</b>	Reconstrucción Poisson.....	37
<b>Figura 1-2:</b>	Algoritmo para reconstrucción de un entorno submarino.....	41
<b>Figura 2-2:</b>	Piscina de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .....	42
<b>Figura 3-2:</b>	Planificación de toma de datos en la piscina.....	44
<b>Figura 4-2:</b>	Recolección de imágenes submarinas.....	44

<b>Figura 5-2:</b>	Algoritmo de mejoramiento de imagen.....	45
<b>Figura 6-2:</b>	Formato Guide realizado en Matlab.....	46
<b>Figura 7-2:</b>	Resultado final Guide realizado en Matlab.....	47
<b>Figura 8-2:</b>	Imágenes mejoradas.....	47
<b>Figura 9-2:</b>	Configuraciones iniciales en Agisoft.....	49
<b>Figura 10-2:</b>	Imagenes importadas en el workspace de Agisoft.....	50
<b>Figura 11-2:</b>	Alineación de imágenes.....	52
<b>Figura 12-2:</b>	Nube de puntos dispersa.....	52
<b>Figura 13-2:</b>	Parámetros para generar la nube de puntos densa.....	54
<b>Figura 14-2:</b>	Nube de puntos densa del entorno submarino.....	54
<b>Figura 15-2:</b>	Parámetros para generar la malla.....	56
<b>Figura 16-2:</b>	Malla poligonal.....	56
<b>Figura 17-2:</b>	Malla poligonal antes y posteriormente de ser editada.....	57
<b>Figura 18-2:</b>	Calibración de Colores.....	58
<b>Figura 19-2:</b>	Generación de textura.....	59
<b>Figura 20-2:</b>	Generación de textura del entorno submarino.....	60
<b>Figura 21-2:</b>	Exportar Modelo.....	60
<b>Figura 22-2:</b>	Imagen y cubo en el Panel tridimensional de Blender.....	61
<b>Figura 23-2:</b>	Cubo deformado y transparente.....	61
<b>Figura 24-2:</b>	Modelo Base.....	62
<b>Figura 25-2:</b>	Suavizado del modelo.....	62
<b>Figura 26-2:</b>	Textura de la figura.....	63
<b>Figura 27-2:</b>	Formación de la estructura .....	63
<b>Figura 28-2:</b>	Animación de la figura.....	64
<b>Figura 29-2:</b>	Exportar en formato FBX.....	64
<b>Figura 30-2:</b>	Assets de unity3D.....	65
<b>Figura 31-2:</b>	Skybox en unity3D.....	66
<b>Figura 32-2:</b>	Creación de UI en menú inicio.....	66
<b>Figura 33-2:</b>	Menu de inicio ESPOCH y asignación de script.....	67
<b>Figura 34-2:</b>	Objetos del menú underwater.....	68
<b>Figura 35-2:</b>	Menú underwater.....	69

<b>Figura 36-2:</b>	Primera escena underwater.....	69
<b>Figura 37-2:</b>	Modelo underwater en unity.....	70
<b>Figura 38-2:</b>	Visión estereoscópica.....	71
<b>Figura 39-2:</b>	Pruebas de movimiento en el entorno submarino.....	71
<b>Figura 40-2:</b>	Objetos 3D.....	72
<b>Figura 41-2:</b>	Waypoints.....	72
<b>Figura 42-2:</b>	Sonido underwater.....	73
<b>Figura 43-2:</b>	Importación de objetos y configuración de script Mover.....	74
<b>Figura 44-2:</b>	Pruebas de giroscopio en el entorno submarino.....	74

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Análisis de la primera pregunta.....	76
<b>Gráfico 2-3:</b>	Análisis de la segunda pregunta.....	77
<b>Gráfico 3-3:</b>	Análisis de la tercera pregunta.....	78
<b>Gráfico 4-3:</b>	Análisis de la cuarta pregunta.....	79
<b>Gráfico 5-3:</b>	Análisis de la quinta pregunta.....	79
<b>Gráfico 6-3:</b>	Análisis de la sexta pregunta.....	80
<b>Gráfico 7-3:</b>	Análisis de la séptima pregunta.....	81
<b>Gráfico 8-3:</b>	Análisis de la octava pregunta.....	82
<b>Gráfico 9-3:</b>	Análisis de la novena pregunta.....	82
<b>Gráfico 10-3:</b>	Análisis de la décima pregunta.....	83

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b>	Imágen.....	28
<b>Ecuación 2-1:</b>	Matriz de imagen.....	28
<b>Ecuación 3-1:</b>	Procesamiento de una imagen.....	28
<b>Ecuación 4-1:</b>	Distancia longitudinal.....	32
<b>Ecuación 5-1:</b>	Distancia lateral.....	32
<b>Ecuación 6-1:</b>	Calibración de Cámara.....	33
<b>Ecuación 7-1:</b>	Triangulación.....	35
<b>Ecuación 1-2:</b>	Puntaje Ponderado.....	38

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Especificaciones Dron Nemo

**ANEXO B:** Código de Guide de Matlab para realizar el preprocesamiento de las imágenes

**ANEXO C:** Script del Menú ESPOCH

**ANEXO D:** Script del Menu Underwater

**ANEXO E:** Script rotateEscenario1

**ANEXO F:** Script Camera\_Move

**ANEXO G:** Script Mover

**ANEXO H:** Script Giroscopio

**ANEXO I:** Focus group experimentando con el sistema RV

**ANEXO J:** Encuesta Realizada

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo el objetivo de desarrollar un sistema de realidad virtual a través del procesamiento de imágenes en entornos submarinos, analizando algunos estudios sobre realidad virtual e investigando los distintos componentes necesarios para formar un sistema de realidad virtual tanto software como hardware en donde fueron seleccionados los que mejor se acoplaban al desarrollo del sistema, además se analizó el procesamiento de las imágenes por medio de la fotogrametría hasta formar mapas de profundidad. Para iniciar el procedimiento primero se tomó imágenes de entornos submarinos dentro del agua con la ayuda del dron submarino nemo, posteriormente se efectuó un preprocesamiento de las imágenes utilizando el software matlab para optimar su histograma y obtener más puntos coincidentes, posteriormente estas imágenes fueron llevadas hasta el software agisoft donde se procedió a efectuar el procesamiento de las imágenes hasta llegar a un modelo tridimensional (3D), lo siguiente fue efectuar un modelamiento de figuras y objetos tridimensionales utilizando el programa blender. Por último, se llevó los modelos (3D) hasta el motor de gráficos unity3D donde se combinaron para formar el sistema de realidad virtual. Posteriormente se efectuó la evaluación del desempeño y la funcionabilidad del sistema por medio de una encuesta a estudiantes de la Facultad de Informática y Electrónica y personas naturales, dando como resultado la validación del mismo. Se recomienda utilizar un smartphone de alta gama para que los gráficos sean observados con una mejor calidad.

**PALABRAS CLAVES:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA ELECTRÓNICA>, <REALIDAD VIRTUAL>, <FOTOGAMETRÍA>, <PROCESAMIENTO DE IMÁGENES>, <AGISOFT (SOFTWARE)>, <UNITY3D (SOFTWARE)>, <DRON NEMO (HARDWARE)>.



0080-DBRAI-UPT-2020

## **ABSTRACT**

The aim of this research is to develop a virtual reality system through the processing of images in underwater environments, analyzing some studies on virtual reality and investigating the various components needed to form a virtual reality system both software and hardware where they were selected that best adapted to the development of the system. In addition, the processing of the images by means of photogrammetry was analysed until depth maps were formed. To start the procedure, first images were taken of underwater environments in the water with the help of the Nemo Underwater Drone. The images were then processed using Matlab software to optimize their histogram and obtain more matching points. These images were then taken to the Agisoft software where they were processed into a three-dimensional (3D) model. The next step was to perform a three-dimensional figure and object modeling using the blender program. Finally, the (3D) models were taken to the unity 3D graphics engine, where they were combined to form the virtual reality system. Afterwards, the performance and functionality of the system was evaluated by means of a survey to students of the Faculty of Informatics and Electronics and individuals, resulting in the validation of the system. The use of High-end Smartphone is recommended so that the graphics are observed with a better quality.

**KEYWORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <ELECTRONIC ENGINEERING>, <VIRTUAL REALITY>, <PHOTOGRAMMETRY>, <IMAGE PROCESSING>, <AGISOFT (SOFTWARE)>, <UNITY3D (SOFTWARE)>, <NEMO DRONE (HARDWARE)>.

## INTRODUCCIÓN

En el área de las comunicaciones la realidad virtual es un medio de comunicación entre dos mundos enlazando a una persona del mundo físico con el mundo informático, trasladando a un usuario hasta un entorno muy distinto al real.

Los sistemas de realidad virtual son trazados en forma de entornos u objetos tridimensionales instituyéndola posibilidad de trasladarse lógicamente hasta otro lugar dando la sensación y perspectiva de estar sumergido en dicho entorno, para efectuar este proceso se utilizan distintos dispositivos tales como gafas de realidad virtual, cascos virtuales, trajes con sensores y distintos componentes que ayudan a dar una mejor visualización del panorama.

Actualmente se desarrollan distintos sistemas de realidad virtual para casi todas las áreas de la investigación como la educación, medicina, cartografía, psicología, comunicaciones, rehabilitación, robótica, automotriz, electrónica entre otras. Las grandes empresas apuestan al futuro con la realidad virtual debido que en unos años será el fuerte del desarrollo.

El desarrollo e investigación del procesamiento de imágenes para llegar a un modelado 3D conocido como la fotogrametría juntamente con la adquisición de imágenes con drones es la perspectiva que en la actualidad se está esgrimiendo para crear sistemas de realidad virtual en distintos entornos.

Debido a la efectividad de drones aéreos la fotogrametría se ha desarrollado para levantamientos de terrenos, pero con el avance de la tecnología hoy en día se puede conseguir imágenes dentro del agua por medio de drones submarinos con las cuales se podría crear un entorno submarino para ser llevado hasta un sistema de realidad virtual.

El presente trabajo de investigación busca desarrollar un sistema de realidad virtual mediante la investigación del procesamiento de imágenes o fotogrametría para poder emplear en un entorno submarino por medio de imágenes tomadas dentro del agua manejando un dron submarino posteriormente llevar ese entorno hasta un motor de realidad virtual donde se combina el mundo real con el informático y de esta manera poder manejar un equipamiento de realidad virtual para trasladar a una persona al mundo virtual submarino.

## ANTECEDENTES

El inicio de la realidad virtual dio sus primeros pasos a finales de la segunda guerra mundial en la universidad de Massachusetts en donde el ejército de Estados Unidos solicito a la universidad un impostor de preparación para los pilotos. (Zapatero et al., 2007, p.114).

Posteriormente a lo largo del tiempo se fueron instituyendo más sistemas como el Sword of Damocles que era un casco de realidad virtual que mostraba imágenes estereoscópicas (Axworthy, 2016), luego de ello en 1978 se efectuó un software designado Aspen Movie Map con el cual se podía recorrer las calles de la ciudad de Aspen mediante videos ejecutados en la ciudad, (Mead, 2012), más tarde en 1984 fue en donde las cadenas de filmaciones Six Flags dio a conocer sobre su proyecto “The Sensorium” la cual fue una sala de cinema que sujetaba proyección estereoscópica, asientos vibradores y efectos con aromas. (Young, 2014).

Transcurrido los años la realidad virtual empieza a ingresar en el mundo de los videojuegos y fue hasta 1987 y 1991 en donde Nintendo y Sega presentan sus cascos virtuales para juegos Famicom 3D y el Sega VR los cuales tenían una pantalla LCD y auriculares estéreo para consolas de videojuegos los cuales no se llegaron a comercializar, pero sirvieron como base para el desarrollo de la realidad virtual en este campo. (Bertoli, 2017).

Poco posteriormente Nintendo vuelve a surgir con su nuevo dispositivo intrépido en 1995 designado el Virtual Boy, un casco con imágenes estereoscópica, un giroscopio y auriculares estéreo, el cual fue un fallo debido a que presentaba problemas para manejar varios colores combinado con la postura incomoda que tenía para ser utilizado, el Virtual Boy termino siendo un dispositivo poco servible. (Markley, 2015).

Por último, en el 2012 se presentó el casco de realidad virtual Oculus Rift el cual se comercializo en los años 2015 y 2016 exhibía una pantalla de 1280\*800 dividida en dos partes para cada ojo, aunque todavía presentaba baja resolución el campo de visión de 90 grados ayudaba a tener una buena experiencia (Miller, 2012).

Con el análisis de los pixeles de imágenes tomadas se puede efectuar la reconstrucción de casi cualquier objeto, esto se puede efectuar con distintos softwares que se restringen en el mercado.

Hoy en día la realidad virtual es un bien necesario en todos los campos como en la medicina, educación, entretenimiento, etc. Debido a la necesidad se han ejecutado algunos estudios y diseños tales como fue el “Estudio y Visualización de imágenes DICOM en 3D” ejecutado por el grupo de

informática médica de la universidad Politécnica de Madrid mediante el cual se ejecutaba el procesamiento con el protocolo informático para imágenes médicas DICOM, en este estudio se buscaba almacenar la información de medicina en forma de imágenes para luego posteriormente efectuar el tratamiento, análisis y visualización de la información en 3D, esto se ejecutaba con el fin de tener una planificación de cirugía antes de efectuarla. (Crespo, 2001).

En Ecuador en la Universidad Central se desarrolló un videojuego con capturas en movimiento para incorporar la leyenda de Cantuña en la cual se manejó un software designado open CV conectado a una cámara y mediante un algoritmo revelador del color rojo se capturaban imágenes que luego serían procesadas para el modelamiento en 3D. (Loza, 2018, pp. 71-72).

En la Universidad de las fuerzas armadas se desarrolló un sistema de reconocimiento y control de gestos para ayudar a la rehabilitación de la capacidad motriz de las extremidades superiores en personas con accidentes cerebrovasculares el cual fue desarrollado en unity3D. (Guevara y Martínez, 2018, pp. 1-3).

En la parte de investigación en Ecuador existen lugares con distintas situaciones donde indagar el entorno submarino se vuelve complejo, un ejemplo de esos casos son las lagunas en la Región Sierra como la laguna de Yambo en donde fue muy complejo en el 2008 para los buses sumergirse para efectuar tareas de búsqueda, en este lugar solo podían mantener apenas 5 minutos dentro del agua debido a la temperatura eminente de la zona, (El Tiempo, 2009). En la laguna Amarilla se efectuó la caracterización de cepas bacterianas pero debido a que una persona no puede ingresar dentro de la laguna por las bajas temperaturas no se pudieron efectuar mejores pruebas experimentales (Moreno, 2017, pp. 57-58). La laguna de Colta se encuentra a 3212 metros sobre el nivel del mar lo cual no permite sumergirse para mantener un control del crecimiento de la flora acumulándose y provocando que el agua sea cada vez menos cristalina (El Telégrafo, 2018). Es por lo que se necesitaría de un sistema de realidad virtual submarino con el cual se podría vivir la experiencia como parte de que los investigadores puedan efectuar con detenimiento pruebas específicas sin perder tanto tiempo. En el sector turístico en el país se tiene las islas Galápagos, playas de Ayangue, Parque Nacional Machalilla, Punta Piquero, San Cristóbal, Santa Cruz, etc., con diversidad de flora y fauna submarina en donde un sistema de realidad virtual puede hacer que muchos turistas compartan la idea de ver virtualmente estos lugares e incentivar a visitarlas. (Escalada, 2019).

Al igual que los estudios anteriores se han desarrollado sistemas para distintas áreas, pero dimitiendo de lado el entorno submarino, además al no encontrar estudios o proyectos semejantes al tema en

nuestro país, se plantea desarrollar un sistema de realidad virtual a través del procesamiento de imágenes en entornos submarinos.

### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo desarrollar un sistema de realidad virtual de entornos submarinos utilizando procesamiento de imágenes?

### **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Qué se debe analizar e investigar para efectuar un sistema de realidad virtual en entornos submarinos?
- ¿Qué dispositivos se necesitan en un sistema de realidad virtual para entornos submarinos?
- ¿Cómo digitalizar los entornos submarinos?
- ¿Qué se debe observar en el sistema de realidad virtual de entornos submarinos?

## JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Una situación común que ocurre en el diario vivir es querer ir a algún lugar o conocer la forma de algún objeto y no poder hacerlo, debido a distintas situaciones ya sea que una persona no pueda injertarse hasta el lugar o a su vez no sea capaz de llegar como es el caso de observar un entorno submarino.

La tecnología de realidad virtual (VR) crece a pasos agigantados y cada vez es más fácil observar en 3D algún entorno desde la comodidad de su hogar o desde cualquier parte del mundo sin la necesidad de trasladarse a ese sitio, otro de los campos importantes de la RV es la medicina un claro ejemplo es el estudio y visualización de imágenes DICOM en 3D ejecutado por el laboratorio de inteligencia artificial de la Universidad Politécnica de Madrid en donde los integrantes de este departamento tomaron imágenes DICOM del proyecto Hombre Visual de la Biblioteca de Medicina de los E.E.U.U, que se halla puesto a disposición para investigadores donde se encuentra 15GB de información del cuerpo de un hombre y 30 GB del cuerpo de una mujer, con esta información el departamento puso a disposición a cirujanos el procesamiento de las imágenes en 3D para que pueda hacer una simulación de como ingresar a una operación en algún órgano del cuerpo humano y de esta tratar de minimizar los riesgos. (Crespo, 2001).

Otro de los campos en donde se enfoca el procesamiento de imágenes en 3D es en los videojuegos es así que en la Universidad Central del Ecuador se efectuó una tesis sobre desarrollo de un videojuego con captura de movimiento, para incorporar la leyenda de Cantuña en donde se manejó librerías open GL y open cv para crear el motor del videojuego y poder revelar distintos colores, entonces al tomar una captura el movimiento era detectado y grabado en una base de datos que luego sería procesado como una imagen en 3D, (Loza, 2018).

(Guevara y Martínez, 2018, pp. 1-3), diseñaron y desarrollaron un sistema inversivo de reconocimiento y control de gestos con el objetivo de aportar en la rehabilitación de la capacidad motriz en pacientes con accidentes cerebrovasculares, para desarrollar este proyecto se basaron en el diseño de las extremidades en el software Blender para posteriormente exportar estos objetos hasta unity3D y crear el sistema para los pacientes.

Posteriormente de investigar distintos estudios ejecutados sobre procesamientos de realidad virtual se comprueba que la RV tiene una amplia variedad de campos desarrollados, pero no existen evidencias sobre la ejecución de RV submarina a partir del procesamiento de imágenes en entornos submarinos. Ecuador cuenta con gran variedad de lagunas tal es el caso de la laguna de Colta, Langos,

Limpiopungo, Quilotoa, Yambo, San Pablo entre otras donde el frio y distintas condiciones de las zonas no accede sumergirse demasiado tiempo bajo el agua impidiendo efectuar investigaciones en la profundidad. Además, en Ecuador se puede encontrar lugares turísticos subacuáticos como son las islas Galápagos, playas de Ayangue, Parque Nacional Machalilla etc., con extensa flora y fauna que podría ser observada de forma virtual con el uso de un sistema de realidad virtual para entornos submarinos.

En el país sería muy beneficioso contar con un sistema de la realidad virtual para entornos submarinos con el cual una persona pueda estar inmersa en el agua solo utilizando un equipamiento de realidad virtual donde se podría indagar con fines investigativos o turísticos.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

El presente proyecto plantea el desarrollo de un sistema de realidad virtual mediante el procesamiento de imágenes en entornos submarinos con la utilización de un dron el cual tenga la capacidad de sumergirse en el agua y posea una cámara especial para digitalizar imágenes submarinas, también será necesario la utilización de un software que pueda procesar esas imágenes y un programa de motor de realidad virtual para poder observar el entorno con el equipamiento de RV.

El funcionamiento del tema de investigación trata del de un sistema de realidad virtual para entornos submarinos en donde se efectuará un procesamiento de las imágenes capturadas con la cámara de un dron acuático, luego de ello estas imágenes submarinas serán transfiguradas en un entorno de realidad virtual 3D, posteriormente se efectuará un modelado de objetos submarinos para posteriormente exportar estos modelos tridimensionales a un motor de realidad virtual donde este sistema podrá ser observado con un equipamiento de realidad virtual para su validación.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar un sistema de realidad virtual a través del procesamiento de imágenes para entornos submarinos.

## **OBEJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar diferentes estudios realizados sobre procesamientos de realidad virtual.
- Digitalizar entornos submarinos con la utilización de drones y cámaras especializadas.
- Seleccionar los dispositivos hardware y software que permitan desarrollar el sistema de realidad virtual para entornos submarinos.
- Desarrollar el sistema de realidad virtual para entornos submarinos a través del análisis de procesamiento de imágenes submarinas.
- Realizar evaluaciones experimentales del desempeño del sistema de realidad virtual para entornos submarinos a fin de evaluar la funcionabilidad del mismo.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Realidad Virtual

La realidad virtual se comienza a desarrollar más profundamente desde 1957 donde Morton Heilig desarrolla el sensorama que combinaba imágenes en 3D, sonidos y olores permitiendo insertarse en un mundo virtual, luego de ello fue hasta 1961 donde Philco Corp. desarrolla el headsight el cual era un casco con una pantalla para controlar la posición de la cabeza y usado con fines militares, poco posteriormente hasta 1965 en donde nace el casco Ultimate Display instaurado por Iván Sutherland que utilizaba un pesado ordenador colgado del techo por el cual el sistema adopto el sobrenombre de Espada de Democles, en 1982 se introduce la realidad virtual en el campo de los videojuegos donde la empresa SEGA invierte en el primer videojuego con imagen estereoscópica SubRoc-3D que incluía unas gafas y un dispositivo recreativo, posterior a esto SEGA inicia en el desarrollo de gafas de realidad virtual y fue hasta 1993 donde consiguieron su primer prototipo que nunca llego a comercializarse debido a que provocaba problemas de salud y una muy difícil manipulación, más tarde en 1995 Nintendo también presenta un dispositivo de realidad virtual designado Virtual Boy el cual no consiguió el éxito esperado por la compañía dando una baja demanda para su comercialización, a finales de los 90 se empezaba a interactuar en los mundos virtuales con avatares, un pionero en este aspecto fue el videojuego second live con una alta popularidad ayudo en el desarrollo de la realidad virtual, posteriormente del año 2000 no se escuchaba de grandes desarrollos en la realidad virtual y fue hasta el 2010 cuando Palmer Luckey plantea el desarrollo de un casco de realidad virtual exhibido el primer prototipo para el hoy conocido Oculus Rift, actualmente participación de Facebook que compro el proyecto Oculus y este fue el inicio para que distintas empresas compitan para liderar el mercado de realidad virtual, En el 2014 varias empresas exhiben sus prototipos. Steam desarrolla el Valve VR el cual en el futuro se convertirá en el famoso HTC vive en un futuro, Sony inicia la construcción del PlayStation VR, Oculus evoluciona con el Crystal Cove Prototype y el Developers Kit, Samsung ingresa al mercado con el Samsung Gear Innovation Edition y Google presenta las gafas Google Cardboard para smartphones. (Mundo Virtual, 2016).

Se puede decir que la realidad virtual es un ambiente informático digital, como algo que simula ser realidad pero que no deja de ser una ficción con el uso de diversos equipos y software informáticos, estos dispositivos pueden conllevar gafas de realidad virtual, controles inalámbricos, auriculares, sensores, máquinas de sensibilidad y otros elementos como se muestra en la (Figura 1-1) que pueden

hacer que la experiencia en el mundo virtual sea lo más realista posible. Entonces la persona que maneje un sistema de realidad virtual tiene la sensación de estar interactuando con elementos reales, sin embargo, dichos elementos no se restringen físicamente.



**Figura 1-1:** Sistema de realidad virtual

Fuente: (Croft, 2018)

La realidad virtual se creó con el único objetivo de enfrascarse en un mundo totalmente ficticio, desenlazando a una persona totalmente de sus sentidos y de la realidad física, orientado a distintos campos como la medicina, videojuegos, cinema, investigación entre otros y se está desarrollando rápidamente llegando al punto que varias empresas apuestan por acercarse al futuro de la realidad virtual.

### ***1.1.1 Estudios Ejecutados sobre Realidad Virtual***

La realidad virtual está presente en distintos campos para el desarrollo de la investigación como (Valencia, 2017), ya que accede a observar cosas que no se han visto, a continuidad, se presentan algunos estudios del procesamiento que se han ejecutado en RV.

(Guevara y Martínez, 2018) desarrollaron en la universidad de las Fuerzas Armadas en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica un trabajo de titulación con el tema sistema de reconocimiento y control de gestos, ostensible por medio de realidad virtual como método de ayuda en la restitución de la capacidad motriz de las extremidades superiores en pacientes con accidente cerebrovascular, este proyecto se desarrolló mediante el uso del software de modelamiento Blender en donde se diseñaron

las extremidades superiores y el motor de realidad virtual Unity3D en el cual se desarrollaron una serie de actividades que el paciente debe ir cumpliendo ya una vez culminado el proyecto efectuaron una comparación entre tres pacientes y al final consiguiendo la efectividad con mejoras en los pacientes tratados.

(Mena, 2017, pp. 120-121), desarrolla en la universidad de las Fuerzas Armadas un sistema tecnológico mediante la ampliación de realidad virtual, para la rehabilitación de pacientes con el síndrome del túnel carpiano para lo cual desarrollan el entorno en unity y una base de datos para que se pueda acceder desde la web y utilizarlo mediante un dispositivo háptico para detectar el movimiento de la muñeca de la mano dando un nuevo aspecto desde el punto tecnológico para la rehabilitación de pacientes con este síndrome.

(Aguado, 2015, pp. 3-6), desarrollo en la universidad Carlos III de Madrid un trabajo de titulación con el tema realidad virtual empleada a la rehabilitación física en el cual generó un videojuego que aporta a la redención de un paciente con una lesión en el hombro para lo cual utilizó gafas de realidad virtual Oculus Rift para que el usuario sea capaz de adentrarse al mundo de RV.

(Ortiz y Benalcázar, 2018, pp. 76-77), desarrollaron en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo una ejecución de pc para tratar la fobia a las alturas acrofobia, mediante el uso de las gafas de realidad virtual Oculus rift para lo cual se basaron en el motor de RV unity en donde efectuaron distintos escenarios según la fobia a tratar para posteriormente efectuar pruebas consiguiendo buenos resultados en los usuarios que probaron el sistema y lograron superar su problema.

(Ayala y Urgiles, 2017, pp. 95-96), crearon en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo una ejecución con realidad virtual y aumentada como herramienta de aprendizaje del idioma kichwa para niños en la cual utilizan unity para crear el escenario y convertirlo en una ejecución móvil, posteriormente de efectuar algunas pruebas y consultas a docentes donde obtuvieron grandes resultados ya que la comunidad aumentó notablemente el idioma kichwa.

## **1.2 Dron Submarino**

Se denomina drones a los vehículos que son encaminados mediante un control remoto, estos objetos se restringen invadiendo el mercado y son realmente necesarios para la videografía, aunque en principio fueron diseñados para volar, hoy en día también se puede hallar drones que pueden navegar en el agua denominados drones acuáticos o submarinos tal y como se puede apreciar en la (Figura 2-1). Estos novedosos dispositivos tienen algo fascinante: conducir un dron es muy entretenido y además nos permite hacer tomas de capturas desde el aire o desde el agua. Los drones submarinos

están siendo utilizados para indagar el lecho marino y captar imágenes de alta definición, son muy cotizados por buzos, aficionados y científicos que dedican su vida a la exploración submarina. (Joseph, 2019).

Por lo general cuentan con propulsores que les ayudan a moverse dentro del agua, muchos de ellos ya vienen comprendidos con comunicación inalámbrica en la estación base, pero todos se conectan por medio de comunicación alámbrica desde la base hasta el dron.



**Figura 2-1:** Drones Submarinos

Fuente: (Joseph, 2019)

Para poder hacer fotografías en un entorno submarino es necesario que el dron cumpla con ciertos parámetros que se enumerara en la (Tabla 1-1).

**Tabla 1-1:** Parámetros de selección de Dron

Característica
Capacidad de inmersión al agua
Capacidad de movilidad dentro del agua
Cámara HD Submarina Integrada
Capacidad de almacenamiento
Bajo costo
Disponibilidad

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 1.2.1 Dron submarino Nemo

La exploración de los océanos, cuevas submarinas, zonas acuáticas frías y húmedas o lugares abruptos para un ser humano común ya no son solamente un privilegio de los buzos, hoy en día se puede manejar un nuevo Dron submarino de nombre Nemo (Figura 3-1) sin tener la necesidad de integrarse al agua para obtener excelentes imágenes con las cuales se puede indagar el lecho marino. (Webster, 2018).



**Figura 3-1:** Dron Nemo

Fuente: (Webster, 2018)

Este dispositivo instaurado por la empresa AquaRobot es una innovación en el campo de la tecnología y puede ser manejado para la exploración científica y desarrollo de ingeniería bajo el agua presentando distintas especificaciones que se pueden observar en la (Tabla 2-1).

**Tabla 2-1:** Especificaciones Dron Submarino Nemo

Característica	Descripción
Profundidad	100 metros
Velocidad Máxima	2 m/s
Dimensiones	40,4*29*11.4 cm
Peso	3,6 kg
Motor	Waterproof Anti-corrosive Motor
Temperatura	-2°C ~ 35°C
Comunicación	Wifi con la estación Base
Batería	48Wh 12V y 3 horas de uso

Luz	Matriz Led de 2*4 y 100 Lúmenes
Cable de sujeción	Fibra de Kevlar con diámetro de 3.8mm
Sistema	IOS 10.0; Android 5.0 o posteriores
Cámara	Sony con procesador Ambarella TM que permite hasta 120 fps
Resolución de Video	4K: 3840 x 2160 30fps 16: 9 / 2.7K: 2704 x 1520 30fps 16: 9 / 1080P: 1920 x 1080 120fps 16: 9 / 1080P: 1920 x 1080 30fps 16: 9
Foto Pixel	16M (4608 x 3456 4: 3) / 14M (4254 x 3264 4: 3) / 12M (4000 x 3000 4: 3), 8.3M (3840 x 2160 16: 9) ISO: 100-3200
Disparos en Ráfagas	3 fps, 5fps, 10 fps
Costo	Alrededor de \$1500 sin impuestos y envío

**Fuente:** (AQUAROBOTMAN, 2019)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 1.2.2 Dron submarino *fi-fish V6*

Dron submarino (Figura 4-1) de la empresa QYSEA, capaz de ser multidireccional para la exploración de entornos submarinos, fotografía subacuática y filmación, es capacitado para rotar en todos los ángulos posibles (yaw, pitch y roll). Cuenta con una ejecución con la cual se puede manejar y modificar las tomas ejecutadas. (Singh, 2019).



**Figura 4-1:** Fi-Fish V6

**Fuente:** <https://www.qysea.com/> (QYSEA, 2020)

Este Dron cuenta con algunos parámetros que se presenta a continuación en la (Tabla 3-1).

**Tabla 3-1:** Especificaciones Dron Fi-Fish V6

Característica	Descripción
Profundidad	100 metros
Velocidad Máxima	1.5 m/s
Dimensiones	38,1*33*17.4 cm
Peso	3,9 kg
Motor	6 motores para movilidad omnidireccional
Temperatura	-10°C ~ 60°C
Comunicación	Wifi con la estación Base
Control	Fi-fish Smart Controler
Batería	4 horas de uso
Luz	400 lúmenes
Cable de sujeción	100 metros de cable
Sistema	FI-Fish aplicación
Cámara	Gran angular de 4K UHD 240 fps
Costo	Alrededor de \$1600 sin impuestos y envío

**Fuente:** (Singh, 2019)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 1.3 Gafas de realidad virtual

Denominadas también HDM (por sus siglas en inglés head mounted display), estos dispositivos son utilizados para disfrutar la experiencia e introducirse en el mundo de la realidad virtual, accediendo a una persona tener la sensación de hallar en otro lugar que el físico a través de imágenes proyectadas desde un dispositivo electrónico.

Por lo general las gafas de realidad virtual cuentan con sensores permitiendo seguir el movimiento de la cabeza con las proyecciones de las imágenes, esto hace que vivir la realidad virtual sea una experiencia más alucinante.

Las gafas de realidad virtual pueden ser monoculares si las tomas son proyectadas en un solo ojo, o en el caso de imágenes estereoscópicas se muestra en los dos ojos designado binocular.

Existen varios fabricantes que se han preocupado por el impulso de estos dispositivos presentando sus mayores creaciones exponiendo al mercado mencionando los mismos en la (Tabla 4-1).

**Tabla 4-1:** Gafas de Realidad Virtual

Fabricante	Gafas
VIVE	HTC VIVE
OCULUS	OCULUS RIFT
PLAY STATION	PLAY STATION VR
SAMSUNG	GEAR VR
STARBRAZE	STAR VR
GOOGLE, VR BOX	GAFAS RV para smartphones
SAMSUNG	SAMSUNG GEAR VR
LG	LG 360 VR TITAN

**Fuente:** (MUNDO VIRTUAL, 2020)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### ***1.3.1 Gafas HTC Vive***

Son gafas de realidad virtual que nacieron de la unión de dos grandes marcas como son HTC y VALVE (Steam) por lo cual son concurrentes con la plataforma digital de videojuegos de STEAM. Estas gafas de realidad virtual cuentan con mandos para poder interactuar con los objetos virtuales, una estación base que interviene los sensores para los movimientos, una caja link box para las conexiones, y auriculares in-ear los mismos que se puede observar en la (Figura 5-1). (Maturana, 2017).



**Figura 5-1:** Gafas HTC VIVE

**Fuente:** (Maturana, 2017)

El sistema HTC VIVE permite tener una experiencia de la realidad virtual con el movimiento observando en distintas direcciones persiguiendo el desplazamiento de la cabeza, además podrá efectuar actividad física y ese movimiento asimismo se efectuará en el entorno virtual. HTC VIVE cuenta con una estación base de 32 sensores para instalar en el espacio y 24 sensores en los mandos para que los movimientos sean lo más cercanos al contexto, pero también cuentan con muros virtuales para que no se pueda salir de la zona de realidad virtual y chocar con algún objeto real. (Maturana, 2017). El sistema exhibe algunas especificaciones mencionadas en la (Tabla 5-1).

**Tabla 5-1:** Especificaciones HTC VIVE

Característica	Descripción
Pantalla	OLED
Resolución	2.160*1200 px
Tasa de Refresco	90 Hz
Plataforma	Steam VR
Campo de visión	110 grados
Área de seguimiento	4,5*4,5 m
Audio integrado	Conector mini Jack
Micrófono integrado	Si
Mandos	Mandos HTC VIVE
Sensores	Acelerómetro, giroscopio, doble sistema de posición laser (36 sensores gafas, 24 sensores cada mando), cámara frontal.
Conexiones	HDMI, USB 2.0, USB 3.0
Requisitos mínimos	NVIDIA Geforce GTX 970/ Radeon R0 290 Intel Core i5 4590 o superior 4 GB de RAM Salida de Video HDMI 1.4 Puesto USB 2.0

**Fuente:** (Maturana, 2016)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### ***1.3.2 Gafas Oculus Rift***

Las Oculus Rift son las gafas exhibidas al público por la empresa OCULUS que luego fue comprada por Facebook para extender con su desarrollo. Estas están montadas sobre la plataforma Rift para dar soporte a emplear de forma exclusiva, las gafas contienen auriculares para optimar la experiencia, cuentan con sensores que manifiestan el movimiento y además con 2 mandos como se puede observar en la (Figura 6-1). (GAFAS OCULUS, 2016).



**Figura 6-1:** Gafas OCULUS RIFT

**Fuente:** (GAFAS OCULUS, 2016)

Las gafas Oculus Rift son cómodas, pero exhiben problemas debido a su peso sin embargo se puede observar distintas especificaciones que se exhiben en la (Tabla 6-1) que compensan estos inconvenientes.

**Tabla 6-1:** Especificaciones Gafas OCULUS RIFT

Característica	Descripción
Pantalla	2 pantallas OLED 1800*1200
Resolución	2.160*1200 px
Tasa de Refresco	90 Hz
Plataforma	Rift
Campo de visión	110 grados
Área de seguimiento	4,5*4,5 m
Audio integrado	Conector mini Jack
Micrófono integrado	Si
Mandos	Oculus Touch
Sensores	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, rastreo de posición de 360
Conexiones	HDMI, USB 2.0, USB 3.0
Requisitos mínimos	NVIDIA Geforce GTX 1060/ Radeon R0 480 Intel Core i5 4590 o superior 8 GB de RAM Salida de Video HDMI 1.3 3 puertos USB 3.0

**Fuente:** (GAFAS OCULUS, 2016)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 1.3.3 Gafas de realidad virtual para smartphone

Las gafas de realidad virtual para smartphones (Figura 7-1), son aquellas que manejan un teléfono como pantalla y los sensores que se utilizan se restringen a los que contienen el smartphone.

El sensor imprescindible que debe contener un smartphone es el giroscopio el cual trasciende la posición y el giro que se ejecute con el teléfono en los ángulos yaw, pitch y roll. (Fernández, 2016).



**Figura 7-1:** Gafas VR BOX para smartphone

**Fuente:** <http://www.anvelcom.com/tienda/gafa-virtual-vr-box/>

Este tipo de gafas de realidad virtual necesitan un smartphone que contenga algunas tipologías para poder funcionar como pantalla de las gafas RV las cuales se describen en la (Tabla 7-1).

**Tabla 7-1:** Especificaciones necesarias de un smartphone para RV

Característica	Descripción
Pantalla	HD o superior entre 4,7'' y 6''
Resolución	1920*1080 o superior
Bluetooth	Para conectar el control
Procesamiento	Dual Core o superior
Taza de Refresco	60 Hz
Streaming	H.264 o MPEG-4
Sensores	Almenos giroscopio o acelerómetro
Audio integrado	Si
Compatible	Android o IOS (unity5)

**Fuente:** (Álvarez, 2016)

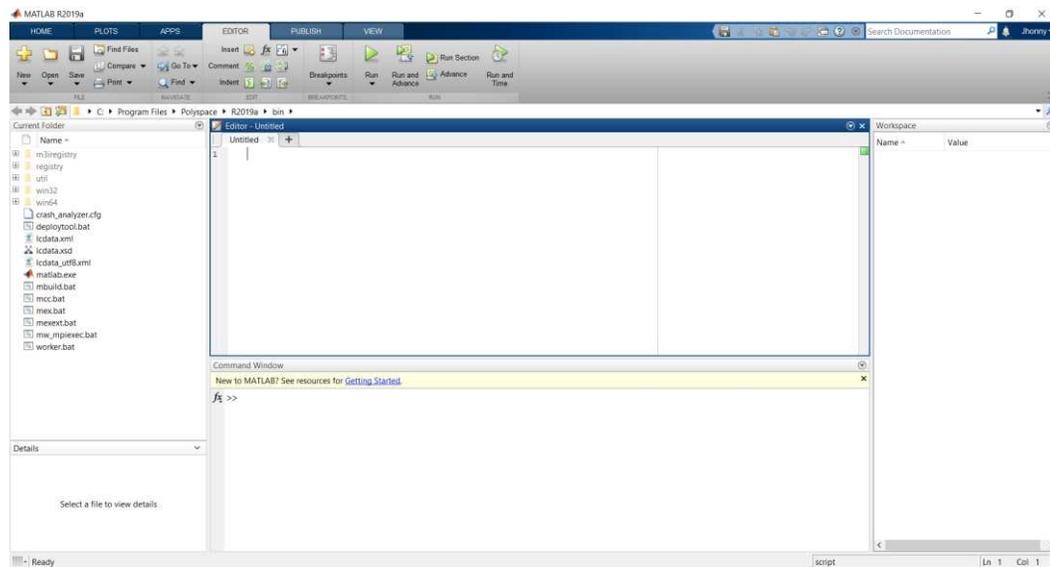
**Realizado por:** (Ganan, 2020)

## 1.4 Software de Preprocesamiento de imágenes

Las imágenes tomadas dentro del agua presentan ciertos problemas al momento de efectuar el proceso de las imágenes debido a que el agua tiene una coloración por lo que alinear puntos en común no es factible sin antes efectuar una mejora en las imágenes. Otro problema es la baja luz en los entornos submarinos por lo que se debe alternar de que el objeto a graficar dentro del agua tenga una mejor referencia para alinear puntos. (Abdelaziz y Elsayed, 2019, p. 4).

### 1.4.1. Matlab

Matlab (Figura 8-1) Lenguaje de programación de alto nivel utilizado en distintas ramas de la ingeniería, cálculos matemáticos o científicos, en el caso de Comunicaciones es diligente al procesamiento de imágenes y señales que reúne distintas funcionalidades para el desarrollo científico. (Mejía, 2017, pp. 25-26).



**Figura 8-1:** Interfaz de Matlab

**Fuente:** <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

#### 1.4.1.1 Matlab e Image Processing Toolbox

El equipo de Matlab creó un toolbox que nos facilita un entorno de desarrollo para el procesamiento de imágenes designado Image Processing Toolbox (Figura 9-1). Esta caja de herramienta es muy manejada en el campo de la ingeniería para la manipulación o procesamiento de imágenes teniendo variedades de funciones como lectura, sobrescribir, mostrar y guardar imágenes, ecualización de

histogramas, filtrados, conversión de imagen a escala de grises, mejora de luz, detección de objetos y bordes, etc. (Nassir y Gullanar, 2013, pp. 31-38).



**Figura 9-1:** Image Processing Toolbox

**Fuente:** <https://www.mathworks.com/products/image.html>

### 1.5 Software de Procesamiento (Fotogrametría) de imágenes

Para efectuar el procesamiento de imágenes se precisa de un software que sea capaz de reconstruir escenas 3D mediante distintas vistas en 2D para lo cual se precisa que cumpla ciertos parámetros que se puede observar en la (Tabla 8-1).

**Tabla 8-1:** Parámetros de Selección de Software de Procesamiento

Característica
Capacidad de orientar imágenes
Capacidad de orientar sin georreferencia
Capacidad de generar nubes de puntos
Capacidad de generar malla 3D
Capacidad de generar una textura en 3D

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

#### 1.5.1 Agisoft Metashape

Software manejado para el procesamiento de imágenes con las cuales se pueden efectuar entornos u objetos tridimensionales, empleado especialmente en la industria de la fotogrametría con drones. Agisoft Metashape (Figura 10-1) es una versión mejorada de Agisoft PhotoScan lanzada en el año 2010 y en este momento se encuentra con la versión 1.6.2 del año en curso con soporte para sistemas operativos Windows, Linux, macOS y la capacidad de procesar varios formatos de imágenes para

obtener distintos resultados como nubes de puntos, ortofotos, modelos digitales de terreno (DTM), modelos digitales de superficies, importación de puntos de control georreferenciados, procesamientos de imágenes multiespectrales y térmicas, generación de modelos en 3D, cálculo de distancias superficiales y volumétricas. (Costales, 2018, pp. 13-14).

Para la reconstrucción 3D del entorno, Agisoft utiliza la combinación de la fotogrametría digital y la visión por computador SFM, por lo que para el restablecimiento 3D se puede utilizar imágenes que se encuentren o no georreferenciadas. (Medina, 2018, pp. 11-12).



**Figura 10-1:** Agisoft Metashape

**Fuente:** <https://www.agisoft.com>

El software precisa de ciertos requerimientos en un computador para poder efectuar el procesamiento el cual se puede apreciar en la (Tabla 9-1).

**Tabla 9-1:** Requerimientos de PC para Agisoft

Característica	Requerimiento Mínimo
Motherboard	Any LGA 1150 o 1155
RAM	16 GB
CPU	Quad-core Intel Core i7
GPU	Nvidia GeForce GTX 780 o 980

**Fuente:** (AGISOFT, 2018, pp.1-3)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

#### *1.5.1.1 Herramientas de Agisoft Metashape*

Agisoft sujeta distintas herramientas que le acceden efectuar el procesamiento de imágenes hasta llegar a un modelo tridimensional. En el manual de usuario del software (AGISOFT, 2018) se limitan

todas las herramientas que sujeta y cómo funcionan, a continuación, en la (Tabla 10-1) se enumera las más relevantes para efectuar un proyecto de procesamiento de imágenes.

**Tabla 10-1:** Herramientas Agisoft Metashape

Herramienta	Descripción
Aligning photos	Encuentra la posición y orientación de la cámara para cada foto construyendo un modelo de puntos dispersos.
Auto Calibration Camera	Calcula valores iniciales del tamaño del píxel del sensor y de los parámetros de distancia focal en función del EXIF o en su ausencia da una distancia focal de 35mm.
Building Dense Point Cloud	Permite generar y visualizar un modelo de nube de puntos densa.
Building Mesh	Puede reconstruir el modelo de malla poligonal en función de la nube de puntos Densa.
Building Model Texture	Permite Generar un modelo de textura en 3D que puede ser exportado a otro software.

**Fuente:** (AGISOFT, 2018, pp. 18-29)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 1.5.2 Pix4D

Pix4D (Figura 11-1) es un software de fotogrametría con drones, el cual accede hacer capturas de imágenes RGB, Térmicas o multiespectrales para posteriormente digitalizar estas imágenes en modelos espaciales. Es utilizado en distintas áreas, pero especialmente en la topografía y cartografía de terrenos. La ventaja de pix4D frente a otros es que el procesamiento se lo efectúa en la nube y localmente por lo que su procesamiento es bastante rápido. (PIX4D, 2017).

Este software es muy utilizado con drones aéreos, pero no existen desarrollos con drones submarinos.



**Figura 11-1:** Pix4D

**Fuente:** <https://www.pix4d.com/es/>

Para la operación del software se precisa que un computador cumpla con ciertos requisitos imperceptibles ya que si bien se puede hacer el procesamiento en la nube también se puede hacer procesamiento local para lo cual se ha descrito estos en la (Tabla 11-1).

**Tabla 11-1:** Requerimientos Mínimos de PC para Pix4D

Característica	Requerimiento Mínimo
Sistema	Windows 7 64 bits
RAM	16 GB
CPU	Intel Core i5, i7
GPU	Open GL 3.2

**Fuente:** (PIX4D,2017, pp. 5-6)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 1.5.2.1 Herramientas de Pix4D

Pix4D permite efectuar distintas funciones enumeradas en su página web y descritas por (Costales, 2018, pp. 12-13). A continuación, en la (Tabla 12-1) se mencionan las mismas.

**Tabla 12-1:** Funciones de Pix4D

Herramienta	Descripción
Nube de puntos 3D	Reconstrucción digital con geolocalización
Modelos digitales de superficie y terreno	Permite tomar valores de elevación de cada pixel
Ortomosaicos	Permite crear mapas georreferenciados
Cálculo de volúmenes y distancias	Permite realizar mediciones
Modelos 3D	Permite crear mallas texturizadas
Termografía	Genera mapas de radiación electromagnética
Puntos de Control	Permite ingresar coordenadas de puntos de control.

**Fuente:** (Costales, 2018, pp. 12-13)

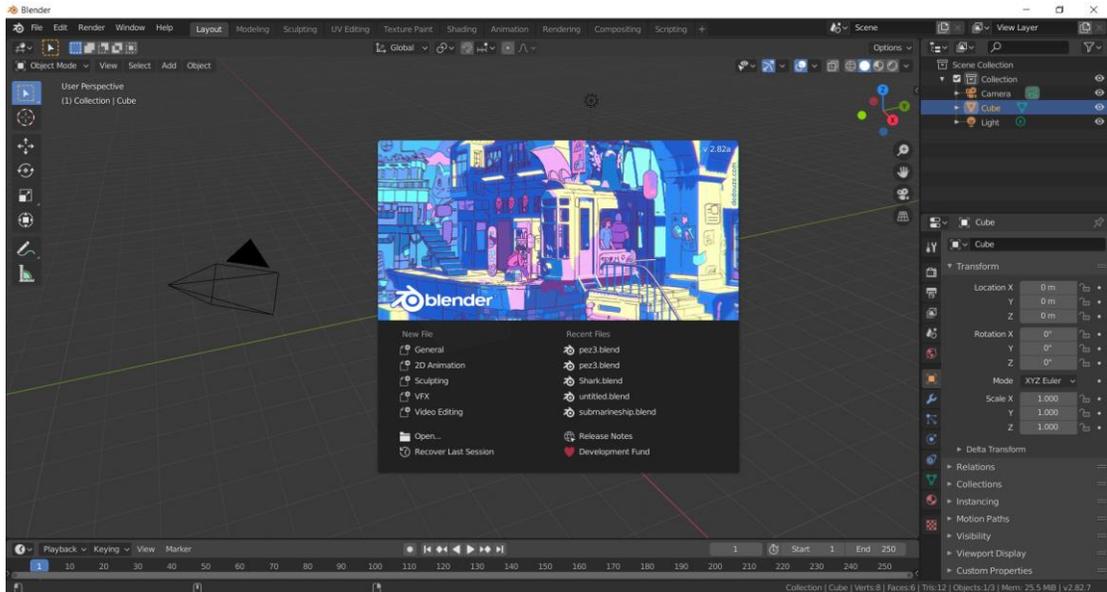
**Realizado por:** (Ganan, 2020)

## 1.6 Software de Modelado 3D

Para formar objetos tridimensionales virtuales es necesario usar algún software que ayude a crearlo utilizando distintas técnicas de diseño y que además se pueda crear una animación para que al ser exportado al motor de realidad virtual sea lo más realista posible. El software que se utilice deberá cumplir con particularidades como el fácil uso, desarrollo libre y además que sea multiplataforma. El software Blender cumple con estas características el cual se lo puede ver a continuación.

### 1.6.1 Software Blender

Blender (Figura 12-1) es un software de código abierto manejado para la creación de gráficos tridimensionales permitiendo efectuar el modelado, texturizado, iluminación y animación de un objeto virtual en un solo paquete. (Blender, 2019).



**Figura 12-1:** Blender y su interfaz

Fuente: <https://www.blender.org>

#### 1.6.1.1 Características de Blender

Este software sujeta distintas particularidades que son necesarias para el desarrollo de este proyecto las cuales se enumeran en la (Tabla 13-1) donde se muestran las más relevantes.

**Tabla 13-1:** Características necesarias para Blender

Característica	Descripción
CPU	2 GHz
RAM	8 GB
GPU	Compatible con OpenGL 3.2
TIPO DE SISTEMA	Windows 7 64 bits
Compatibilidad	Multiplataforma

Fuente: (Guevara y Martínez, 2018, p. 53)

Realizado por: (Ganan, 2020)

## 1.7 Motor de realidad virtual o de Desarrollo

El motor de desarrollo es clave en la ejecución del sistema ya que a través de este software se efectuará la inmersión a un entorno submarino con la ayuda del equipamiento de realidad virtual, para lo cual son necesarios algunos parámetros que se puede observar en la (Tabla 14-1).

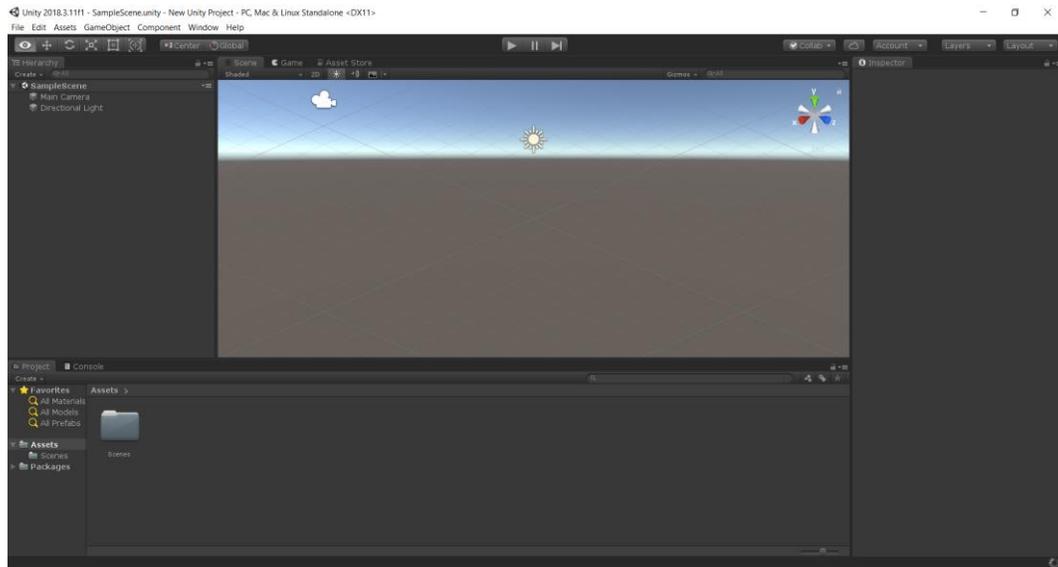
**Tabla 14-1:** Parámetros de selección del Motor de Realidad Virtual

Parámetro	Descripción
Soporte	2D Y 3D
Integración	Compatible con el software de procesamiento de imágenes y con el equipamiento de Realidad Virtual
Programación	Debe soportar almenos un lenguaje de programación
Calidad Visual	Buena
Aprendizaje	Sencillo

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 1.7.1 Unity 3D

Motor de realidad Virtual de la compañía Unity Technologies (Figura 13-1) el cual cuenta con una multiplataforma para la creación de juegos, interactivas, animaciones en 3D y 2D en tiempo real, que puede ser desarrollado y desplegado en distintos dispositivos. (Herrera, 2015).



**Figura 13-1:** Interfaz de Unity3D

Fuente: <https://unity.com/es/solutions/game>

Unity tiene coincidencia con distintas plataformas como Mac, Android, Windows, PS3, PS4, Nintendo, Xbox 360, Xbox One, Adobe, Linux, entre otras, tal y como se puede observar en la (Figura 14-1). (Helgason, 2012).



**Figura 14-1:** Plataformas concurrentes con unity.

**Fuente:** (Helgason, 2012)

### 1.7.1.1 Características de Unity3D

Este motor de realidad virtual presenta distintas características que deben ser tomados en cuenta a la hora de elegir el software. A continuación, en la (Tabla 15-1) se muestran las más relevantes.

**Tabla 15-1:** Características de Unity3D

Característica	Descripción
CPU	Soporte SSE2
RAM	6 GB
GPU	Tarjeta Gráfica mínima 960
TIPO DE SISTEMA	Windows 7 64 bits
Aprendizaje	Sencillo
Referencia	Gran comunidad de Desarrolladores
Costo	Versiones Gratuitas y Pagadas
Versatilidad	Para Diseñadores y Programadores
Desventajas	-Se necesita gran capacidad de procesamiento -Exige mucha capacidad de memoria -Políticas de paga.

**Fuente:** (Guevara y Martínez, 2018, pp. 62-65)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 1.7.2 Unreal Engine

Unreal Engine (Figura 15-1) es un motor de videojuego perfeccionado por Epic Games. Instaurado en 1998 su versión de prototipo y en el 2015 salió su versión de venta. Su entorno sujeta distintas herramientas para la reconstrucción de videojuegos en 2D y 3D. Además, ha basado su desarrollo en

distintos campos como la ingeniería, construcción, medicina, realidad virtual, juegos, realidad aumentada, entre otras. (Soloaga, 2019).



**Figura 15-1: Unreal Engine**

Fuente: <https://www.unrealengine.com/en-US/>

### 1.7.2.1 Características de Unreal Engine

Este motor de realidad virtual presenta distintas particularidades que se mostrará a continuación en la (Tabla 16-1).

**Tabla 16-1: Características de Unreal Engine**

Característica	Descripción
CPU	Quad-core Intel or AMD 2.5 GHz
RAM	8 GB
GPU	Tarjeta Gráfica mínima 960
Tipo de Sistema	Windows 7 64 bits
Compatibilidad	Diferentes Plataformas
Calidad	Alta calidad grafica
Costo	Versiones Gratuitas
Lenguaje de programación	C++
Desventajas	-Aprendizaje complicado -Baja referencia -Capacidad de memoria alta -Capacidad de procesamiento alta.

Fuente: (Guevara y Martínez, 2018, pp.65-67)

Realizado por: (Ganan, 2020)

## 1.8 Imágenes

### 1.8.1 Definición de Imagen

Una imagen es una proyección grafica que es específica matemáticamente como una función de dos dimensiones como se muestra en la ecuación 1-1. (Esqueda y Palafox, 2005, pp. 10-11).

$$F(X, Y) \quad \text{Ecuación 1-1}$$

La función es el nivel de gris en las coordenadas espaciales X, Y.

#### 1.8.1.1 Imagen Digital

Por otro lado, una imagen digital está desarrollada por un número finito de pixeles instituyendo vectores o matrices. Si las imágenes son grises el valor del píxel es un escalar que puede ser una potencia de dos siendo la más frecuente  $2^8=256$ , pero si es una imagen RGB el píxel es un vector de tres coordenadas de los colores rojo, azul y verde que se representa en 3 bytes o 24 bits. El número de colores en imágenes RBG pueden ser  $2^8 (8*3) = 16.777.215$ . (Guindos y Piedra, 2001, pp. 14-15).

Entonces una imagen digital está incorporada por una función (Ecuación 1-1) formando una matriz de  $m*n$  elementos denominados pixeles (Ecuación 2-1).

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(1,1) & f(1,2) & f(1,m) \\ f(2,1) & f(2,2) & f(2,m) \\ f(n,1) & f(n,2) & f(n,m) \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

### 1.8.2 Procesamiento digital de imágenes

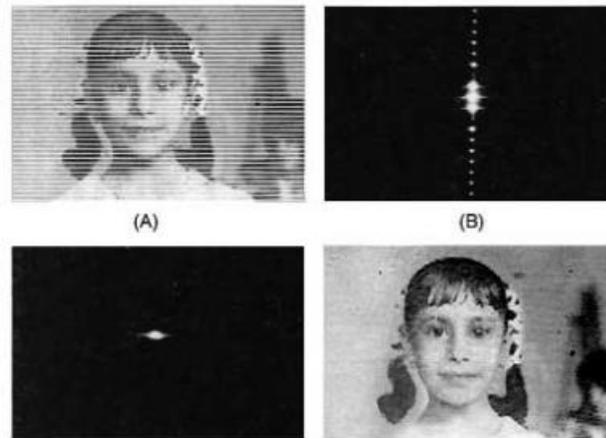
Son múltiples técnicas que se realizan a través de una PC y tienen el objetivo de optimar la calidad de las imágenes, este proceso se localiza en la (Ecuación 3-1).

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde  $f(x, y)$  es la imagen inicial,  $g(x, y)$  es la imagen procesada y  $T$  es una operación que tendrá algún efecto sobre la función o imagen  $f$ . (Esqueda y Palafox, 2005, p.11).

Efectuar procesamiento de imágenes tienen el fin que estas sean más apreciables para el ojo humano o sean utilizadas en otros semblantes como hacer más indudable en ellas ciertos aspectos que se desean hacer notar. El matemático Jean Joseph Fourier (1768-1830) dio el fundamento del

procesamiento de imágenes con su teoría en la que expone que cualquier grafica o función periódica o no, se puede incorporar por una suma o superposición de funciones senoidales con distintas frecuencias. El teorema de Fourier hoy en día se la maneja para tratar varios compendios de la física moderna. Para el procesamiento de imágenes el teorema de Fourier expone que la brillantez de una imagen se la puede incorporar con la suma de varias funciones senoidales a distintas frecuencias, en donde estas componentes logran ser modificadas con el fin de incitar un cambio en la imagen mejorándola o empeorándola tal y como nos explican en (Malacara, 1997, p. 6). (Figura 16-1).



**Figura 16-1:** Procesamiento de Imagen por medio de Fourier

Fuente: (Malacara, 1997, p. 6)

### ***1.8.3 Mejoramiento de imágenes con baja luz***

(Abdelaziz y Elsayed, 2019, p. 4) expone que las imágenes submarinas suelen estar sujetas por algún color (Figura 17-1), esto es debido a la turbidez del agua o falta de luz que modifican el histograma de las imágenes por lo que se precisa efectuar un preprocesamiento de mejoramiento de imágenes para obtener más puntos concurrentes entre pares de imágenes.

Las imágenes que son tomadas en entornos con poca luz como internamente del agua, pueden llegar a deshonrar sobresaltando posteriormente el rendimiento de algoritmos de visión por computadora como la fotogrametría, nube de puntos, visión 3D, procesamiento de imágenes, entre otros. Para optimar las imágenes y que los algoritmos de visión por computadora sean más robustos se puede modificar el histograma trayendo técnicas de eliminación de turbidez. (MathWorks, 2020).



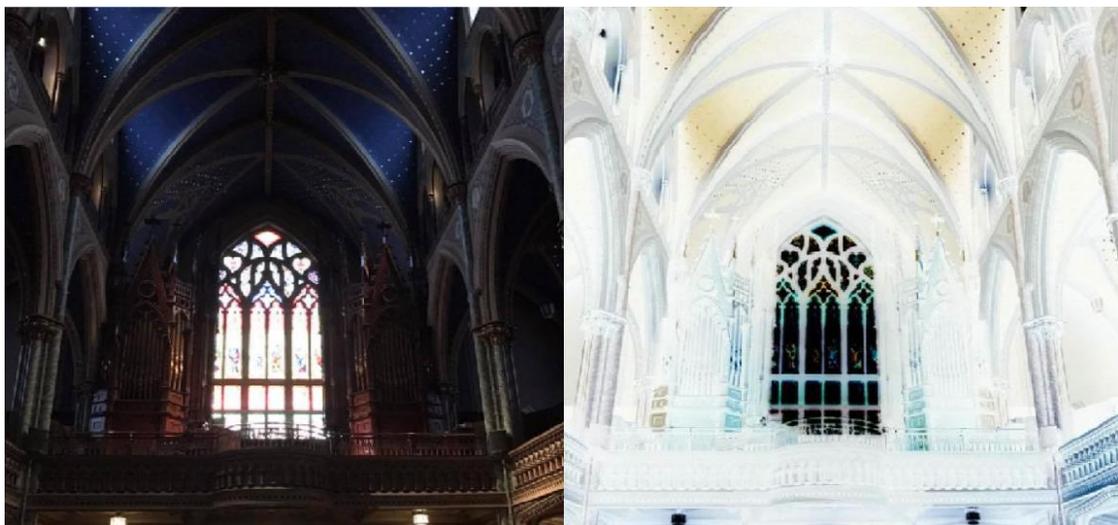
**Figura 17-1:** Imagen submarina

**Fuente:** (Abdelaziz y Elsayed, 2019)

Para emplear las técnicas de exclusión de turbidez para optimar una imagen se deben emplear una serie de pasos empezando por invertir la imagen, luego de ello se debe manejar una eliminación de turbidez y por último se vuelve a invertir la imagen mejorada. (MathWorks, 2020).

#### *1.8.3.1 Invertir Imagen*

El proceso de invertir una imagen se lo ejecuta dependiendo de la imagen. Si la imagen es binaria se intercambiarán los unos por ceros y viceversa. En cambio, si la imagen es una RGB cada valor del píxel se resta del valor de píxel máximo donde se dará como consecuencia la imagen de salida como se puede apreciar en la (Figura 18-1). (MathWorks, 2020).

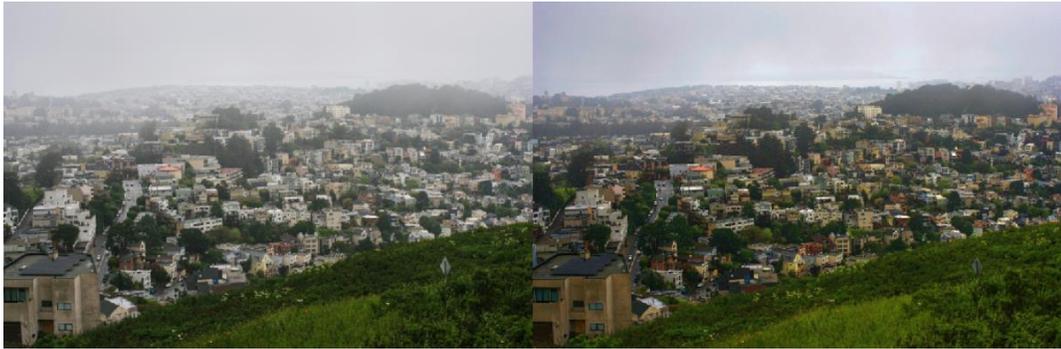


**Figura 18-1:** Imagen antes y posteriormente de ser invertida

**Fuente:** (MathWorks, 2020).

### 1.8.3.2 Eliminación de turbidez

La eliminación de la turbidez de una imagen se lo puede efectuar en Matlab con la ejecución de la función *imreducehaze*, la cual restituye una imagen reducida la turbidez o desvanecida (Figura 19-1), como también el grosor de la turbidez en cada píxel y la luz estimada. (MathWorks, 2020).



**Figura 19-1:** Imagen antes y posteriormente de efectuar la reducción de la turbidez

**Fuente:** (MathWorks, 2020).

### 1.8.4 Fotogrametría

(Quiroz, 2014, pp. 46-47), considera a la fotogrametría como el grupo de técnicas para precisar de un objeto su forma, dimensiones y posición en el espacio manejando datos y medidas ejecutadas a partir de fotografías. La fotogrametría es manejada en distintas áreas científicas y fue creada con el objetivo de crear planos y mapas de profundidad.

Para realizar un proceso de fotogrametría (De Matías, 2013, p. 52) presenta una serie fases a seguir para efectuar fotogrametría a partir de imágenes el cual se encuentra enumerado en la (Tabla 17-1).

**Tabla 17-1:** Fases para realizar fotogrametría

Fase	Descripción
Fase 1	Planificación y recolección de datos
Fase 2	Calibración de cámara
Fase 3	SIFT
Fase 4	Geometría Epipolar
Fase 5	Orientación externa
Fase 6	Triangulación
Fase 7	Superficie TIN
Fase 8	Mapas de profundidad

**Fuente:** (De Matías, 2013, p. 52)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

#### 1.8.4.1 Planificación y recolección de datos

La planificación para la recolección de datos se lo ejecuta con el fin de organizar las operaciones para obtener el objetivo de tomar fotografías que contengan zonas en común también llamadas zonas de recubrimiento. (Pérez, 2001, p.10).

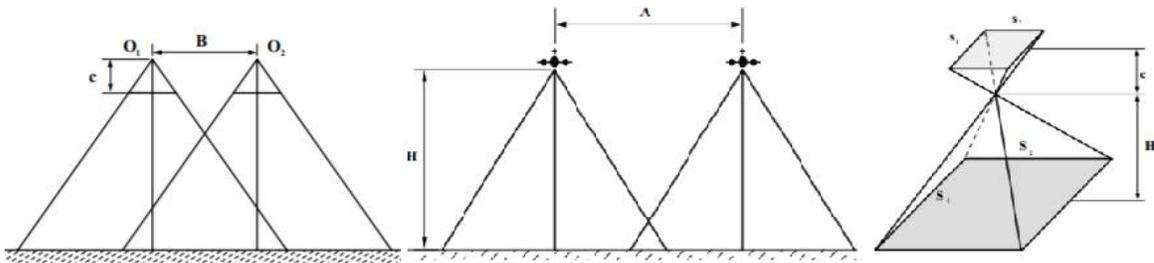
La planificación se debe efectuar dependiendo si se quiere hacer una fotogrametría de un terreno o de un objeto para lo cual se maneja el método para crear ortomapas o el método para crear volúmenes 3D respectivamente. (Aerial Insights, 2017).

(Pérez, 2001, pp.10-12) indica que el método para crear ortomapas se basa en el solape frontal y lateral que tienen las imágenes. Manejada cuando se realiza fotogrametría para cartografía o para levantamientos topográficos donde es primordial un sistema de reseña para el procesamiento. Para levantar el método de crear ortomapas se tiene que calcular la distancia lateral y frontal expresadas en la (Ecuación 4-1 y 5-1).

$$B=S1 (1-q1) \quad \text{Ecuación 4-1}$$

$$A=S2 (1-q2) \quad \text{Ecuación 5-1}$$

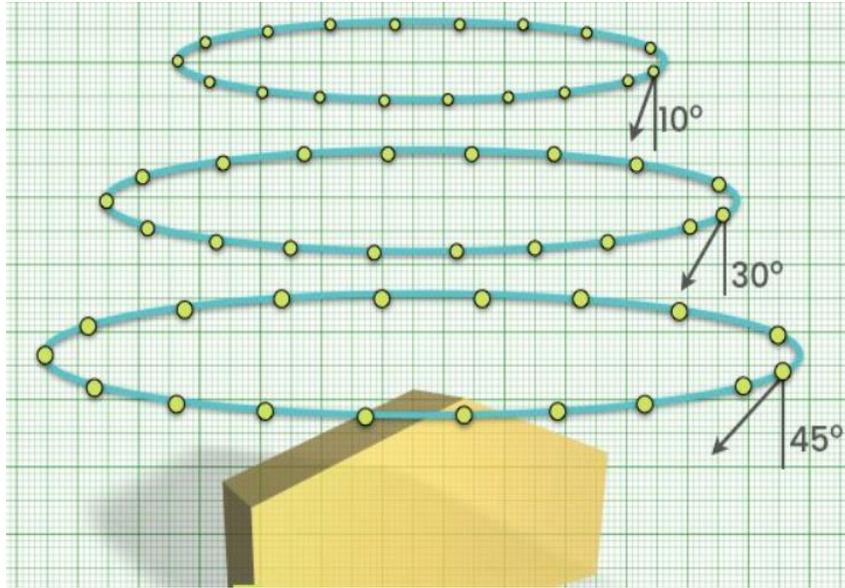
Donde B es la distancia longitudinal, A es la distancia lateral entre dos imágenes, S1-S2 son los lados de la superficie que cubre la imagen y q1-q2 son el porcentaje de recubrimiento longitudinal que normalmente se fija en el 60% y el recubrimiento transversal comprendido entre 10-20%, datos que se pueden apreciar en la (Figura 20-1). (Pérez, 2001, pp.10-12).



**Figura 20-1:** Recubrimiento longitudinal, lateral y superficie que cubre una fotografía

Fuente: (Pérez, 2001, pp.10-12)

Por otro lado (Aerial Insights, 2017), expone sobre cómo efectuar una planificación para crear volúmenes en 3D para lo cual es necesario efectuar tres pasadas alrededor del objeto en distintas alturas con la cámara instituyendo un ángulo de 45° en la primera pasada, 30° en la segunda y 10° en la tercera, además se debe tomar entre 40 a 80 imágenes de predilección con una separación de 5° a 10° tomando como punto central el objeto como se puede apreciar en la (Figura 21-1).



**Figura 21-1:** Planificación para crear volúmenes 3D

Fuente: (Aerial Insights, 2017).

#### 1.8.4.2 Calibración de Cámara

En este paso se obtendrán los parámetros de orientación interna de la cámara como son la distancia focal, puntos principales, coordenadas y distorsiones con el objetivo de averiguar cómo se deforma una imagen en el proceso de capturar una fotografía para consecutivamente poder compensar esas distorsiones. El modelo matemático descrito por (De Matías, 2013, pp.52-54) para la calibración de la cámara es el siguiente. (Ecuación 6-1).

$$X - X_0 + \Delta X_r + \Delta Y_t = -C \frac{r}{q}$$

$$Y - Y_0 + \Delta Y_r + \Delta Y_t = -C \frac{s}{q}$$

$$r = m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)$$

$$s = m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)$$

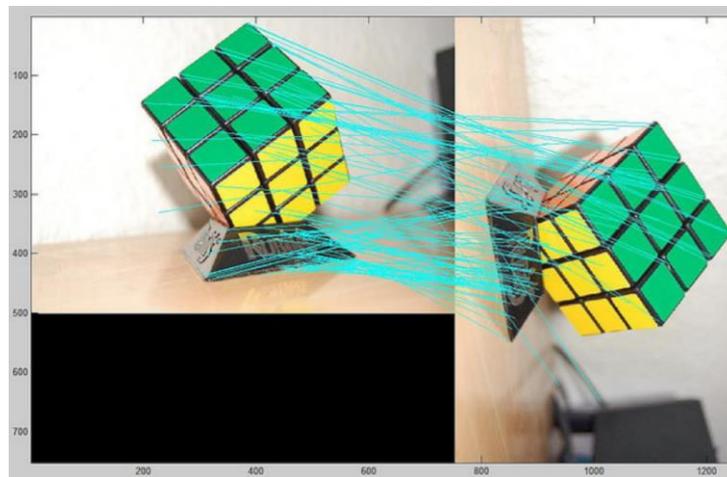
$$q = m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)$$

donde  $X_0, Y_0$  es la posición del punto principal,  $C$  es la distancia focal,  $(\Delta X_r, \Delta Y_r)$  es la variación de  $x$  e  $y$  introducida por la distorsión radial y  $(\Delta X_t, \Delta Y_t)$  es la variación de  $x$  e  $y$  ingresada por la distorsión tangencial.

#### 1.8.4.3 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)

(Flores y Braun, 2011) mencionan este algoritmo que fue publicado por David Lowe en 1999 y tiene la función de despojar características distintas peculiaridades de las imágenes con las cuales se puede comparar con otras o buscar dentro de alguna base de datos. Las particularidades que se extrae con el algoritmo son invariantes en factores de escala, rotación, traslación e iluminación y se pueden obtener mediante la detección de extremos, localización de puntos clave, asignación de orientación y descriptor de puntos clave.

El proceso de SIFT para la fotogrametría es la obtención de un conjunto de datos de cada imagen que se acumularan en un vector de 128 posiciones, luego de ello este vector se fragmenta por la raíz cuadrada de cada uno de los mecanismos del vector al cuadrado para conseguir que sea invariante a los cambios de iluminación alcanzando que el algoritmo sea más robusto frente a los cambios y consiguiendo más puntos pares entre imágenes como se puede apreciar en la (Figura 22-1). (De Matías, 2013, pp.54-55).



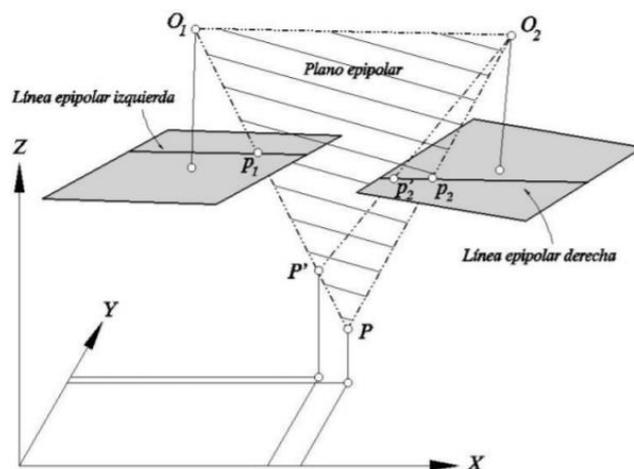
**Figura 22-1:** Emparejamiento SIFT

**Fuente:** (De Matías, 2013, p. 56)

#### 1.8.4.4 Geometría Epipolar

Utilizada para eliminar aquellos emparejamientos que sean erróneos, se la conoce como la geometría de la visión estéreo en donde se dice que un punto P que se proyecta dentro de una imagen también debe ser observado en la otra imagen que forma el plano epipolar lo que facilita una restricción para evidenciar si el punto P pertenece al punto en el espacio, esta condición se llama coplanarias es decir que el punto pertenece al mismo plano. Se discurre a una imagen epipolar cuando sus líneas de píxeles

corresponden a las líneas epipolar de la otra imagen como se aprecia en la (Figura 23-1). (Aguirre, 2016, pp.119-120).



**Figura 23-1:** Geometría epipolar

Fuente: (Aguirre, 2016, p. 120)

#### 1.8.4.5 Orientación externa

En la orientación se procede a calcular parámetros extrínsecos de las cámaras como los valores de posicionamiento en el espacio tridimensional de la cámara y la orientación de la cámara en relación con los ángulos de rotación.

En la mayoría de los casos se lo ejecuta por medio de un ajuste de rayos o *Bundle adjustment* en el cual maneja algoritmos de mínimos cuadrados como el *Levenberg-Marquard* el cual intenta ajustar el grupo de rayos que unen las proyecciones y los puntos físicos variando los parámetros apreciados para que el error sea el mínimo. (De Matías, 2013, pp.57-58).

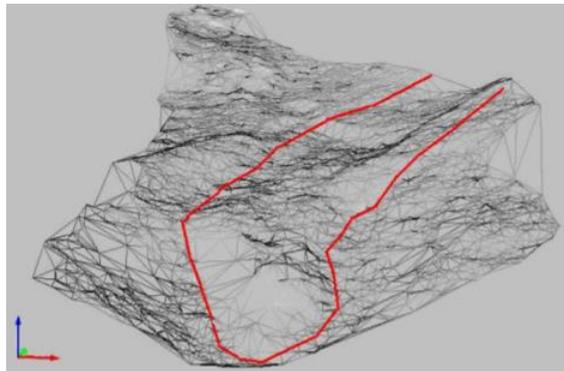
#### 1.8.4.6 Triangulación

La triangulación se maneja para calcular desde los rayos de retroproyección de dos imágenes un punto coincidente en el plano 3D. Para cada emparejamiento  $(x, x')$  se debe cumplir que en el punto  $X$  se encuentren las proyecciones  $(P$  y  $P')$  como se observa en la (Ecuación 11-1). (De Matías, 2013, pp.59-60)

$$x=PX \quad x'=P'X \quad \text{Ecuación 7-1}$$

#### 1.8.4.7 Superficie TIN

La superficie irregular TIN (*Triangular Irregular Network*) son una nube de puntos 3D que sirven para posteriormente calcular los mapas de profundidad. Una de las soluciones es manejar el algoritmo de triangulación Delaunay el cual forma la envolvente convexa del conjunto de puntos creando que los ángulos del interior de los triángulos sean lo más grandes posibles y que ningún vértice de un triángulo sea compartido con otro triángulo como se puede estimar un ejemplo en la (Figura 24-1). (De Matías, 2013, pp.60-61).



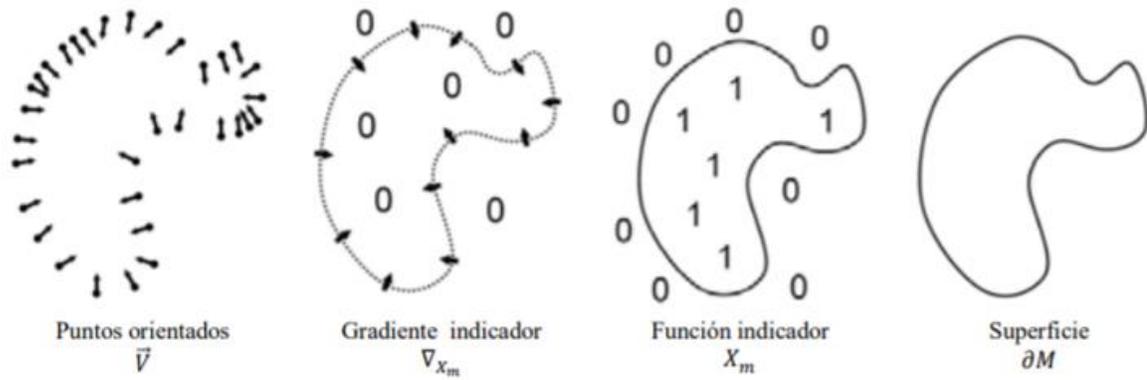
**Figura 24-1:** Triangulación por Delaunay

Fuente: (De Matías, 2013, pp.61)

#### 1.8.4.8 Mapas de profundidad

En la generación de mapas de profundidad se busca llegar a tener un modelo mallado global para lo cual se selecciona un conjunto de vistas de la escena y las matrices de proyección. Para efectuar este proceso se debe elegir una imagen y correlacionarla con las demás recorriendo sus rayos de retroproyección constituyendo la profundidad que se haya establecido para cada escena que se quiera reconstruir. (De Matías, 2013, pp.62-64).

Otra forma es mediante la reconstrucción de superficies de Poisson, el cual utiliza el gradiente de una función indicador el cual es cero en casi todas partes porque la función indicadora es constante casi en todas partes y será igual a la superficie en los puntos cercanos. Por lo tanto, los puntos en el espacio se consiguen ver como muestras del gradiente de la función indicador como se puede ver en la (Figura 25-1). (Flores, 2013, p. 99).



**Figura 25-1:** Reconstrucción Poisson

Fuente: (Flores,2013, p.99)

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METOLÓGICO

#### 2.1 Selección de Dispositivos hardware y software

En la selección de dispositivos se emplea el método de porcentaje ponderado que sirve para elegir de entre dos o más opciones la mejor. El método consiste en fijar un puntaje de importancia y una calificación de 0-5 a cada factor dependiendo de lo que considere el analista, posteriormente se emplea la fórmula (Ecuación 1-2) alcanzando el puntaje ponderado.

$$E.P.=\text{PUNTAJE}*\text{CALIFICACIÓN}/100 \quad \text{Ecuación 1-2}$$

##### 2.1.1 Selección del Dron submarino

En la (Tabla 1-2) podemos observar la evaluación para la selección del dron submarino que se manejó en el sistema.

**Tabla 1-2:** Selección del dron submarino

Característica	Puntaje	Posibles Opciones de Dron			
		Dron Nemo		Fi-Fish V6	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Capacidad de inmersión al agua	20	5	1	5	1
Capacidad de movilidad dentro del agua	15	4	0,6	5	0,75
Cámara HD Submarina Integrada	20	5	1	3	0,6
Capacidad de almacenamiento	18	5	0,9	5	0,9
Bajo costo	09	5	0,45	4	0,36
Disponibilidad	18	5	0,9	0	0,0
Total	100		4,85		3,61

Realizado por: (Ganan,2020)

La elección del dron Nemo para el sistema se efectuó debido a que exhibe la mayor evaluación ponderada basándose en aspectos primordiales como son la capacidad de inmersión al agua y además el dron sujeta una cámara con la cual se puede efectuar tomas de hasta 16M para la adquisición de datos. La razón principal por la que se hizo la nominación del dron submarino Nemo es la disponibilidad debido a que este dron se encuentra en los laboratorios de electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 2.1.2 Selección de Gafas de realidad virtual

Se puede observar en la (Tabla 2-2) la evaluación que se efectuó para la elección de las gafas de realidad virtual a utilizar.

**Tabla 2-2:** Selección de gafas de realidad virtual

Característica	Puntaje	Posibles Opciones de Gafas de RV					
		HTC VIVE		OCULUS RIFT		Para Smartphone	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Compatibilidad con el motor de RV	20	5	1	5	1	5	1
Calidad de Pantalla	20	5	1	5	1	4	0,8
Sensores	20	5	1	4	0,8	3	0,6
Comodidad	20	4	0,8	4	0,8	3	0,6
Disponibilidad	20	0	0,0	0	0,0	5	1
Total	100		3,8		3,6		4

Realizado por: (Ganan,2020)

La selección de las gafas para smartphone se realiza ya que exhiben la mayor evaluación ponderada tomando en cuenta factores como la compatibilidad con el motor de realidad virtual a ser manejado en el sistema, una buena calidad de pantalla y que contenga sensores significativos como el giroscopio esto es debido también a la disponibilidad que se tiene del smartphone Huawei mate 20 lite y el cual sujeta las características descritas en la (Tabla 7-1).

### 2.1.3 Selección del software de procesamiento de imágenes

En la (Tabla 3-2) se encuentra la evaluación que se efectuó para la selección del software de procesamiento.

**Tabla 3-2:** Selección del software de procesamiento

Característica	Puntaje	Posibles Opciones de software			
		Agisoft Metashape		Pix4D	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Capacidad de orientar imágenes	20	5	1	5	1
Capacidad de orientar sin georreferencia	20	5	1	3	0,6

Capacidad de generar nubes de puntos	20	5	1	5	1
Capacidad de generar mallas en 3D	20	5	1	5	1
Capacidad de generar una textura en 3D	20	5	1	5	1
Total	100		5		4,6

Realizado por: (Ganan,2020)

En la selección adecuada del software de procesamiento de imágenes se discurre aspectos muy importantes como la capacidad de orientar imágenes sin georreferencia, capacidad de crear nubes de puntos, capacidad de crear mallas en 3D y la capacidad de crear una textura en 3D para poder llevar el modelo hasta el motor de realidad virtual.

Con una simple deducción se llega a la conclusión que Agisoft Metashape cumple mejor estas particularidades en comparación con respecto a Pix4D ya que este software es más manejado para fotogrametría con drones aéreos donde ejecutan tomas desde puntos elevados en el cielo con imágenes georreferenciadas en cambio Agisoft permite orientar datos sin la necesidad que estas sujeten algún tipo de referencia.

### 2.1.4 Selección del motor de realidad virtual

En la (Tabla 4-2) se encuentra la evaluación que se realiza para la selección del motor de realidad Virtual.

**Tabla 4-2:** Selección del motor de Realidad Virtual

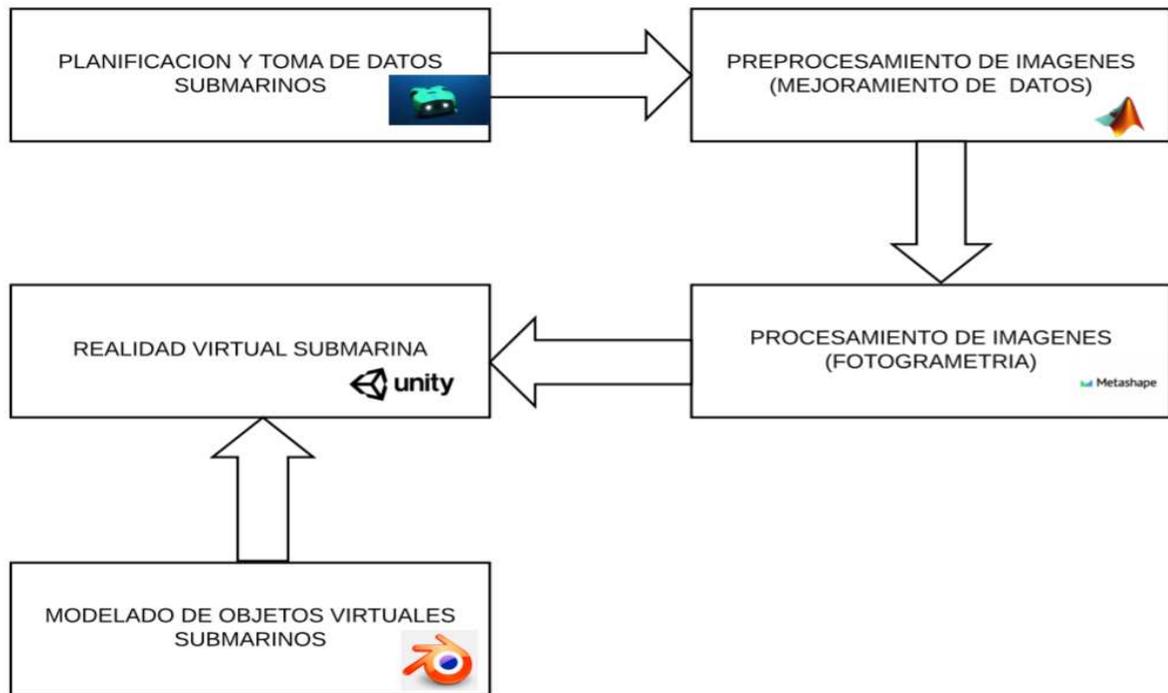
Característica	Puntaje	Posibles Opciones de Dron			
		Unity3D		Unreal Engine	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Soporte 2D Y 3D	20	5	1	5	1
Integración con el software de procesamiento	20	5	1	5	1
Programación	20	5	1	5	1
Calidad Visual	20	5	1	5	1
Aprendizaje	20	5	1	3	0,6
Total	100		5		4,6

Realizado por: (Ganan,2020)

Se efectuó la selección de Unity3D como motor de la realidad virtual ya que presenta una mayor evaluación ponderada y cumple con las particularidades necesarias para el sistema.

## 2.2 Algoritmo para reconstrucción del entorno submarino

Para el desarrollo del sistema se exhibe el siguiente algoritmo a seguir para la reconstrucción del entorno submarino (Figura 1-2).



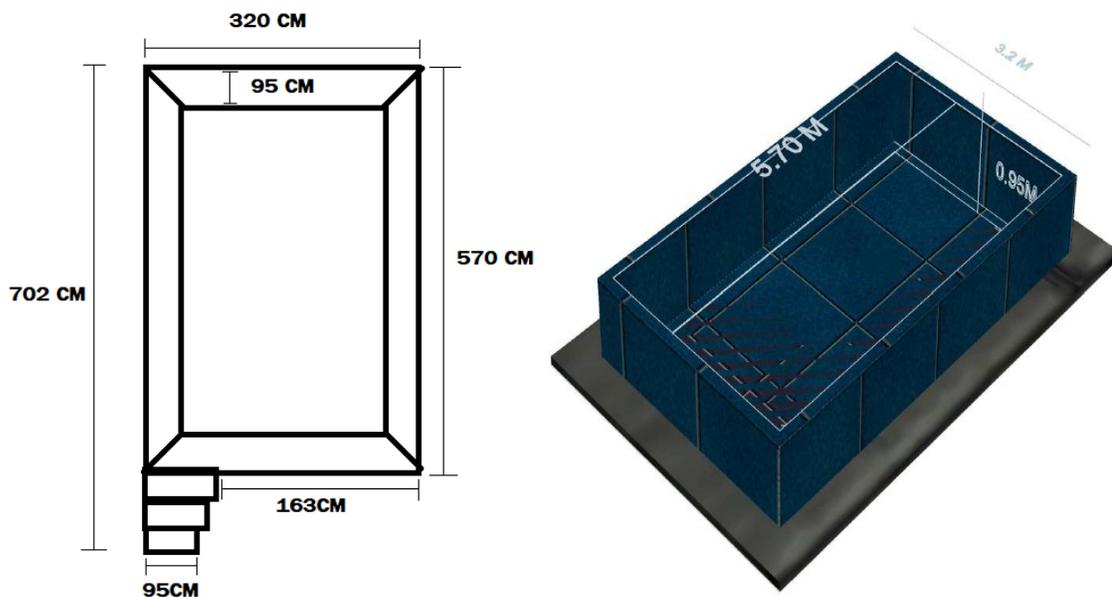
**Figura 1-2:** Algoritmo para reconstrucción de un entorno submarino

Realizado por: (Ganan,2020)

Posteriormente de que se efectuó la investigación y selección de los dispositivos hardware y software se proviene con el desarrollo del sistema que en principio se ejecuta la adquisición de imágenes por medio del dron submarino Nemo y un iPad como control del dispositivo, esto se efectuó dentro de la piscina de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo previo a una planificación para la toma de imágenes. Posteriormente se ejecutó un preprocesamiento de las imágenes para poder corregir y optimar las tomas manejando el software Matlab. Posteriormente las imágenes pasaron al programa Agisoft en donde se hizo el procesamiento de las imágenes (fotogrametría) hasta obtener un modelo en 3D, el cual se trasladó hasta el motor de realidad virtual Unity3D. Además, se modeló objetos virtuales submarinos por medio del software Blender para hacer el entorno de realidad virtual más realista y que se pueda apreciar de mejor manera por medio de las gafas de RV.

### 2.3 Planificación y toma de datos submarinos

Las imágenes necesarias para el sistema se las consiguió con el dron submarino Nemo y un iPad de control los cuales se encuentran en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Las imágenes fueron captadas en la piscina de la misma institución que sujeta una dimensión de 320\*570\*95 cm como se puede apreciar en la (Figura 2-2). La meta de este literal es la adquisición de datos en el entorno submarino



**Figura 2-2:** Piscina de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Realizado por: (Ganan,2020)

#### 2.3.1 Características necesarias que se obtienen del dron Nemo

El dron presenta ciertas particularidades para la obtención de imágenes dentro del agua los cuales se pueden observar en la (Tabla 5-2).

**Tabla 5-2:** Especificaciones necesarias del Dron Submarino Nemo

Característica	Descripción
Capacidad de sumergirse en el agua	Si
Cámara Submarina	Sony con procesador Ambarella TM de lente gran angular 4K/30fps(video)/16M(imagen)
Motores para la movilidad	Waterproof Anti-corrosive Motor
Memoria de Almacenamiento	64 GB

Fuente: (AQUAROBOTMAN, 2019)

Realizado por: (Ganan, 2020)

Las especificaciones que se restringen en la página oficial de la empresa AquaRobot refieren al dron submarino como un robot totalmente con la capacidad de sumergirse dentro del agua a comparación de otros drones que solo se pueden mantener en la superficie.

La cámara se encuentra totalmente impermeabilizada para que pueda ser inmersa en el agua consintiendo efectuar fotografías de hasta 16M UHD, que fue suficientemente bueno para efectuar buenas tomas en la restauración del entorno submarino.

### ***2.3.2 Limitaciones del dron Nemo***

Aunque el dron submarino tiene un buen nivel de tecnología integrado presentó varias limitaciones que hicieron más difícil el procesamiento y obtención de las imágenes a insistencia se enumera esas limitaciones.

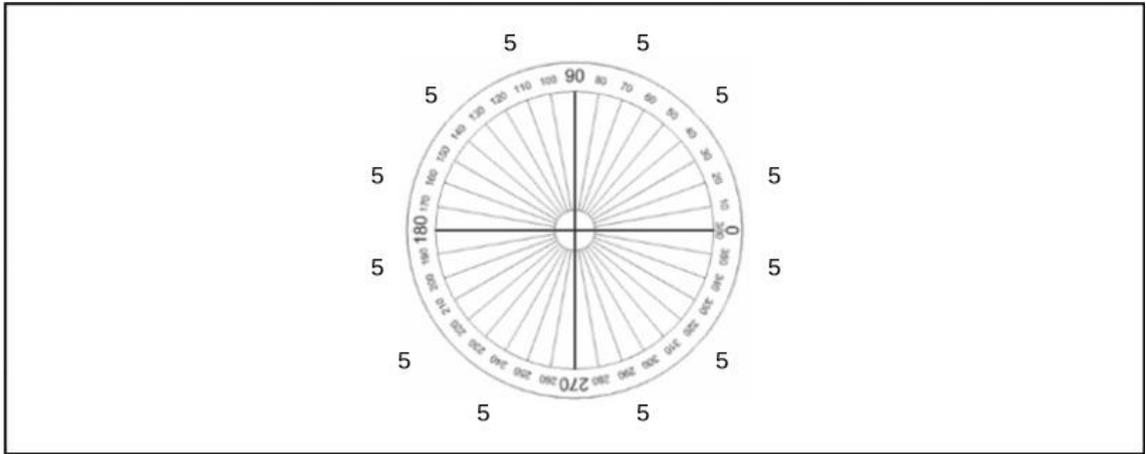
-El dron no cuenta con algún dispositivo o sensor para lograr coordenadas de referencia e ir integrando las imágenes.

-Solo la base del Dron cuenta con Wi-fi mientras que la base se conecta por medio de un cable al dron por lo que se hizo complejo la movilidad del dron.

### ***2.3.3 Planificación de la toma de datos***

Para la planificación de la obtención de datos se pensaba efectuar en forma de cuadrícula, pero al ver que el dron no dispone de coordenadas de referencia y colocar un sensor dentro del agua no es tan factible se optó por captar las imágenes utilizando el método de generación de volúmenes.

En este caso para este método se debe efectuar 3 pasadas circulares a distintas alturas con una diferencia de 5 a 10 grados de cada imagen (Aerial Insights, 2017). Por consecuencia de que la piscina no tiene demasiada profundidad no fue necesario efectuar las 3 pasadas y se efectuó una planificación con 1 sola pasada alrededor de un punto fijo en el centro de la piscina en el punto más bajo de la piscina efectuando 5 fotografías cada 30 grados como se puede observar en la (Figura 3-2). Con lo cual se pudo obtener todos los ángulos del entorno submarino.



**Figura 3-2:** Planificación de toma de datos en la piscina

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.3.4 Recolección de datos

Posteriormente que se efectuó la planificación se procedió a efectuar la toma de datos dentro del entorno submarino consiguiendo 55 capturas (Figura 4-2). Estas imágenes cubren toda la piscina y la persona que se hallaba dentro del entorno submarino en el punto central para luego efectuar el preprocesamiento de estos datos.



**Figura 4-2:** Recolección de imágenes submarinas

Realizado por: (Ganan, 2020)

## 2.4 Preprocesamiento de imágenes

El preprocesamiento de las imágenes se efectúa por que las imágenes submarinas suelen presentar imperios por los colores azul, verde y amarillo debido a la turbidez del agua, baja visibilidad y falta de luz que cambian el color de la imagen. En las imágenes submarinas no se puede efectuar fotogrametría sin antes realizar una mejora previa, por lo tanto, el preprocesamiento de imágenes es necesario para la corrección del color, el contraste, la exclusión de sombras y la reducción de los reflejos para conseguir más puntos coincidentes entre pares de imágenes (Abdelazis y Elsayed, 2019, p. 4).

A las imágenes que se tomaron con el dron submarino Nemo se les aplicó el mejoramiento de baja luz, para lo cual se debe usar el algoritmo de técnicas de eliminación de turbidez el cual se puede observar en la (Figura 5-2).

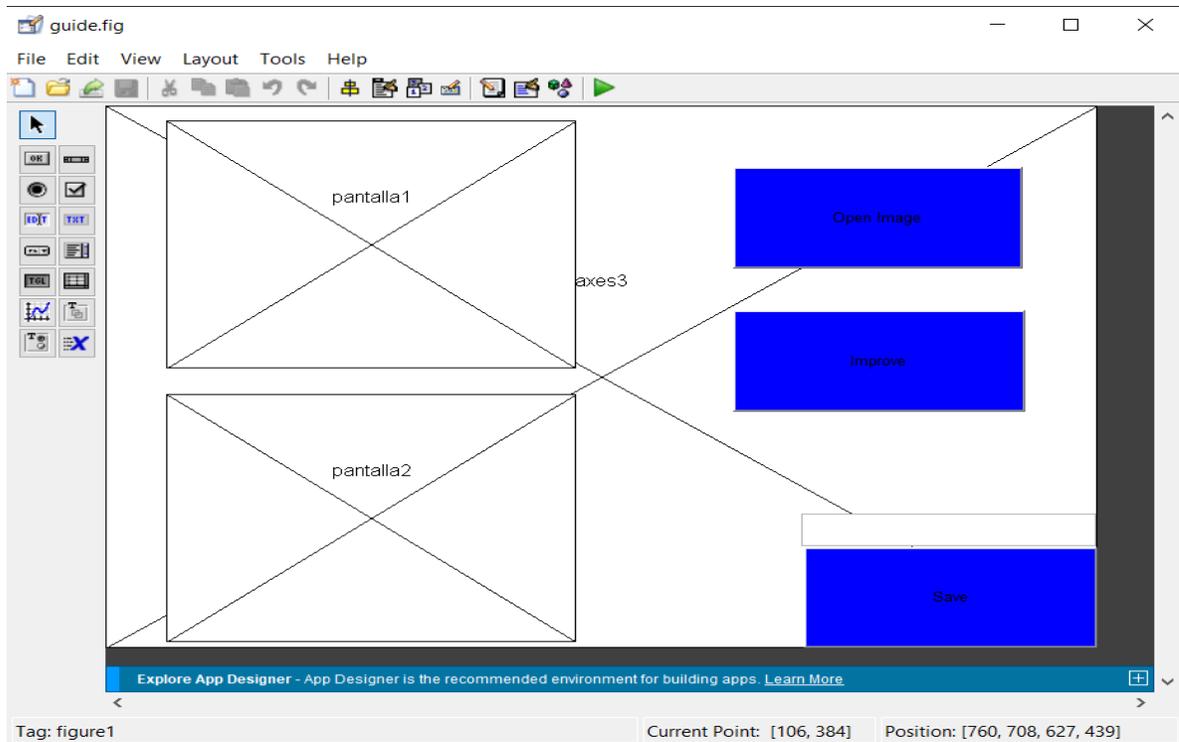


**Figura 5-2:** Algoritmo de mejoramiento de imagen

Fuente: (MathWorks, 2020)

### 2.4.1 Guide en Matlab

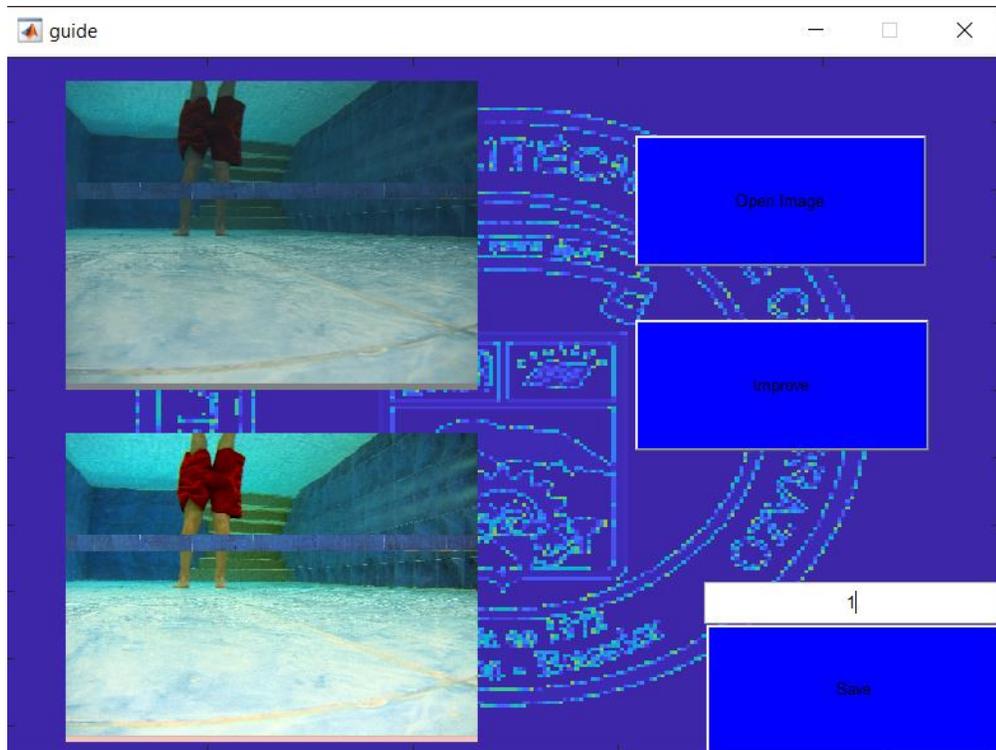
Para la creación del Guide o GUI se crea algunos objetos que son los push buttons los cuales al tratar darán algún mando, los axes para observar las imágenes de entrada y salida, además se añade un edit. text el cual funciona para ingresar el nombre de la imagen a guardar tal y como se puede apreciar en la (Figura 6-2).



**Figura 6-2:** Formato Guide ejecutado en Matlab

Realizado por: (Ganan, 2020)

Se programa cada objeto para que ejecute una respectiva función principiando por asignarle al “Axes3” el fondo de la pantalla, posteriormente se asigna los axes “pantalla1 y pantalla2” como imagen de entrada e imagen de salida respectivamente, se prosigue con la retribución de la función del “botón open” con el cual se puede preferir la imagen a procesar, al botón “improve” se le da la función de verificar el mejoramiento de la imagen y al botón “Save” la función de guardar la imagen con el nombre que se escriba en el “edit text” con el formato “.jpg”. Esta clasificación se la puede observar en el (Anexo B) y el resultado del Guide final en la (Figura 7-2).

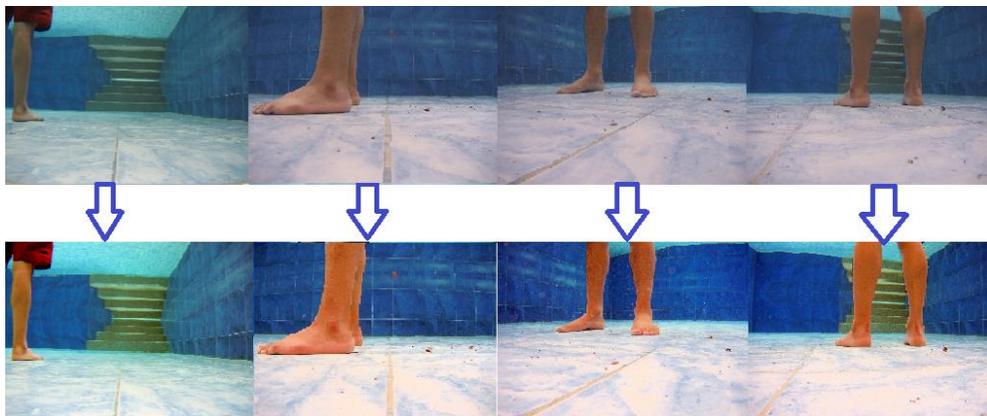


**Figura 7-2:** Resultado final Guide ejecutado en Matlab

Realizado por: (Ganan, 2020)

Posteriormente de que se ejecuta el Guide de Matlab se procede a efectuar el preprocesamiento de todas las imágenes obtenidas con el dron submarino Nemo por medio de este software con el fin de que se mejore esas tomas y poder obtener más puntos coincidentes entre las imágenes cuando sean llevadas al software Agisoft Metashape.

Posteriormente de que se realiza el preprocesamiento de las imágenes se obtiene unas imágenes mejoradas y con más detalle cómo se puede ver en la (Figura 8-2).



**Figura 8-2:** Imágenes mejoradas

Realizado por: (Ganan, 2020)

## 2.5 Procesamiento de imágenes submarinas

Posteriormente que se realiza el preprocesamiento de datos se obtiene imágenes listas para ser llevadas al programa Agisoft Metashape en donde se procedió a efectuar el procesamiento de las imágenes siguiendo una serie de pasos enumerados en la (Tabla 6-2) hasta llegar a un modelo 3D que puede ser exportado al motor del contexto virtual para ser observado en las gafas de realidad virtual.

**Tabla 6-2:** Pasos de Procesamiento de imagenes submarinas

Característica
1. Configuraciones iniciales
2. Importación de imagenes
3. Alinear imágenes
4. Generar nube de puntos densa
5. Generar malla 3D
6. Generar textura 3D
7. Exportar modelo en 3D

**Fuente:** (AGISOFT, 2018, pp.15-29)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

(Semyonov,2011), miembro del grupo de Agisoft comentó acerca de los pasos y algoritmos utilizados en Agisoft para efectuar el procesamiento de imágenes enumerados a continuación:

-Coincidencias a través de las imágenes en donde se descubren puntos en las fotos bajo la variación de punto de vista e iluminación y se genera un descriptor para cada punto en función de su vecindario local. Estos descriptores se utilizan para detectar correspondencias entre las fotos muy similar al algoritmo SIFT.

-Resolución de parámetros de orientación intrínseca y extrínseca para encontrar ubicaciones aproximadas de la cámara para posterior efectuar un refinamiento con un ajuste de paquetes muy similar al algoritmo bundle.

-Reconstrucción de la superficie para lo cual efectúa un cálculo del mapa de profundidad por pares o utilizando múltiples vistas.

-Mapeado de texturas el cual parametriza una superficie para combinar imágenes y formas un atlas de texturas.

### 2.5.1 Configuraciones Iniciales en Agisoft

En Agisoft antes de que se pueda efectuar el procesamiento de imágenes se debe configurar los parámetros privilegiados por el manual de usuario del software Agisoft. (Cepero, 2015, pp. 29-30).

Se ingresa a la parte de Preferentes desde el menú *Tools* y se procede a efectuar las configuraciones tal y como se puede apreciar en la (Figura 9-2).

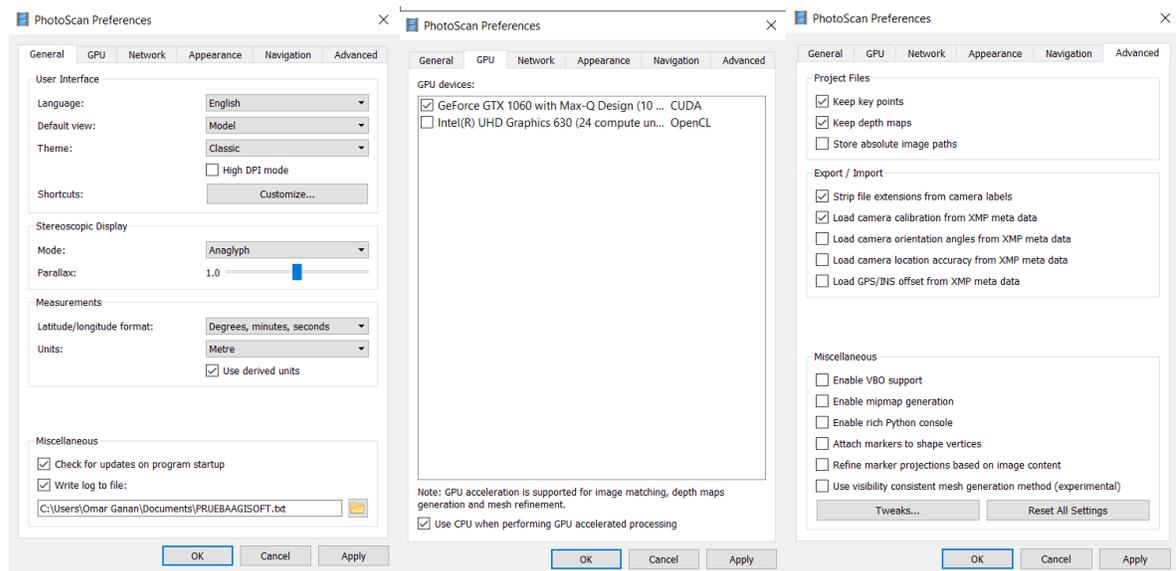
Los parámetros que se deben establecer son los siguientes:

-En la ficha General: se selecciona el lenguaje, se elige la vista por defecto: modelo, y se detalla el archivo tipo texto donde se almacenará los registros de Agisoft.

-En la Ficha GPU: Se debe elegir la mejor GPU para efectuar el procesamiento en este caso se eligió NVIDIA 1060

-En la Ficha Advanced: Se mantiene activado: *Keep key points*, *Keep Depth maps*, *Strip file from camera labels*, *Load camera Calibration from XMP meta data*.

Los parámetros establecidos anteriormente son con la finalidad de tener un mejor procesamiento de las imágenes.



**Figura 9-2:** Configuraciones iniciales en Agisoft

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.5.2 Cargar Imágenes Submarinas En Agisoft

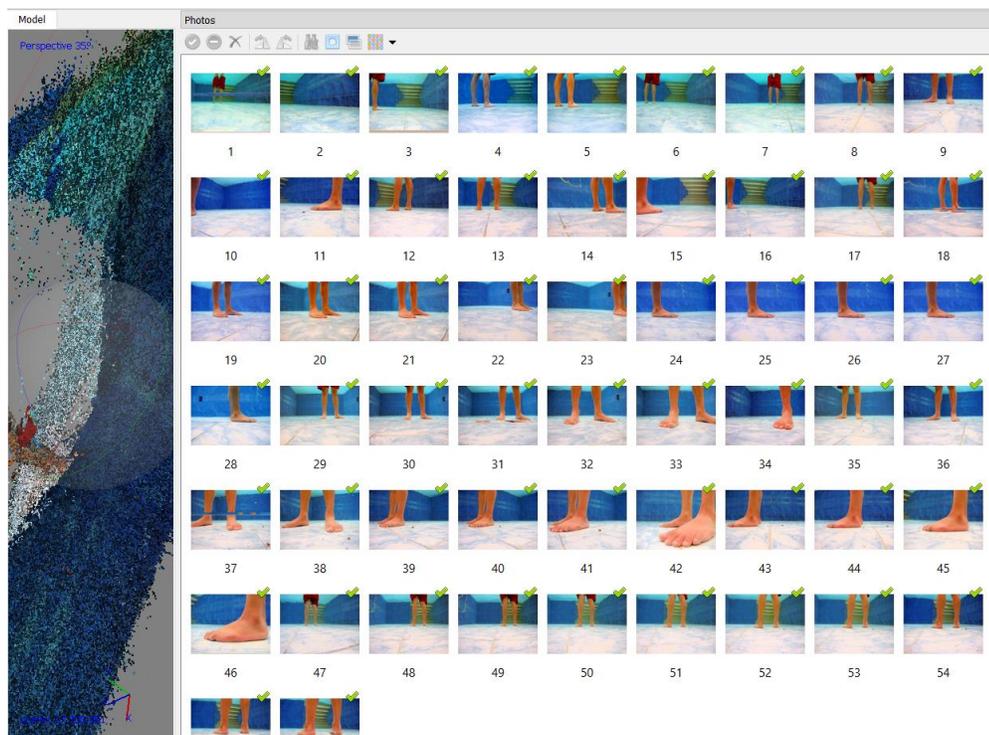
Las imágenes necesarias para ser cargadas en Agisoft deben estar en una carpeta y si es posible en el orden en el que fueron capturadas para la alineación de puntos en común.

Agisoft permite formatos de imágenes como JPEG, TIFF, DNG, PNG, OPENEXR, BMP, TARGA, PPM, PGM, SEQ, ARA, MPO. En el caso que existan otros formatos es necesario convertir en formatos soportados por el software, esta información se encuentra en el manual de usuario de Agisoft.

Para cargar imágenes se selecciona *Add Photos* desde la pestaña del *Workflow* posteriormente se busca y se selecciona las imágenes que se desea procesar y por último se hace clic en el botón *Open*. (AGISOFT, 2018, p. 15).

Las imágenes importadas se pueden observar en el panel *workspace* como se puede apreciar en la (Figura 10-2).

Las imágenes por procesar en el software son llamadas como *cameras* las cuales pueden ser removidas en cualquier momento seleccionando cualquiera en el *workspace* y haciendo clic en el botón *remove* desde el *toolbar*.



**Figura 10-2:** Imágenes importadas en el workspace de Agisoft

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.5.3 Alinear imágenes

Una vez que se cargaron las imágenes al software se deben alinear las imágenes, este proceso se efectuó para encontrar la posición u orientación de cada *camera* y poder erigir un modelo de puntos dispersos.

El proceso para alinear imágenes es ingresar al cuadro de dialogo de *Align Photos* desde la pestaña *Workflow*. (AGISOFT, 2018, pp. 18-19).

En este paso (Cepero, 2015, pp. 31-32) explicó que se ejecuta la comparación de cada imagen encontrando puntos de solapamiento entre las mismas y además Agisoft calcula los valores iniciales del tamaño del píxel del sensor y los parámetros de distancia focal tomando datos del EXIF de las imágenes, si no existe datos en el EXIF el software asume que el recorrido focal es de 50mm.

En el cuadro de dialogo *Align Photos* se restringen algunos parámetros que se pueden modificar a continuación en la (Tabla 7-2) se puede apreciar estos datos.

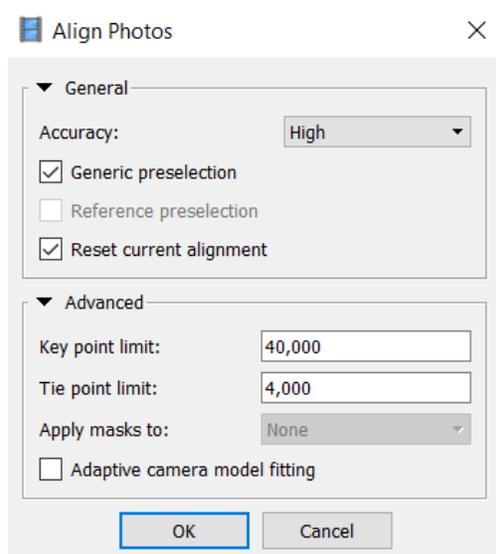
**Tabla 7-2:** Parámetros de *Align Photos*

Parámetro	Descripción
<i>Acuracy</i>	Permite seleccionar con que precisión se desea tener las posiciones de la cámara una precisión alta tomará más tiempo que una baja.
<i>Generic Preselection</i>	En el modo de preselección genérico primero hace coincidir los grupos de fotos superpuestas con una precisión más baja para acelerar el procesamiento (Se lo utiliza cuando no se conoce las posiciones de las <i>cameras</i> ).
<i>Reference Preselection</i>	Se utiliza más cuando solo existen pocos puntos en común y las imagenes contienen georreferenciación
<i>Reset current alignment</i>	Eliminará todos los puntos coincidentes de alineaciones anteriores.
<i>Key point limit</i>	Indica el límite máximo de puntos claves coincidentes que puede contener cada imagen.
<i>Tie point limit</i>	Indica el límite máximo de puntos coincidentes para cada imagen. Se recomienda un valor de 4000 ya que un valor más alto o bajo puede hacer que se pierdan partes del modelo de nube de puntos densa.
<i>Apply masks to</i>	Esta opción hace que ciertos puntos de enlace se excluyan del procedimiento de alineación.
<i>Adaptive camera model fitting</i>	Para conjunto de datos con geometría de cámara fuerte.

**Fuente:** (AGISOFT, 2018, pp. 20-21)

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

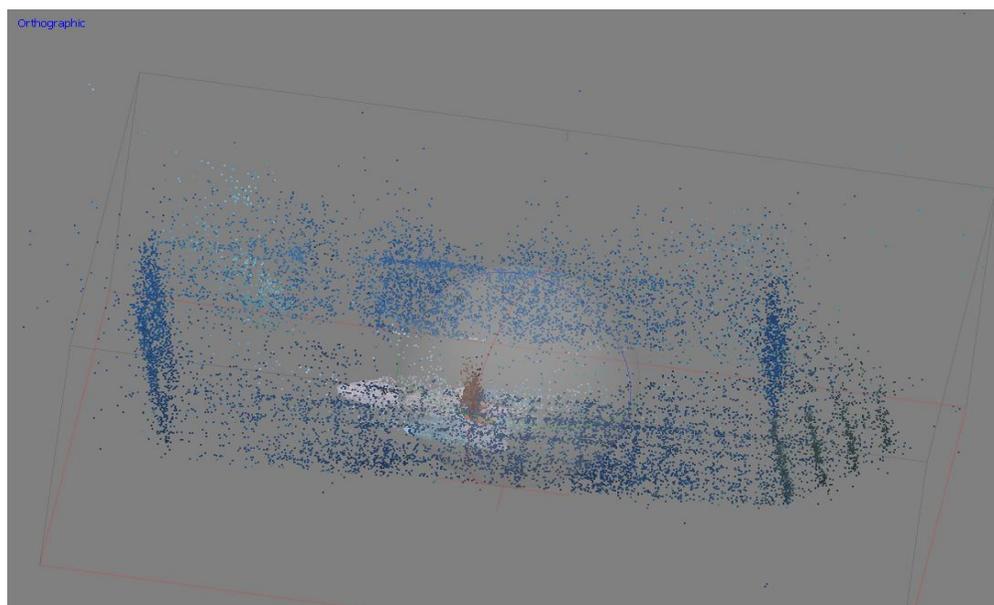
Los parámetros que se asignaron en la alineación de imágenes fue el recomendado por el manual de usuario del software y se puede apreciar en (Figura 11-2).



**Figura 11-2:** Alineación de Imágenes

Realizado por: (Ganan, 2020)

Posteriormente que se efectuó la alineación de las imágenes se obtiene una nube de puntos dispersa del entorno submarino el cual se puede observar en el *workspace* de Agisoft y exhibido en la (Figura 12-2).



**Figura 12-2:** Nube de puntos dispersa

Realizado por: (Ganan, 2020)

#### 2.5.4 Construcción de nube de puntos Densa del entorno submarino

Posteriormente que se efectuó la alineación de imágenes se procede a efectuar la generación de la nube de puntos densa a partir de la orientación de las *cameras* calculando información de profundidad para cada imagen y poder unir las en una sola nube de puntos densa. Este proceso es el que consume más tiempo y recursos del PC.

Para poder efectuar la nube de puntos se debe ingresar al cuadro de dialogo *Build Dense Cloud* desde la pestaña *workflow*. (AGISOFT, 2018, pp. 22-23).

Los parámetros que se pueden configurar en el cuadro de dialogo *Build Dense Cloud* se presenta en la (Tabla 8-2).

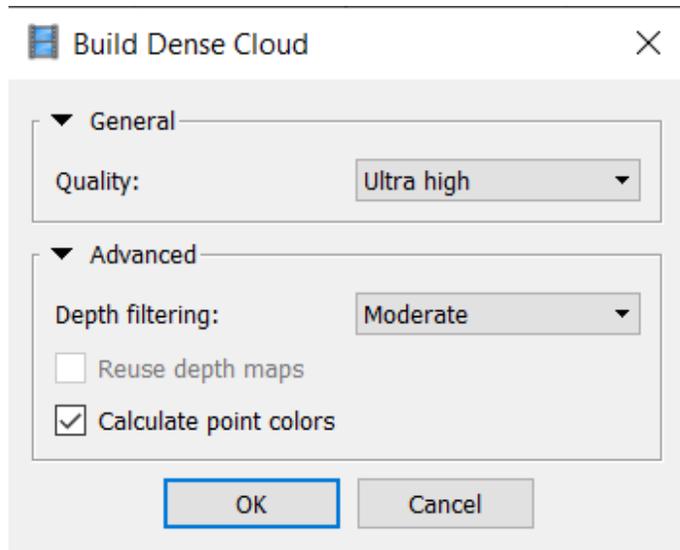
**Tabla 8-2:** Parámetros de *Build Dense Cloud*

Parámetro	Descripción
<i>Quality</i>	Indica la calidad geométrica de la reconstrucción deseada. Con una mayor calidad se obtienen más puntos, pero requiere usar más recursos del PC.
<i>Depth Filtering</i>	Sirve para seleccionar el nivel de filtrado que se requiera para datos atípicos entre los puntos en los mapas de profundidad -Mild: si hay detalles que se distinguen bien. -Aggressive: Si no contiene detalles significativos -Moderate: se encuentra entre Mild y Aggressive
<i>Reuse depth maps</i>	Para reutilizar fragmentos de mapas de profundidad anteriores.
<i>Calculate point colors</i>	Para tomar datos del color de los puntos se puede desmarcar si no se necesita el color.

**Fuente:** (AGISOFT, 2018, pp. 22-23).

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

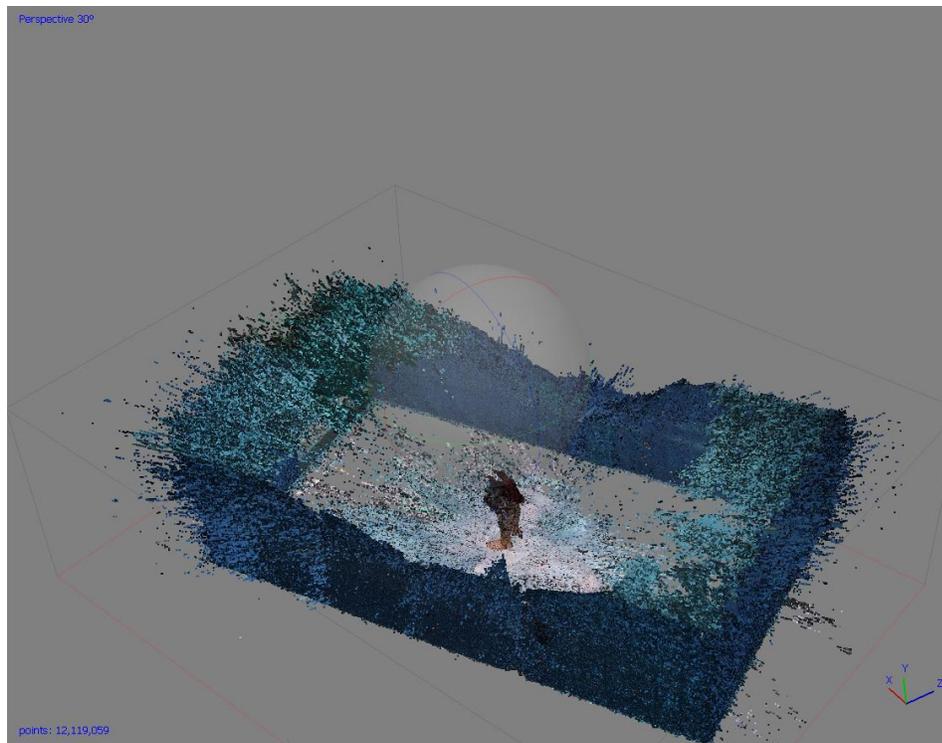
Los parámetros que se seleccionó en la generación de nube de puntos densa del entorno submarino se restringen en la (Figura 13-2) según lo recomendado por el software.



**Figura 13-2:** Parámetros para crear la nube de puntos densa

Realizado por: (Ganan, 2020)

El proceso de crear la nube de puntos densa del entorno submarino se culminó posteriormente de algunas horas y cuyo resultado se encuentra en el workspace de Agisoft y se puede observar en la (Figura 14-2).



**Figura 14-2:** Nube de puntos densa del entorno submarino

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.5.5 Generación de la malla del entorno submarino

Posteriormente que se repite la nube de puntos densa se puede reconstruir la malla poligonal tomando la información de profundidad calculada.

En este paso el software genera una superficie tridimensional realizando la generación de múltiples polígonos tomando los puntos en el espacio.

Para crear la malla se debe ingresar al cuadro de dialogo *Build Mesh* desde la pestaña *workflow*. (AGISOFT, 2018, pp. 23-25).

Agisoft tiene varios métodos y parámetros para la creación de la malla a partir de un conjunto de datos dado, estas particularidades se enumeran en la (Tabla 9-2).

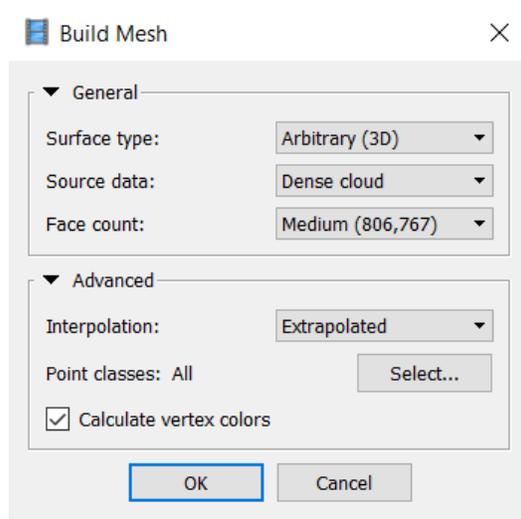
**Tabla 9-2:** Parámetros de *Build Mesh*

Parámetro	Descripción
<i>Surface type</i>	Se puede elegir entre dos tipos de superficie que se desea: <i>Arbitrary</i> : Para modelar cualquier tipo de superficie, dedicado para objetos cerrados. <i>Height field</i> : Se usa para modelar superficies planas como terrenos o relieves.
<i>Source Data</i>	Se indica cual es la fuente para tomar los datos y realizar la malla las opciones son desde la nube de puntos dispersa, desde la nube de puntos densa.
<i>Face Count</i>	Indica la cantidad máxima de polígonos en la malla final donde se puede elegir entre alta con una relación de 1/5, media con una relación de 1/15, y baja de 1/45 puntos.
<i>Interpolation</i>	Se utiliza para el llenado de agujeros por falta de información en el caso de ser desactivado solo se realizarán polígonos con los puntos existentes. En el modelo extrapolado el modelo se genera sin agujeros.
<i>Point Clases</i>	Especifica que nube de puntos se utilizará para la generación de algún tipo de malla en específico como un DTM o DSM.
<i>Calculate Vertex Color</i>	Cuando la nube de puntos contiene información de color, esta opción permite calcular los colores de los vértices de la malla y mostrar los colores interpolados en los polígonos

**Fuente:** (AGISOFT, 2018, pp. 23-25).

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

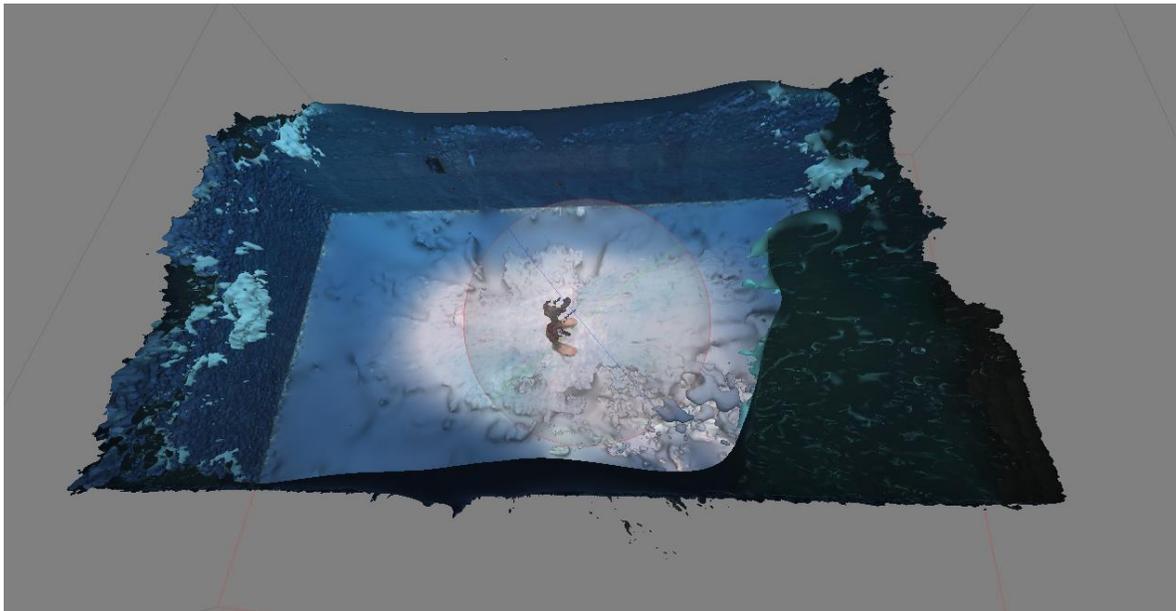
Los parámetros que se seleccionó en la generación de la malla del entorno submarino se restringen en la (Figura 15-2) según lo recomendado por el manual de usuario del software.



**Figura 15-2:** Parámetros para crear la malla

Realizado por: (Ganan, 2020)

Posteriormente a que se concluye el proceso de erigir la malla poligonal del entorno submarino se lo puede observar en el *workspace* de Agisoft y se puede apreciar en la (Figura 16-2).



**Figura 16-2:** Malla poligonal

Realizado por: (Ganan, 2020)

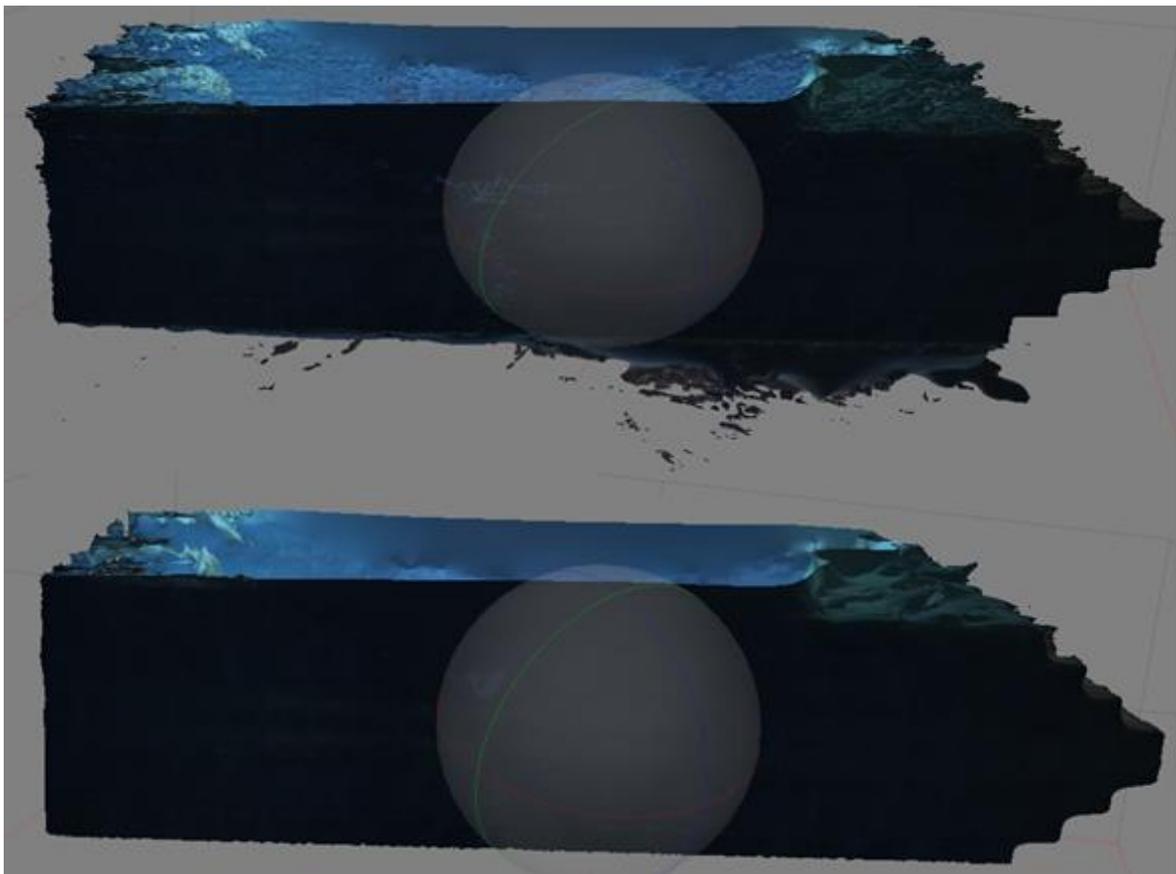
### 2.5.5.1 Editar malla poligonal

A la malla se le modifica con el objetivo de eliminar polígonos mal generados o partes que no son importantes también se puede suavizar o hacer más lisa la figura y por último se puede cerrar agujeros cuando se crea la malla por interpolación esto se realiza para que posteriormente se pueda formar la textura del entorno submarina de mejor forma visual.

Para poder eliminar polígonos se debe manejar las herramientas de *Selection* que se restringen en la barra *Toolbar*, posteriormente de elegir se procede a eliminar la sección manejando el botón *Delete Selection*. (AGISOFT, 2018, pp. 25-26).

Si existen agujeros en la malla o se desea hacer más lisos los polígonos se debe ir al apartado *Mesh* desde la pestaña *Tool*.

La malla del entorno submarino no presentó agujeros por lo que el mejoramiento que se le aplicó fue la eliminación de polígonos excedidos de la parte inferior y el alisado de estos una fuerza de 5 como se puede observar en la (Figura 17-2).



**Figura 17-2:** Malla poligonal antes y posteriormente de ser editada

Realizado por: (Ganan, 2020)

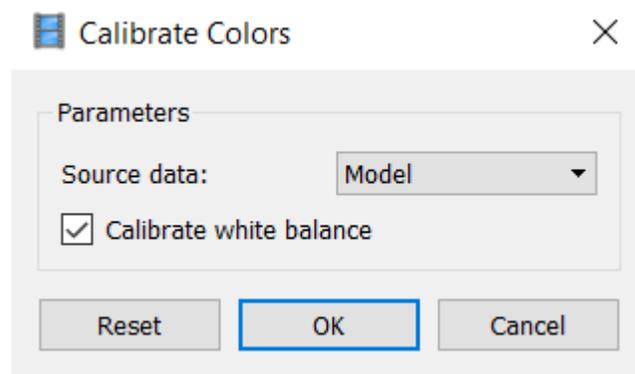
### 2.5.6 Generación de la textura para el modelo del entorno submarino

El último paso del procesamiento es crear la textura del entorno de realidad virtual para poder exportar el modelo hasta el motor de realidad virtual.

Primero se debe ingresar a calibrar los colores en la opción *Calibrate Colors* desde la pestaña *Tools* en el software con el fin de igualar el brillo y hacer el balance de blancos de las imágenes. (AGISOFT, 2018, pp. 26-27).

Dentro del cuadro de dialogo se pueden delimitar parámetros como los datos fuente que son de la nube dispersa utilizado para una estimación rápida pero no muy efectiva, otra opción es desde el modelo para resultados más precisos cuando la superficie está bien detallada ayuda a optimar la textura del modelo y finalmente se puede calibrar el balance de blancos.

Según las recomendaciones del software se establecen los siguientes parámetros para la calibración de colores que se puede observar en la (Figura 18-2).



**Figura 18-2:** Calibración de Colores

Realizado por: (Ganan, 2020)

Posteriormente que se ejecuta la calibración de los colores se procede a configurar los parámetros necesarios para crear la textura, esto le dará al entorno submarino un aspecto más realista.

Para integrar al cuadro de dialogo de textura se debe ingresar a la opción *Build Texture* desde la pestaña *Workflow*. (AGISOFT, 2018, pp. 26-27).

En el cuadro *Build Texture* se puede encontrar particularidades que se pueden cambiar para optimar la textura del modelo las mismas que se presentan en la (Tabla 10-2).

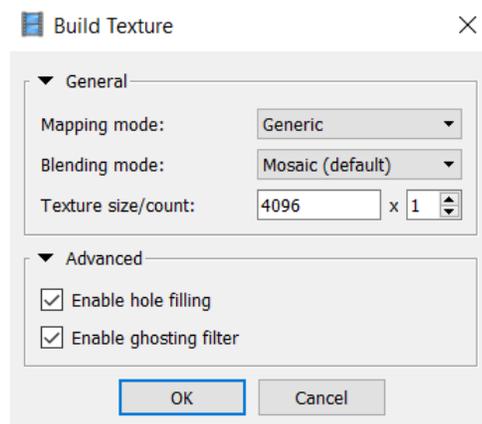
**Tabla 10-2:** Parámetros de *Build Texture*

Parámetro	Descripción
<i>Mapping Mode</i>	Determina como se empaquetará la textura del objeto en el atlas de texturas para una buena calidad visual. Es recomendable usar el modo genérico para geometría arbitraria y el modo ortofoto para superficies.
<i>Blending Mode</i>	Selecciona la forma en que los valores de color de los píxeles de las imágenes se combinan en la textura final. Se utiliza el modo mosaico para que utilice la mayor cantidad de imágenes.
<i>Texture Size Count</i>	Especifica el ancho y alto del atlas de textura del píxel.
<i>Enable hole filling</i>	Llenado de agujeros ayuda a evitar el efecto de sal y pimienta cuando partes pequeñas sombrean otras partes del modelo
<i>Enable ghosting filter</i>	Evita el efecto fantasma en el caso de que existan estructuras delgadas u objetos que no se pudo reconstruir.

Fuente: (AGISOFT, 2018, pp. 28-29).

Realizado por: (Ganan, 2020)

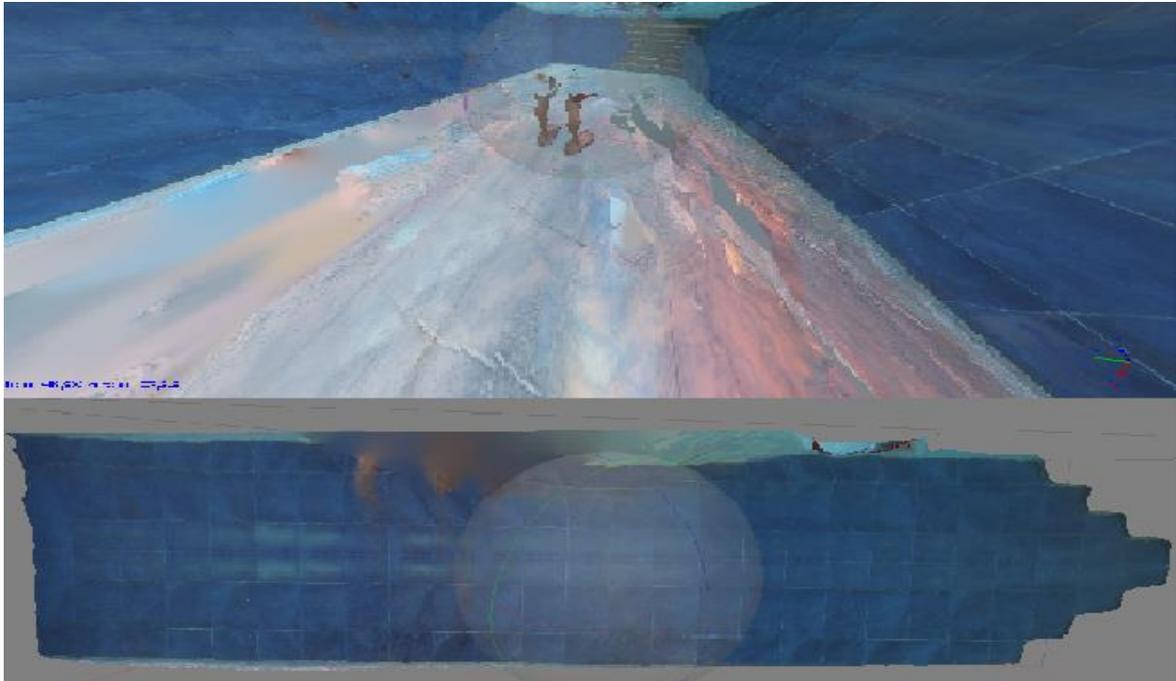
Los parámetros que se seleccionó en la generación de la textura del entorno submarino se restringen en la (Figura 19-2) según lo recomendado por el manual de usuario del software.



**Figura 19-2:** Generación de textura

Realizado por: (Ganan, 2020)

Inmediatamente cuando se termina el proceso de construir la textura del entorno submarino se puede observar el modelo con la textura en la (Figura 20-2).

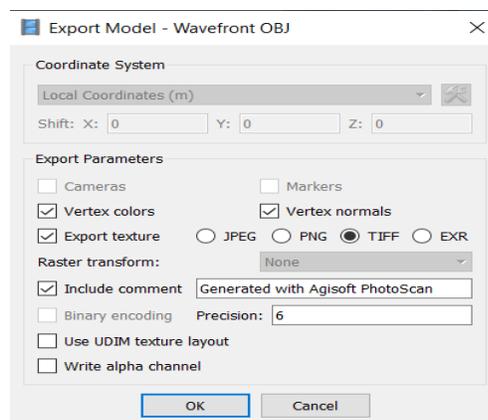


**Figura 20-2:** Generación de textura del entorno submarino

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.5.7 Exportar modelo a Unity3D

Para exportar el modelo de Agisoft a Unity se debe elegir *Export Model* desde *File Menu* en el software, posteriormente se selecciona la carpeta donde se guarda los archivos y se debe exportar como archivo obj, posteriormente se abrirá el cuadro de dialogo de modelo de exportación donde se debe detallar la textura como archivo tiff para conservar el formato en la más alta resolución. (Figura 21-2). (AGISOFT, 2018).



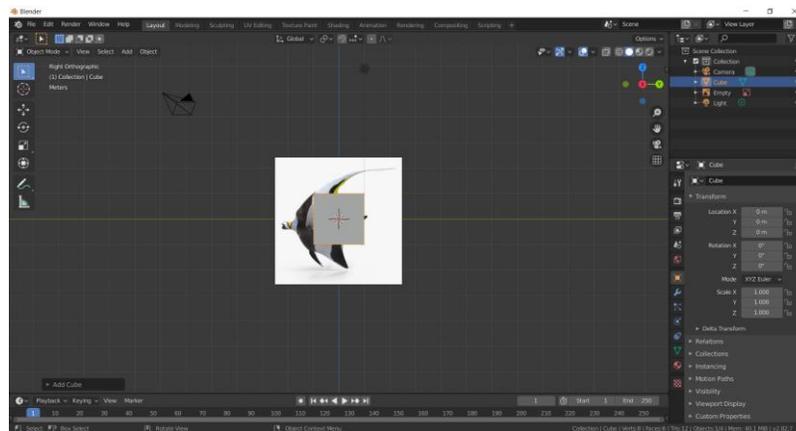
**Figura 21-2:** Exportar Modelo

Realizado por: (Ganan, 2020)

## 2.6 Modelado de objetos virtuales en Blender

Para efectuar el modelado de objetos se basó en el manual del software Blender de donde se obtuvo todas las instrucciones y comandos para formar los objetos. (Blender, 2019).

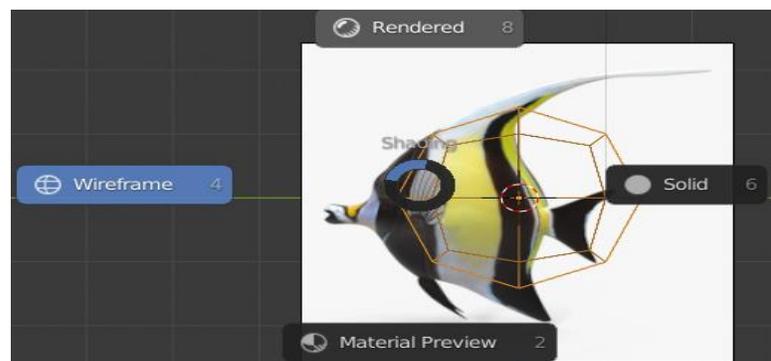
Para importar una imagen en el software simplemente se debe arrastrarla y soltarla en el panel 3D de Blender, posteriormente se presiona en el teclado el teclado numérico “3” para que el visor tridimensional apunte solo a una cara para posteriormente dirigirnos al modo *edit* presionando la tecla “tab” en donde se agrega un cubo tecleando la combinación “shift + a” y optando la opción correspondiente. (Figura 22-2). (Blender, 2019).



**Figura 22-2:** Imagen y cubo en el Panel tridimensional de Blender

Realizado por: (Ganan, 2020)

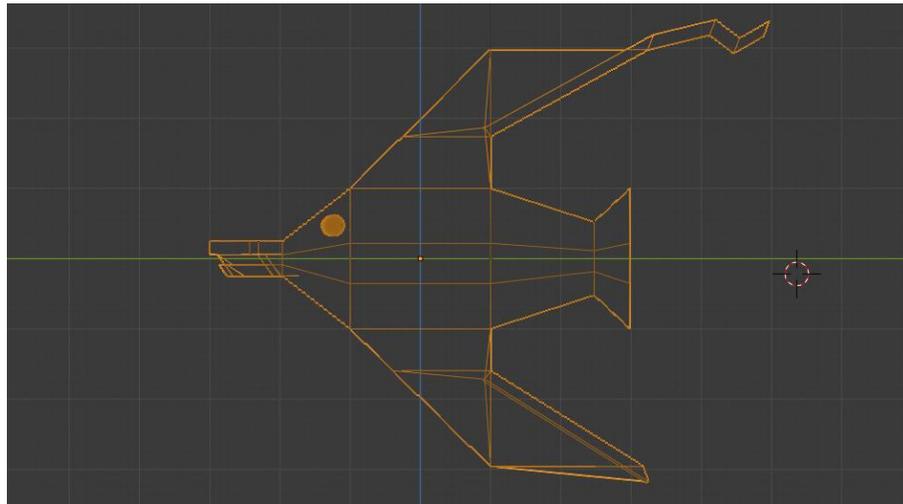
El siguiente paso es dividir el cubo como malla de polígonos para lo cual se selecciona y se presiona en el ratón “clic izquierdo” para elegir la opción *subdivide* posteriormente se ejecuta la deformación del cubo amparando presionado las teclas “shift + alt + s” y deslizando el ratón. Posteriormente para poder hacer el cubo transparente se presiona la letra “z” para elegir la opción *wireframe*. (Figura 23-2).



**Figura 23-2:** Cubo deformado y transparente

Realizado por: (Ganan, 2020)

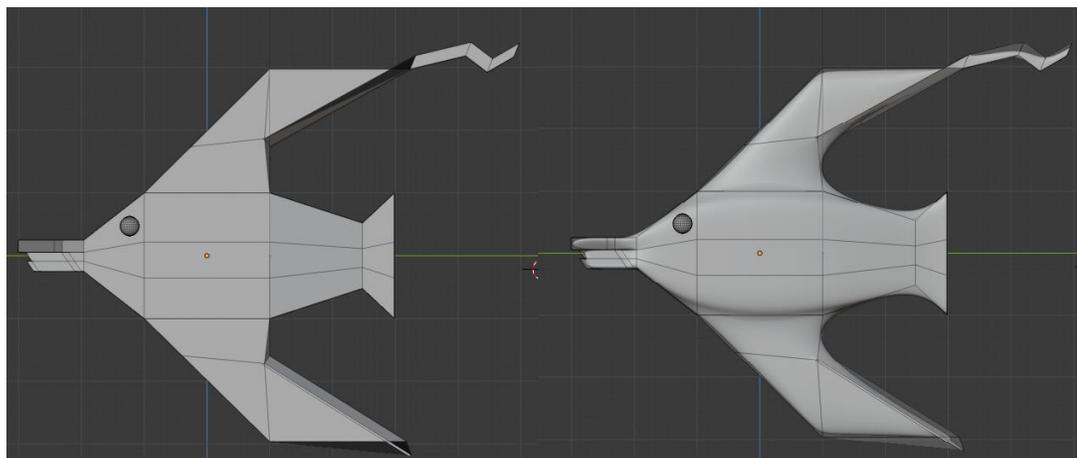
El siguiente paso es ir dándole forma al cubo según la imagen, agregándole más polígonos para lo cual se selecciona un área presionando la letra “a” y mediante la extrusión presionando la letra ‘e’ y rodando el ratón, también se puede cambiar el tamaño presionando la letra “s” o rotar con la letra “r” y por último mover con la letra “g” hasta llegar a un modelo base parecido a la imagen. (Figura 24-2). (Blender, 2019).



**Figura 24-2:** Modelo Base

Realizado por: (Ganan, 2020)

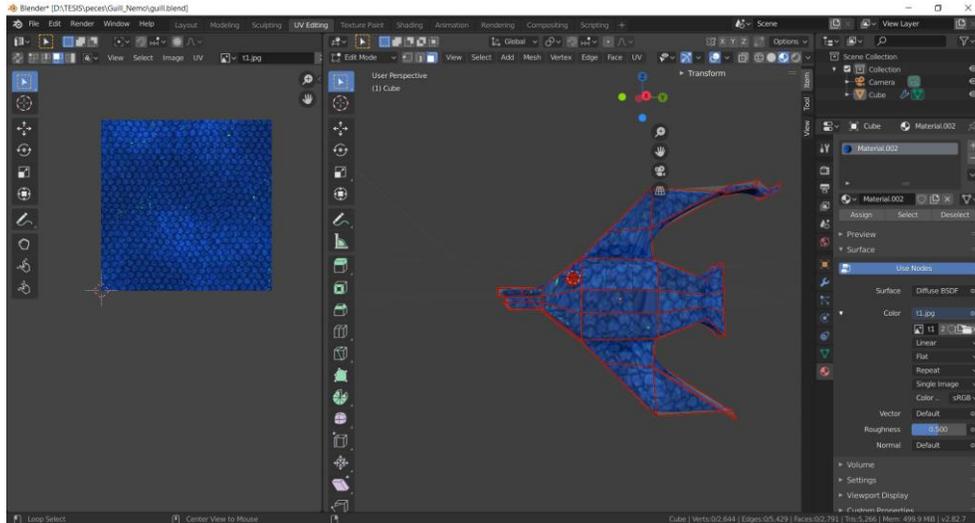
Ahora se debe efectuar un suavizado (Figura 25-2) para que la figura del pez se vea más realista y sus bordes tomen una mejor perspectiva para la vista para lo cual nos dirigimos hasta *modifier properties* desde la barra de herramientas y añadimos una modificación de tipo *subdivision surface* e ir variando los *viewport* hasta ver cual se acomoda más al diseño, mientras mayor sea este valor más proceso necesitara debido a que aumenta el número de vértices. (Blender, 2019).



**Figura 25-2:** Suavizado del modelo

Realizado por: (Ganan, 2020)

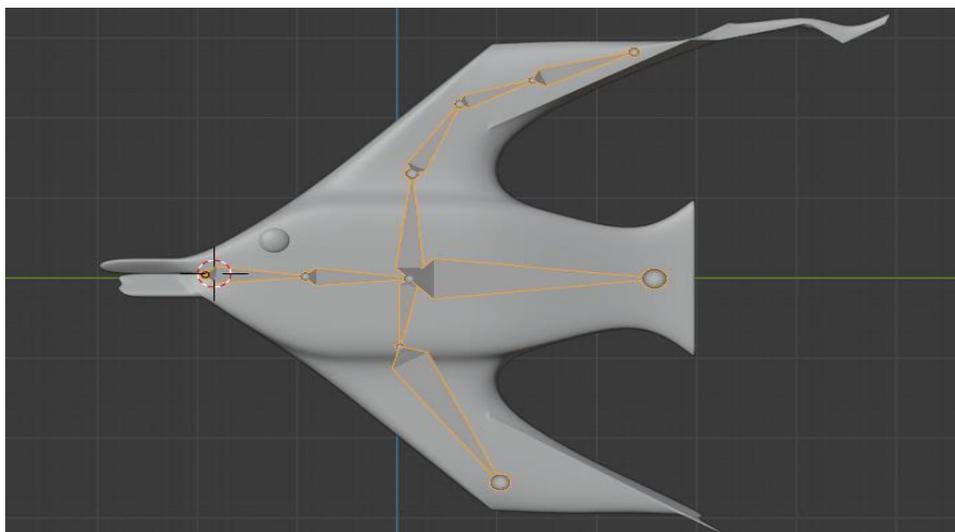
Posteriormente que se tiene el modelo para extender se debe agregar una textura al modelo para lo cual hay que dirigirse al apartado *UV Editing* para posteriormente elegir en la barra de herramientas la opción *Material properties* en donde se añade un nuevo material para lo cual ya se cuenta con una textura en formato *jpg*, por último, se elige la opción *unwrap* desde la pestaña UV. (Figura 26-2).



**Figura 26-2:** Textura de la figura

Realizado por: (Ganan, 2020)

Posteriormente desde la pestaña *Layout* se debe extender con la colocación de una estructura llamada *armature* para poder efectuar el movimiento y simular el movimiento de la figura. Para formar la estructura primero se debe influir la combinación “shift + a” y elegir *armature*, luego de ello se debe extruir e ir formando una estructura esquelética como en la (Figura 27-2).

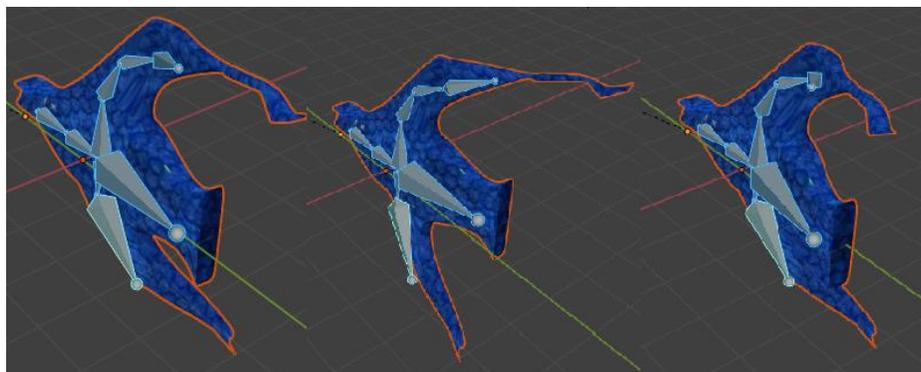


**Figura 27-2:** Formación de la estructura

Realizado por: (Ganan, 2020)

Posteriormente se debe acoplar la estructura al objeto 3D presionando “ctrl + p” y optando la opción *with automatic weights* para que cada vértice del modelo se reúna con el hueso más cercano de la estructura. (Blender, 2019).

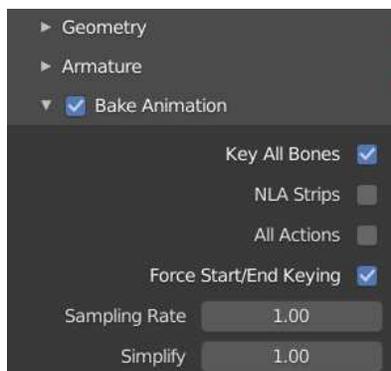
Posteriormente que el objeto y la estructura se combinaron ya se puede crear la animación. Para crear una animación se tiene que ir a la pestaña *animation* desde esta pantalla se debe ir moviendo la estructura hueso por hueso hasta llegar a una posición deseada manejando distintas teclas como “g” para mover en algún eje o “r” para rotar en los ejes, para hacer otra posición se debe antes avanzar en la línea de tiempo tantas tramas como se desee que se demore de una posición a otra, posterior a esto se ejecuta el mismo proceso de mover y rotar los huesos para llegar a la siguiente posición. (Figura 28-2).



**Figura 28-2:** Animación de la figura

Realizado por: (Ganan, 2020)

Una vez finalizada la animación se debe exportar hacia el motor de realidad virtual unity3D en formato fbx el cual es una ampliación para guardar modelos 3D con su animación para lo cual se debe dejar activado *Bake animation* al momento de expedir como se puede ver en la (Figura 29-2). (Blender, 2019).



**Figura 29-2:** Exportar en formato FBX

Realizado por: (Ganan, 2020)

## 2.7 Realidad virtual submarina unity3D

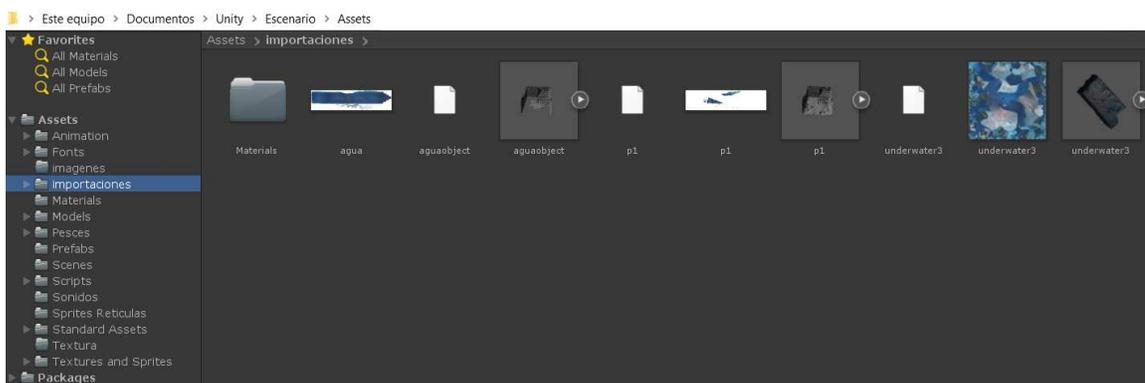
Posteriormente que se tiene los modelos tridimensionales se debe crear la interfaz en el motor de realidad virtual unity para lo cual se basó todas las instrucciones y comandos en el manual de unity (Unity, 2018), y se efectuaron una serie de pasos descritos en la (Tabla 11-2) posteriormente este sistema pudo ser observado en la interfaz por medio de un equipamiento de realidad virtual.

**Tabla 11-2:** Pasos de la interfaz de RV

Característica
1. Creación del Menu Inicio
2. Creación del menú underwater
3. Generación de la primera escena underwater
4. Generación de la segunda escena underwater
5. Generación de la tercera escena underwater

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

Los elementos como objetos, modelos, materiales, texturas, animaciones, sonidos, escenas, imágenes, videos, scripts y demás son conocidos en el motor de realidad virtual unity3D como *assets* por lo cual posteriormente a que se efectuó el procesamiento de datos y el modelamiento de objetos se consigue modelos tridimensionales los cuales deben ser exportados hasta la carpeta *Assets* del proyecto desarrollado en unity. (Figura 30-2). (Unity, 2018).



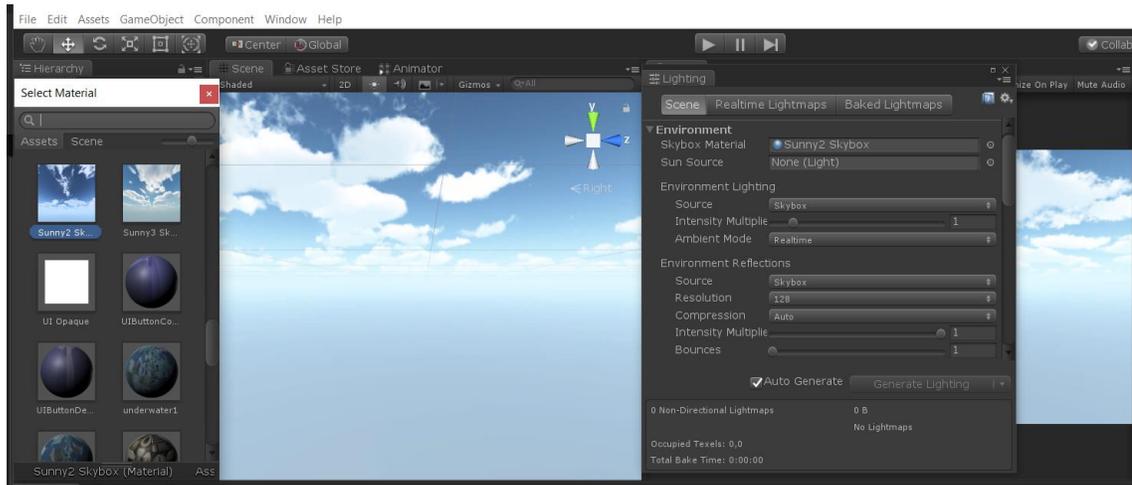
**Figura 30-2:** Assets de unity3D

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 2.7.1 Creación del menú de Inicio ESPOCH

Para la creación del menú de inicio ESPOCH primero se debe importar el paquete de *skybox* desde *assets store* de unity donde se restringen distintos elementos de pago y gratuitos. Consecutivamente desde la pestaña *window* donde se selecciona *rendering-lighting settings*, en este cuadro de texto se

puede elegir el ambiente que se desea prefiriendo de algún skybox antes importado. (Figura 31-2). (Unity, 2018).

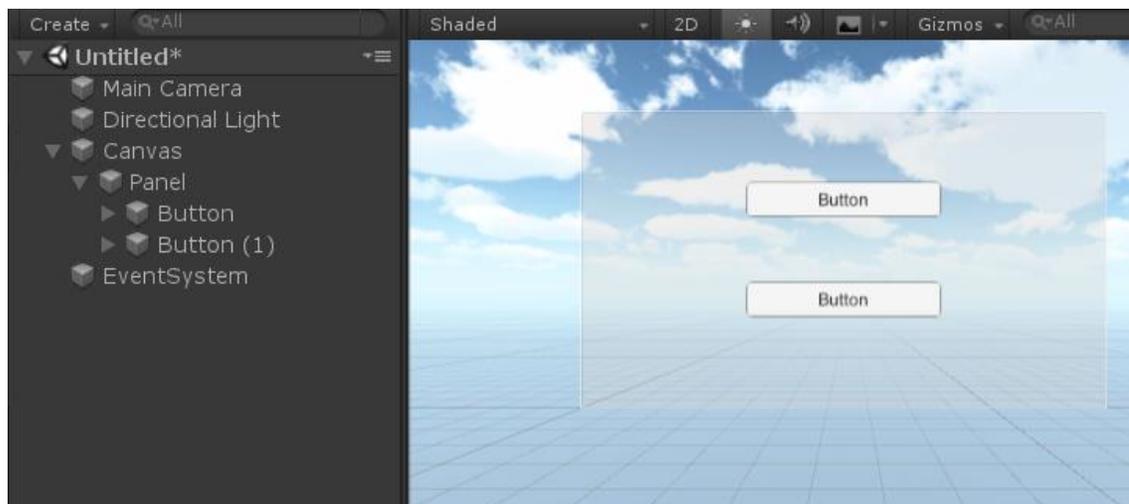


**Figura 31-2:** Skybox en unity3D

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 2.7.1.1 Generación del gameobject Canvas

Una vez generado el ambiente guardamos la escena en la carpeta *Assets* y se empieza por crear un *gameobject Canvas* en la sección *Hierarchy* que será el padre de los elementos del menú de inicio, intrínsecamente de este objeto se debe crear los elementos de interfaz de usuario UI. El primer objeto es crear un panel y dentro del panel se deben crear dos botones. (Figura 32-2). (Unity, 2018).



**Figura 32-2:** Creación de UI en menú inicio

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

### 2.7.1.2 Diseño del panel del menú inicio ESPOCH

Para poder darles una acción a los botones se debe crear un script (menú ESPOCH) el cual fue programado para abrir una escena y cerrar la ejecución, se encuentra en el (Anexo C) y se debe asignarle al objeto canvas. Posteriormente se debe regir hasta la sección inspector de cada botón en el apartado *onclick* donde se debe elegir el objeto canvas y el script antes desarrollado. (Figura 32-2).

Para el diseño del panel se exporta la imagen deseada y se la debe configurar en modo *sprite (2D and UI)*, para que posteriormente esta imagen pueda ser elegida en la sección del inspector en *source image*. Por último, se debe mover rotar o escalar todos los elementos UI hasta obtener un menú agradable para la vista. (Figura 33-2). (Unity, 2018).

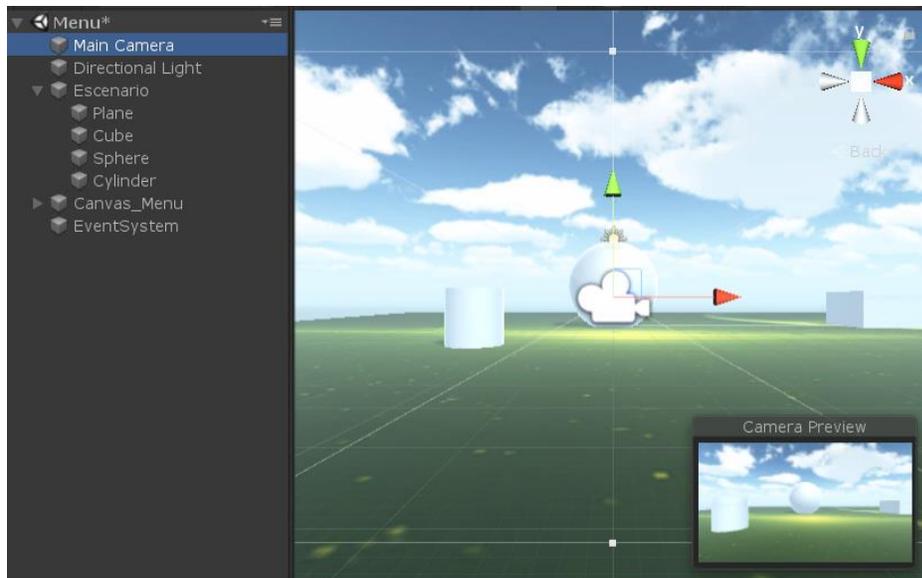


**Figura 33-2:** Menu de inicio ESPOCH y asignación de script

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.7.2 Creación del menú de los entornos submarinos (*underwater*)

Primero se genera una nueva escena y se debe guardar en la carpeta assets posteriormente el proceso para crear el menú de los entornos submarinos es similar a la creación del menú de inicio ESPOCH hasta la generación de los UI, con la diferencia que ahora se agrega cuatro botones y figuras volumétricas para darle a la escena un poco más de realismo con un plano, una esfera, un cubo y un cilindro. (Figura 34-2).



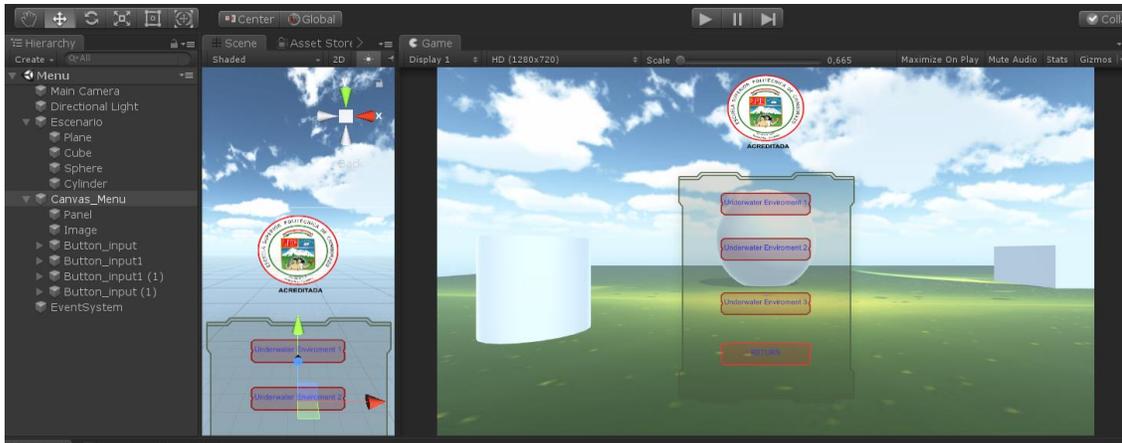
**Figura 34-2:** Objetos del menú underwater

Realizado por: (Ganan, 2020)

#### 2.7.2.1 Diseño del panel del menú underwater

En el menú *underwater* se conformó con cuatro botones para lo cual se crea un script (*menu\_underwater*) que se encuentra en el (Anexo D) el cual fue programado con las opciones que carguen cuatro escenas, la primera escena es un entorno submarino sin la textura que rota en su propia eje, la segunda es el entorno submarino pero con la textura y ya se puede mover dentro de él, a continuación el tercer botón dirige hasta un entorno submarino con objetos virtuales en movimiento y por último el cuarto botón redirige hasta el menú inicial ESPOCH.

En el diseño del menú dentro del *gameObject canvas* se creó un objeto UI de tipo imagen y se le fijó el logo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se colocó el panel sobre el plano y se le añadió una textura, esto se ejecuta seleccionando el objeto ulteriormente en el inspector dentro de *image source* se elige la imagen que debe estar en la carpeta *Assets*, los objetos volumétricos se colocaron sobre el plano en la parte posterior del panel para que sea más atractivo visualmente para el usuario. (Figura 35-2). (Unity, 2018).



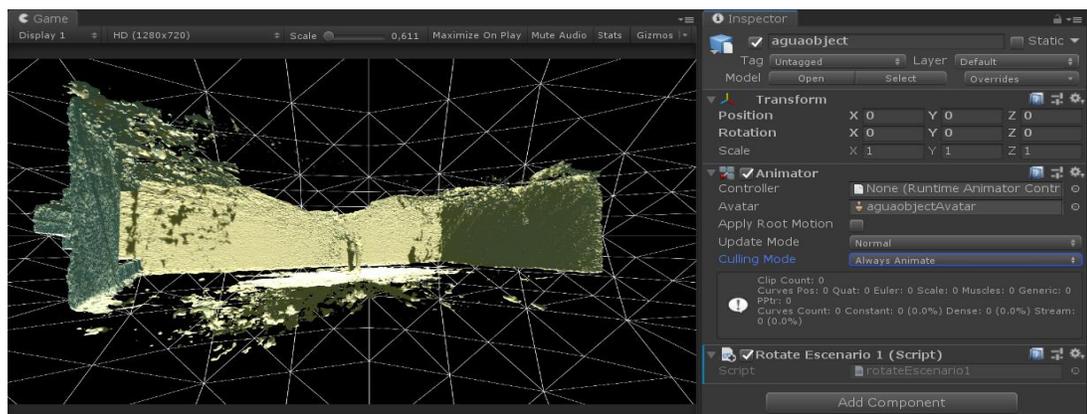
**Figura 35-2:** Menú underwater

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.7.3 Generación de la primera escena underwater

Se debe crear una nueva escena y se guarda en la carpeta *Assets* con el nombre *underwater*, dentro de esta desde la sección *Hierarchy* se creó un *gameobject-empty* y se le asigna el nombre *under* posicionándolo en las coordenadas cero.

Posteriormente se coloca dentro del *asset under* el modelo del entorno submarino designado *aguaobject* instaurado con el software *Agisoft* que ya se encontraba en la carpeta *Assets*, este exploratorio fue el primer entorno submarino que se creó a partir de las imágenes tomadas con el dron. Por último, para darle el efecto de rotación y poder observarlo desde las gafas de realidad virtual se le asigna un script (*rotateEscenario1*) que se encuentra en el (Anexo E). (Figura 36-2). (Unity, 2018).

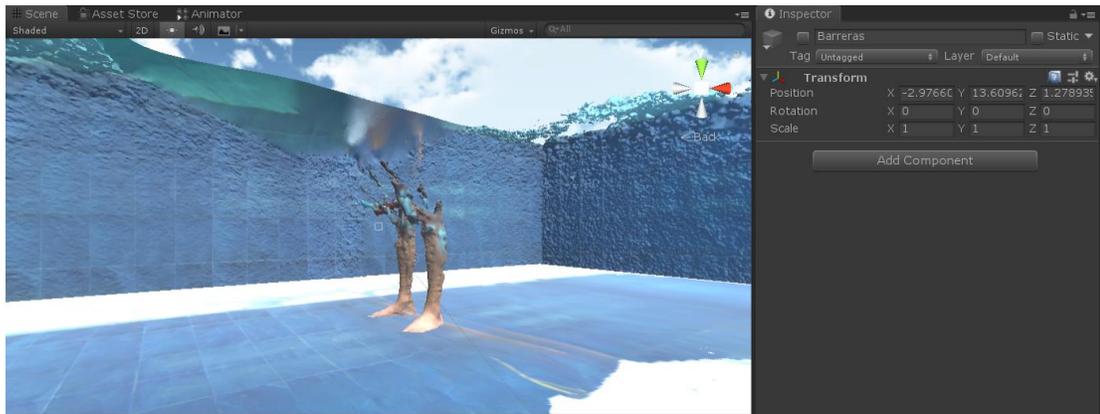


**Figura 36-2:** Primera escena underwater

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.7.4 Generación de la segunda escena underwater

En el segundo entorno submarino se efectuó el mismo proceso que en la primera escena hasta la importación donde ahora se afectó otro modelo designado *underwater* el cual sujeta la textura del entorno submarino con los pies de una persona que fueron capturados con el Dron y se encuentra en la carpeta *Assets*. (Figura 37-2).



**Figura 37-2:** Modelo underwater en unity

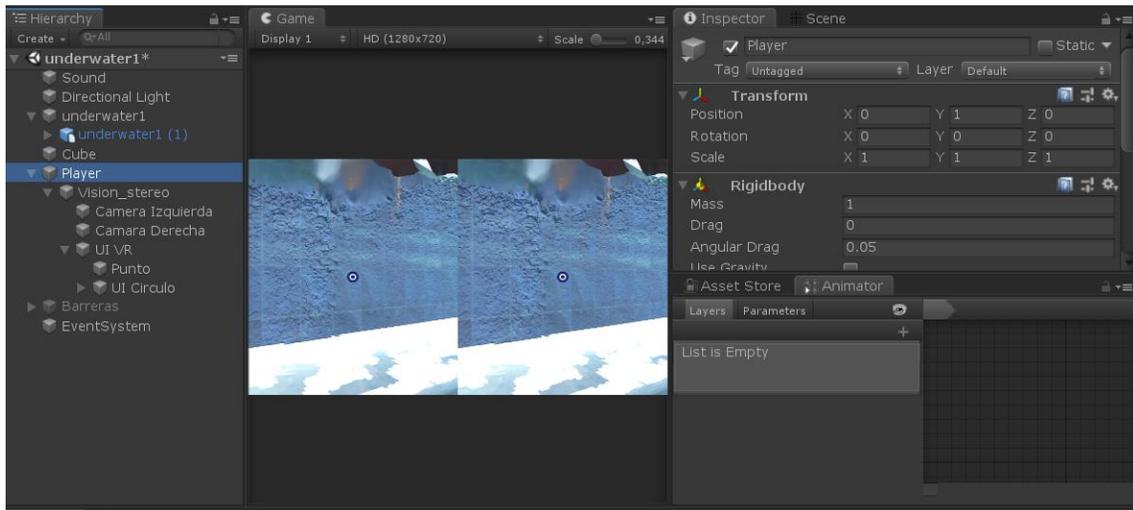
Realizado por: (Ganan, 2020)

#### 2.7.4.1 Creación de visión estereoscópica en unity

(Clínica Baviera, 2017) tiene como concepto la visión estereoscópica de los humanos como el proceso de tomar las dos imágenes que entran por los dos ojos y convertirla en una sola imagen tridimensional. Este proceso es necesario manejar en el sistema de RV para que la experiencia sea más realista.

Para efectuar este proceso primero en la sección *Hierarchy* se crea un *gameobject-empty* con el nombre *Player*, dentro de este objeto se debe crear otro *gameobject-empty* designado *Vision\_stereo*, interno de este último se creó dos objetos tipo *camera* para fingir las dos visiones donde se configuró en el inspector en *viewport rect* en el eje x para la cámara izquierda un valor de -0.5 y para la cámara derecha un valor de 0.5. El siguiente paso es crear el objeto tipo *canvas* dentro del elemento *Vision\_stereo* de nombre *UI VR* donde se crearon dos objetos de tipo *UI image* y se les asigna imágenes de un punto y un círculo los cuales persiguen a las cámaras según el movimiento que se ejecute en la simulación por último paso se programó un script (*Camera\_move*) que se halla en el (Anexo F) y se le asigna al objeto *Player*, este script realiza el movimiento de las cámaras para lo cual solicita cuatro variables y se le asignó las dos cámaras y las velocidades a las que se desee que

se muevan. Posteriormente de que se efectuó este proceso se logró una visión estereoscópica como se puede apreciar en la (Figura 38-2). (Unity, 2018).



**Figura 38-2:** Visión estereoscópica

Realizado por: (Ganan, 2020)

#### 2.7.4.2 Prueba de funcionamiento de la visión estereoscópica

Para comprobar el funcionamiento de la visión estereoscópica y del movimiento se precisa reproducir el fingimiento en donde según el script programado se ocupa el ratón para las rotaciones en el eje “y” y la combinación de las teclas “w + s + a + d” para el movimiento en los ejes “x-z”. En la (Figura 39-2) se puede observar las pruebas realizadas.

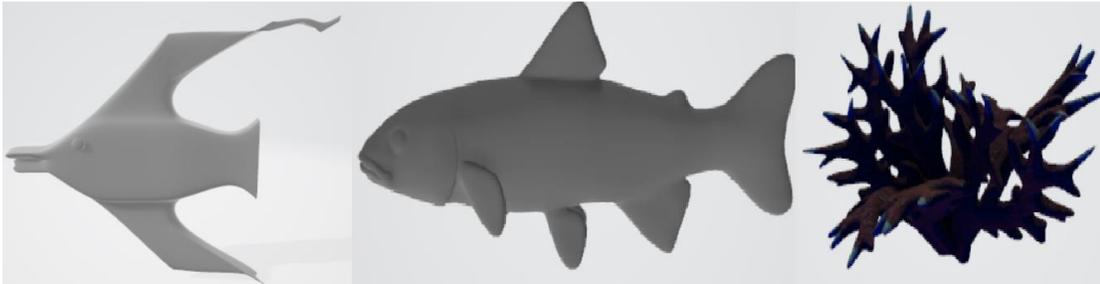


**Figura 39-2:** Pruebas de movimiento en el entorno submarino

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.7.5 Generación de la tercera escena underwater

Para el tercer entorno submarino se verificó el mismo proceso que en la anterior escena hasta la visión estereoscópica con la diferencia que en esta se importan objetos creados virtualmente como vegetación, peces y obstáculos. (Figura 40-2).

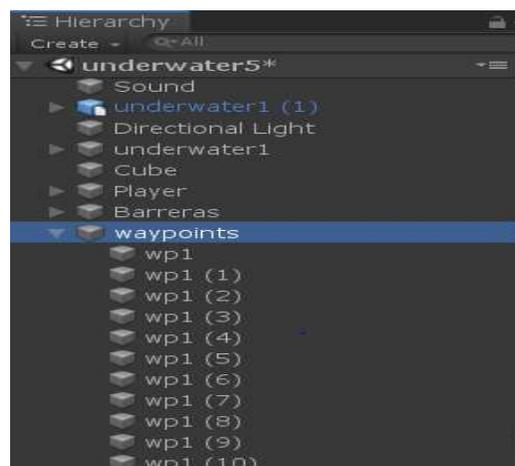


**Figura 40-2:** Objetos 3D

Realizado por: (Ganan, 2020)

#### 2.7.5.1 Creación de waypoints

Los *waypoints* son puntos de informe que se ubican en un espacio bidimensional o tridimensional y normalmente ayudan activar algún trigger cuando se mueve hasta ese punto (Gómez, 2015), en el sistema se creó once *waypoints* con el objetivo que los objetos peces puedan dirigirse hasta estos puntos y simular la traslación de un punto a otro juntamente con la animación ya importada con los objetos. Primero se generó en la sección *Hierarchy* un *gameobject-empty* designado *waypoints* dentro de este objeto se creó los *waypoints* hijos en lugares distintos dentro del entorno submarino (Figura 41-2). (Unity, 2018).

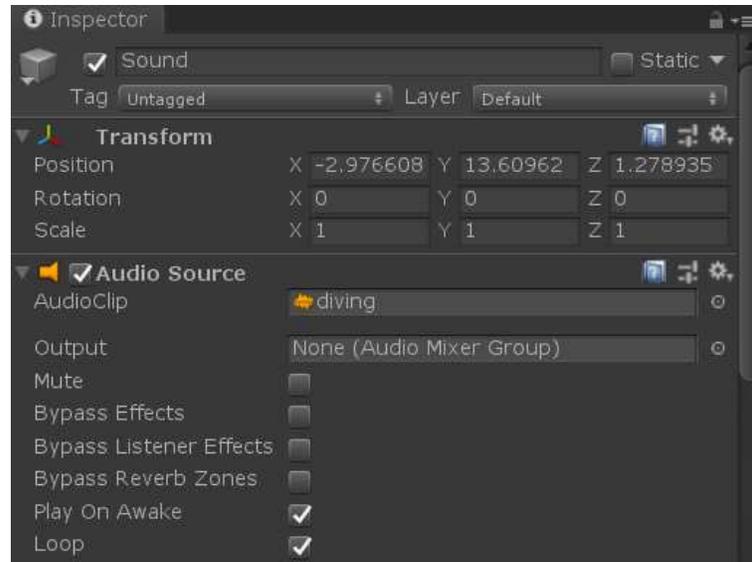


**Figura 41-2:** Waypoints

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.7.5.2 Añadir Sonido a la escena

Se agregó un sonido de *underwater* para cuando el usuario se inmersa al entorno submarino su estilo sea más agradable. Para efectuar este proceso primero se tuvo que descargar un sonido en formato mp3 desde (Ambient Reality, 2019) y de nombre *diving* Posteriormente se importa hasta la carpeta *Assets*, posteriormente se creó un *gameobject-empty* y se le agregó un nuevo mecanismo elegido *audioSource* y se le asignó el sonido mp3 como se puede ver en la (Figura 42-2).

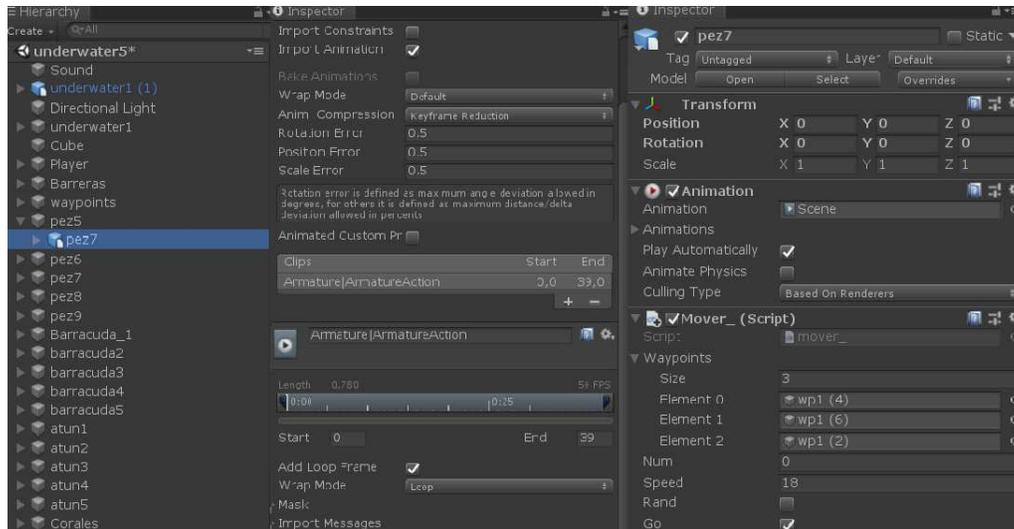


**Figura 42-2:** Sonido underwater

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 2.7.5.3 Importación de objetos a la escena y script para waypoints

Para importar los elementos como peces se agregó un *gameobject-empty* y se posiciona en un punto del entorno submarino y dentro se adicionó el objeto con su textura. Si el objeto tiene animación se debe activar en el inspector del objeto *Add loop frame* y *wrap mode loop* para que se vuelva a repetir la animación cuando se culmine. Posteriormente se creó un script (Mover) que se encuentra en el (Anexo G) y el cual está dispuesto para solicitar a cuantos *waypoints* desea inyectar el objeto, se debe añadir los puntos antes creados, posteriormente solicita el número de *waypoint* con el que desea iniciar de los agregados, además se debe integrar la velocidad con la que se desea que se mueva el objeto y por último se puede activar un modo randómico si no se desea que el movimiento a los puntos sea secuencial. Si se deja activado la variable *go* el objeto se empezará a mover. Todo este proceso antes descrito se puede observar en la (Figura 43-2). (Unity, 2018).



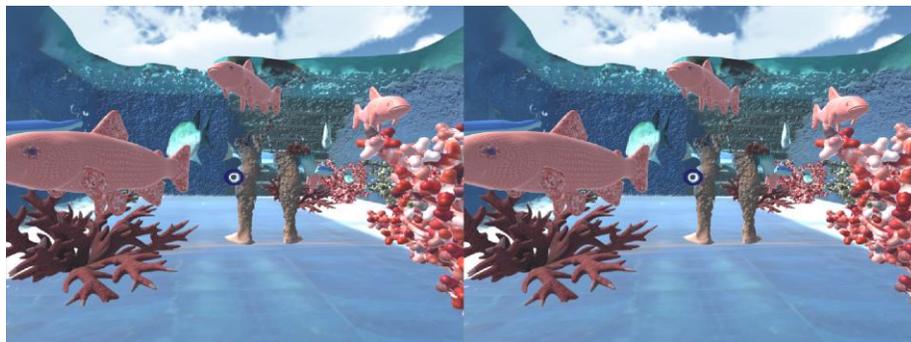
**Figura 43-2:** Importación de objetos y configuración de script Mover

Realizado por: (Ganan, 2020)

#### 2.7.5.4 Script para sensor giroscopio y pruebas de funcionamiento

Las gafas de realidad virtual sujetan un sensor giroscopio para poder simular y seguir el movimiento de la cabeza del usuario. Para simular la inmersión de un usuario que se halla dentro del sistema submarino de realidad virtual se estableció un script de nombre (Giroscopio) que se encuentra en el (Anexo H) el cual toma la posición en el espacio del sensor y lleva esos datos hasta las cámaras que se restringen dentro del objeto *Player*, además a este objeto se le debe crear un componente *mesh collider* intrínsecamente del inspector para que al chocar con un objeto no pueda traspasarlo. (Unity, 2018).

Para comprobar el funcionamiento se maneja un smartphone que sujeta un giroscopio como se puede ver en la (Figura 44-2).



**Figura 44-2:** Pruebas de giroscopio en el entorno submarino

Realizado por: (Ganan, 2020)

## CAPÍTULO III

### 3 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para evidenciar y valorar el desempeño y funcionamiento del sistema de realidad virtual a través del proceso de imágenes en entornos submarinos y que cumpla con los requisitos de RV se pone a consideración una evaluación experimental con una encuesta a personas que prueben el sistema y den su punto de vista de la sensación que apreciaron al adentrarse en el sistema de realidad virtual.

La encuesta se efectuó a un grupo de estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo pertenecientes a la Facultad de Informática y Electrónica y personas naturales los cuales son el focus group para evaluar el sistema.

#### 3.1 Validación del sistema de realidad virtual por medio de una encuesta

Para la validación de la usabilidad del sistema de realidad virtual se efectuó una encuesta a las personas que probaron el sistema, la cual está basada en los principios de usabilidad de Jakob Nielsen. (Nielsen, 1994) describe que la usabilidad se basa en las heurísticas del aprendizaje, eficiencia, facilidad para recordar, prevención de error y satisfacción. Las preguntas seleccionadas según estas propiedades se pueden observar en la (Tabla 1-3).

**Tabla 1-3:** Preguntas de evaluación del sistema

Atributos	Preguntas
Aprendizaje	¿Alguna vez usted ha estado inmerso en un entorno de realidad virtual?
Eficiencia	¿Considera usted que la realidad virtual le ayudó para viajar virtualmente hasta un entorno submarino? ¿Considera usted que el sistema de realidad virtual del entorno submarino se acerca a la realidad? ¿Considera usted que los gráficos tienen una buena calidad? ¿Piensa usted que el sistema aporta al desarrollo de la investigación sobre entornos submarinos?
Facilidad para Recordar	¿Piensa usted que el sistema de realidad virtual es fácil de usar?
Prevención de error	¿Sintió algún malestar mientras vivía su experiencia con la realidad virtual?
Satisfacción	¿Piensa usted que vivir la experiencia de adentrarse al entorno submarino fue agradable? ¿Le gustaría visitar más entornos submarinos utilizando la realidad virtual? ¿Qué calificación le daría al sistema del 1 al 5 considerando 1 como malo y 5 excelente?

Fuente: (Nielsen, 1994)

Realizado por: (Ganan, 2020)

Los resultados obtenidos de la encuesta ejecutada al focus group se consideran a continuación.

En la (Tabla 2-3) se analiza la primera pregunta ¿Alguna vez usted ha estado inmerso en un entorno de realidad virtual?

**Tabla 2-3:** Primera pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Alguna vez usted ha estado inmerso en un entorno de realidad virtual?	39	11	78%	22%
Total	50		100%	

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

Según el (Gráfico 1-3) se puede observar que el 78% de las personas evaluadas ya se han encontrado inmersos en un sistema de realidad virtual mientras que el 22% no han tenido la oportunidad de encontrarse inmersos en un entorno de RV.



**Gráfico 1-3:** Análisis de la primera pregunta

**Realizado por:** (Ganan, 2020)

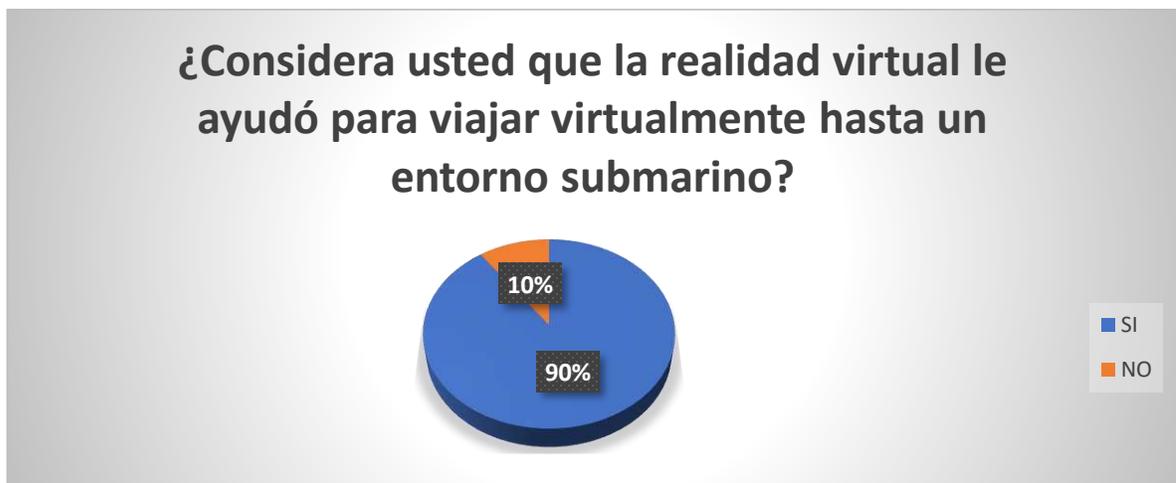
En la (Tabla 3-3) se analiza la segunda pregunta ¿Considera usted que la realidad virtual le ayudó para viajar virtualmente hasta un entorno submarino?

**Tabla 3-3:** Segunda pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Considera usted que la realidad virtual le ayudó para viajar virtualmente hasta un entorno submarino?	45	5	90%	10%
Total	50		100%	

Realizado por: (Ganan, 2020)

En el (Gráfico 2-3) se puede observar que el 90% de las personas evaluadas consideran que la realidad virtual le ayudó para viajar virtualmente hasta un entorno submarino mientras que el 10% consideran que no lograron viajar virtualmente hasta un entorno submarino.



**Gráfico 2-3:** Análisis de la segunda pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

En la (Tabla 4-3) se analiza la tercera pregunta ¿Piensa usted que vivir la experiencia de adentrarse al entorno submarino fue agradable?

**Tabla 4-3:** Tercera pregunta

Pregunta	Poco	Regular	Agradable	Muy Agradable	%Poco	%Regular	%Agradable	%Muy Agradable
¿Piensa usted que vivir la experiencia de adentrarse al entorno submarino fue agradable?	0	2	26	22	0%	4%	52%	44%
Total	50				100%			

Realizado por: (Ganan, 2020)

Según el (Gráfico 3-3) se puede observar que el 52% de las personas evaluadas piensan que vivir la experiencia de adentrarse al entorno submarino fue agradable mientras que el 44% consideran que fue muy agradable y el otro 4% piensa que vivir la experiencia fue regular.



**Gráfico 3-3:** Análisis de la tercera pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

En la (Tabla 5-3) se analiza la cuarta pregunta ¿Sintió algún malestar mientras vivía su experiencia con la realidad virtual?

**Tabla 5-3:** Cuarta Pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Sintió algún malestar mientras vivía su experiencia con la realidad virtual?	0	50	0%	100%
Total		50		100%

Realizado por: (Ganan, 2020)

En el (Gráfico 4-3) se puede observar que el 100% de las personas evaluadas no sintieron algún malestar mientras vivían su experiencia con la realidad virtual.

## ¿Sintió algún malestar mientras vivía su experiencia con la realidad virtual?



**Gráfico 4 -3:** Análisis de la cuarta pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

En la (Tabla 6-3) se analiza la quinta pregunta ¿Considera usted que el sistema de realidad virtual del entorno submarino se acerca a la realidad?

**Tabla 6-3:** Quinta pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Considera usted que el sistema de realidad virtual del entorno submarino se acerca a la realidad?	42	8	84%	16%
Total	50		100%	

Realizado por: (Ganan, 2020)

Según el (Gráfico 5-3) se puede observar que el 84% de las personas evaluadas consideran que el sistema de realidad virtual del entorno submarino se acerca a la realidad mientras que el otro 16% no lo considera así.

## ¿Considera usted que el sistema de realidad virtual del entorno submarino se acerca a la realidad?



**Gráfico 5-3:** Análisis de la quinta pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

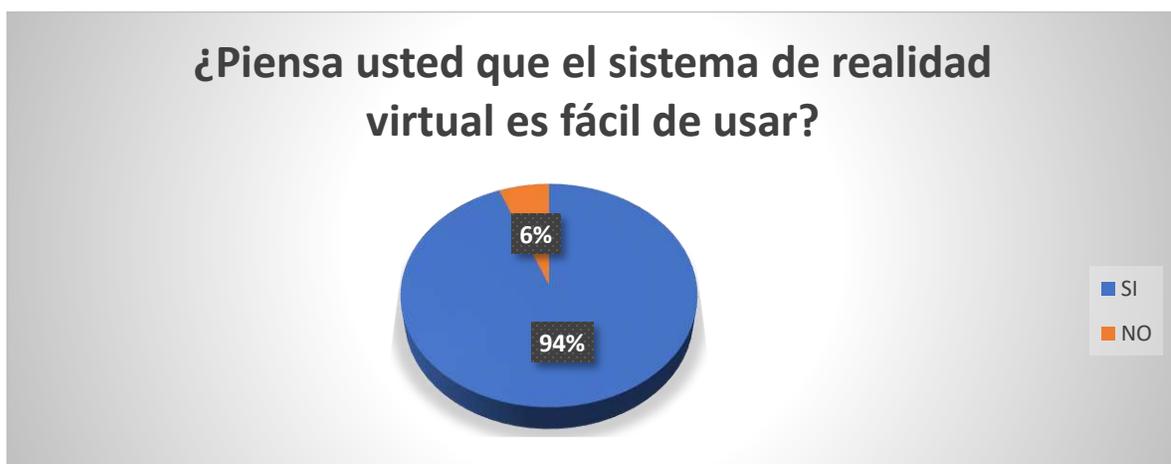
En la (Tabla 7-3) se analiza la sexta pregunta ¿Piensa usted que el sistema de realidad virtual es fácil de usar?

**Tabla 7-3:** Sexta pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Piensa usted que el sistema de realidad virtual es fácil de usar?	47	3	94%	6%
Total	50		100%	

Realizado por: (Ganan, 2020)

En el (Gráfico 6-3) se puede observar que el 94% de las personas evaluadas consideran que el sistema de realidad virtual es fácil de usar y el 6% consideran que el sistema no es fácil de usar.



**Gráfico 6-3:** Análisis de la sexta pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

En la (Tabla 8-3) se analiza la séptima pregunta ¿Considera usted que los gráficos tienen una buena calidad?

**Tabla 8-3:** Séptima pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Considera usted que los gráficos tienen una buena calidad?	44	6	88%	12%
Total	50		100%	

Realizado por: (Ganan, 2020)

Según el (Gráfico 7-3) se puede observar que el 88% de las personas evaluadas consideran que los gráficos tienen buena calidad mientras que el otro 12% no lo consideran de esa manera.



**Gráfico 7-3:** Análisis de la séptima pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

En la (Tabla 9-3) se analiza la octava pregunta ¿Piensa usted que el sistema aporta al desarrollo de la investigación sobre entornos submarinos?

**Tabla 9-3:** Octava pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Piensa usted que el sistema aporta al desarrollo de la investigación sobre entornos submarinos?	45	5	90%	10%
Total	50		100%	

Realizado por: (Ganan, 2020)

Según el (Gráfico 8-3) se puede observar que el 90% de las personas evaluadas consideran que el sistema de realidad virtual aporta al desarrollo de la investigación sobre entornos submarinos mientras que el otro 10% no lo considera así.

## ¿Piensa usted que el sistema aporta al desarrollo de la investigación sobre entornos submarinos?



**Gráfico 8-3:** Análisis de la octava pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

En la (Tabla 10-3) se analiza la novena pregunta ¿Le gustaría visitar más entornos submarinos utilizando la realidad virtual?

**Tabla 10-3:** Novena pregunta

Pregunta	Si	No	%Si	%No
¿Le gustaría visitar más entornos submarinos utilizando la realidad virtual?	49	1	98%	2%
Total	50		100%	

Realizado por: (Ganan, 2020)

En el (Gráfico 9-3) se puede observar que el 98% de las personas evaluadas les gustaría visitar más entornos submarinos utilizando la realidad virtual mientras que el otro 2% no les gustaría volver a utilizar la realidad virtual

## ¿Le gustaría visitar más entornos submarinos utilizando la realidad virtual?



**Gráfico 9-3:** Análisis de la novena pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

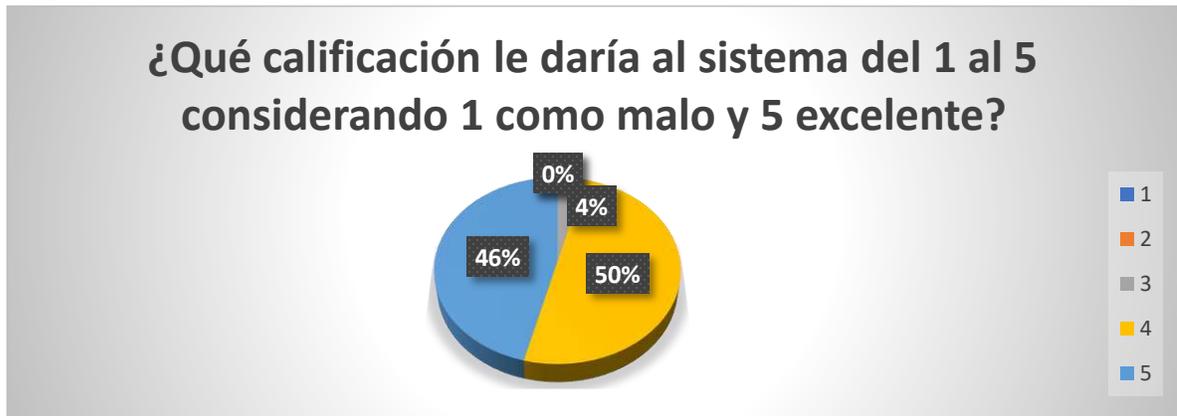
En la (Tabla 11-3) se analiza la décima pregunta ¿Qué calificación le daría al sistema del 1 al 5 considerando 1 como malo y 5 excelente?

**Tabla 11-3:** Decima pregunta

Pregunta	1	2	3	4	5	%1	%2	%3	%4	%5
¿Qué calificación le daría al sistema del 1 al 5 considerando 1 como malo y 5 excelente?	0	0	2	25	23	0%	0%	4%	46%	50%
Total	50					100%				

Realizado por: (Ganan, 2020)

Según el (Gráfico 10-3) se puede observar que el 50% de las personas evaluadas le dieron una calificación de 5 (excelente), mientras que el 46% considero una calificación de 4, por otro lado, el 4% considero al sistema con una calificación de 3.



**Gráfico 10-3:** Análisis de la décima pregunta

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 3.2 Discusión de resultados

Una vez culminada la encuesta y posteriormente de que se efectuó el análisis de todas las respuestas de las personas evaluadas se obtuvo una validación del sistema realidad virtual en entornos submarinos por parte del focus group y se cumple el objetivo de la evaluación al desempeño del sistema cumpliendo con los criterios de realidad virtual.

En la (Tabla 12-3) se puede observar un porcentaje de aprobación del 91.2% por parte de las personas evaluadas según los principios antes mencionados.

**Tabla 12-3:** Validación

Número	Descripción	%
1	Aprendizaje	78%
2	Eficiencia	88%
3	Facilidad para recordar	94%
4	Prevención de error	100%
5	Satisfacción	96%
Validación		91.2%

Realizado por: (Ganan, 2020)

### 3.3 Análisis económico del sistema de realidad virtual

El análisis económico se encuentra en la (Tabla 13-3) donde se puede encontrar todos los dispositivos utilizados en el sistema de RV incluyendo los costos.

**Tabla 13-3:** Análisis Económico

Número	Descripción	Costo
1	Dron Submarino Nemo y iPad	\$4000
2	Laptop Dell Core i7	\$1500
3	Gafas de Realidad virtual con smartphone	\$300
4	Control gafas	\$20
Total		\$5820

Realizado por: (Ganan, 2020)

Los dispositivos antes mencionados fueron adquiridos con fuente propia excepto el Dron submarino Nemo con el iPad los cuales son propiedad de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y se encuentra a disposición de los estudiantes de la institución.

## CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema de realidad virtual en entornos submarinos mediante el procesamiento de imágenes tomadas con la cámara acuática del dron submarino Nemo y el cual puede ser manejado con unas gafas de realidad virtual convencionales con la ayuda de un smartphone.
- Se recopiló información acerca de algunos estudios sobre realidad virtual y se efectuó una investigación acerca del procesamiento de imágenes mediante la fotogrametría, además se estudió los dispositivos hardware y software que fueron necesarios para llevar a cabo el desarrollo del sistema de realidad virtual en entornos submarinos.
- Con la información obtenida se realizó un preprocesamiento de las imágenes con el uso del software Matlab, posteriormente se efectuó el procesamiento de las imágenes submarinas con el programa Agisoft adquiriendo de forma exitosa un modelo en 3D en formato obj.
- Se efectuó el modelamiento de objetos submarinos en el software Blender para posteriormente combinar los modelos tridimensionales en el motor de gráficos Unity3D en donde se generó el sistema de realidad virtual.
- Se realizó evaluaciones empíricas por medio de una encuesta a estudiantes de la Facultad de Informática y Electrónica y personas naturales obteniendo la aprobación de la funcionalidad y desempeño del sistema.

## RECOMENDACIONES

- Para la ejecución de un sistema de realidad virtual se precisa que una PC sujete un alto nivel de procesamiento (i5 o superior) que al menos soporten SSE2 y que contenga una buena tarjeta gráfica (Almenos Nvidia GeForce GTX 960).
- Se recomienda efectuar siempre una planificación para la adquisición de imágenes con el dron submarino Nemo para obtener buenos datos de los entornos submarinos, esto ayuda a conseguir más puntos coincidentes en el momento de procesar las imágenes.
- Se debe realizar el preprocesamiento de las imágenes submarinas debido a que su histograma se encuentra afectado por distintos factores que afectan la calidad de la imagen dentro del agua.
- Se recomienda utilizar el sistema de realidad virtual con un smartphone de alta gama para que los gráficos sean más objetivos y se pueda apreciar de mejor manera.

## **GLOSARIO**

<b>BITMAPS</b>	Mapa de bits de una imagen que se almacena en un vector o matriz.
<b>DNG</b>	Negativo digital, formato de archivo para cámaras digitales.
<b>DSM</b>	Modelo digital de superficie o modelo tridimensional.
<b>DTM</b>	Modelo digital de terreno o modelo tridimensional.
<b>EXIF</b>	Formato de archivo de imagen intercambiable proporcionado por imágenes digitales.
<b>FBX</b>	Filmbox, formato de archivo tridimensional.
<b>GPU</b>	Unidad de procesamiento gráfico de un CPU.
<b>GUI</b>	Interfaz gráfica del usuario de un software.
<b>JPEG</b>	Grupo de fotografías expertas o formato de una imagen
<b>MP3</b>	MPEG Audio capa 3
<b>OBJ</b>	Formato de definición de geometría, o formato de objeto tridimensional.
<b>PC</b>	Computador personal.
<b>PÍXEL</b>	Elemento mínimo de una imagen.
<b>PNG</b>	Gráficos de red portátiles o formato de imagen digital.
<b>RGB</b>	Rojo, verde, azul, elementos de imagen.
<b>RV</b>	Realidad Virtual, conformado por un entorno informático.
<b>SFM</b>	Estructura del movimiento formado por múltiples vistas.
<b>SSE2</b>	Transmisión de datos múltiples de instrucción única, es una extensión para gráficos 3D
<b>TIFF</b>	Formato de archivo de imagen etiquetada.
<b>UI</b>	Interfaz de usuario.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABDELAZIS, M.; & ELSAYED M.** “Underwater photogrammetry digital surface model DSM of the submerged site of the ancient light house near Qaitbay fort in Alexandria Egypt”. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences [En línea], 2019, (Alejandria-Egipto) volumen XLII-2/W10, pp. 1-8. [Consulta: 1 de abril 2020]. Disponible en: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W10/1/2019/isprs-archives-XLII-2-W10-1-2019.pdf>

**AERIAL INSIGHTS.** *Como Planificar capturas de drone* [Blog]. 2017. [Consulta: 5 de abril 2020]. Disponible en: <https://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>

**AGISOFT.** *Agisoft PhotoScan User Manual* [En Línea]. 2018. [Consulta: 26 de marzo 2020]. Disponible en: [https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_4\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf)

**AGUADO, Andrés.** Realidad Virtual aplicada a la Rehabilitación Física [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior Leganés. España-Madrid. 2015. pp. 3-6. [Consulta: 15 de marzo 2020]. Disponible en: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23049/TFG\\_Carlos-Andres\\_Aguado\\_Fidalgo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23049/TFG_Carlos-Andres_Aguado_Fidalgo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**AGUIRRE, Julián.** Calibración geométrica de cámaras no métricas. Estudio de metodologías y modelos matemáticos de distorsión [En línea] (Tesis). (Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Madrid-España. 2016. pp. 119-120. [Consulta: 7 de abril de 2020]. Disponible en: [http://redgeomatica.rediris.es/redlatingeo/2016/JULIAN\\_AGUIRRE\\_DE\\_MATA.pdf](http://redgeomatica.rediris.es/redlatingeo/2016/JULIAN_AGUIRRE_DE_MATA.pdf)

**ÁLVAREZ DEL VAYO, Fernando.** *Esto deberá tener tu móvil para usar la realidad virtual de Daydream* [Blog]. 9 de noviembre 2016. [Consulta: 20 de marzo 2020]. Disponible en: <http://elandroidelibre.lespanol.com/2016/11/requisitos-realidad-virtual-daydream.html>

**AMBIENT REALITY.** *Deep Underwater Relaxation* [En línea]. (11 de febrero 2019). [Archivo de Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ghKeyXI3FSQ>

**AQUAROBOTMAN.** *Nemo Underwater Drone* [En Línea]. 2019. [Consulta: 16 de marzo 2020]. Disponible en: <https://aquarobotman.com/pages/nemo>

**AXWORTHY, Jon.** *The origins of virtual reality* [Blog]. 1 de abril 2016. [Consulta 20 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.wearable.com/wearable-tech/origins-of-virtual-reality-2535>

**AYALA, Elizabeth.; & URGILES Bladimir.** Desarrollo de una aplicación con realidad virtual y aumentada como herramienta de aprendizaje el idioma kichwa para niños [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Ingeniería en Sistemas Informáticos. Ecuador-Riobamba. 2017. pp. 95-96. [Consulta: 15 de marzo 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6739/1/18T00684.pdf>

**BERTOLI, Ben.** *That time Nintendo and Sega introduced 3D gaming in 1987* [Blog]. 6 de abril 2017. [Consulta: 20 de febrero 2019]. Disponible en: <https://kotaku.com/that-time-nintendo-and-sega-introduced-3d-gaming-in-19-1795623602>

**BLENDER.** *Blender 2.82 Manual de Referencia* [En Línea]. 2019. [Consulta: 27 de marzo 2020]. Disponible en: <https://docs.blender.org/manual/es/latest/>

**CEPERO, Rachel.** Sistema de bajo costo para la toma y el procesamiento de imágenes aéreas [En línea] (Trabajo de diploma). (Ingeniería) Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática y Sistemas Computacionales. Santa Clara. 2015. pp. 29-37. [Consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/4482/Rachel%20Cepero%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**CLINICA BAVIERA.** *Que es la visión estereoscópica* [Blog]. 21 de abril 2017. [Consulta: 17 de mayo 2020]. Disponible en: <https://www.clinicabaviera.com/blog/bye-bye-gafasconoce-tus-ojosque-es-la-vision-estereoscopica/>

**COSTALES, Gabriel.** Análisis comparativo entre los software de prueba Agisoft PhotoScan y Pix4D para el procesamiento de datos obtenidos con fotogrametría de vehículos aéreo no tripulado UAV de bajo costo aplicado a proyectos de medio ambiente [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Ingeniería Ambiental. Ecuador-Quito. 2018. pp. 13-14. [Consulta: 26 de marzo 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19825/1/CD-9229.pdf>

**CRESPO, José.** *Procesamiento y visualización de imágenes 3D* [Blog]. 27 de abril 2001. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: [http://www.saber.ula.ve/redtelemedicina/TallerTelemedicina/ponencia-j\\_crespo.html](http://www.saber.ula.ve/redtelemedicina/TallerTelemedicina/ponencia-j_crespo.html)

**CROFT, Paula.** *Realidad Virtual: origen, actualidad y futuro* [Blog]. 2016. [Consulta: 15 de marzo 2020]. Disponible en: [https://as.com/meristation/2018/01/10/reportajes/1515567480\\_172151.html](https://as.com/meristation/2018/01/10/reportajes/1515567480_172151.html)

**DE MATÍAS BEJARANO, Javier.** Técnicas de Fotogrametría y visión por computador para el modelado 3D de estructuras geomorfológicas dinámicas [En línea] (Tesis). (Doctorado) Universidad de Extremadura, Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos. Extremadura. 2013. pp. 51-62 [Consulta: 5 de abril 2020]. Disponible en: [http://dehesa.unex.es/xmlui/bitstream/handle/10662/539/TDUEX\\_2013\\_Matias\\_Bejarano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dehesa.unex.es/xmlui/bitstream/handle/10662/539/TDUEX_2013_Matias_Bejarano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**EL TELEGRAFO.** 70 hectáreas de totora son removidas de laguna de Colta [Blog]. 17 de marzo de 2018 [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://www.elselegrafo.com.ec/noticias/regional/1/70-hectareas-de-totora-son-removidas-de-laguna-de-colta>

**EL TIEMPO.** *En Yambo, 20 buzos buscan a los Restrepo.* El tiempo diario de cuenca [Blog]. 13 de marzo 2009. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com.ec/noticias/ecuador/4/en-yambo-20-buzos-buscan-a-los-restrepo>

**ESCALADA, Edwing.** *La fauna marina del Ecuador es un atractivo turístico* [Blog]. 11 de mayo 2019. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/fauna-marina-ecuador-atractivo-turistico.html>

**ESQUEDA, José.; & PALAFOX Luis.** *Fundamentos de procesamientos de imágenes* [En línea]. Mexicali, Baja California: Departamento de Editorial Universitaria av reforma 1375, 2005. [Consulta: 1 de abril 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=h4Gj8GuwPVkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=h4Gj8GuwPVkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**FERNÁNDEZ, Samuel.** *Como saber si mi móvil es vr-ready y selección de gafas por menos de 40 euros virtual* [Blog]. 30 de noviembre 2016. [Consulta: 19 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.xatakamovil.com/variados/como-saber-si-mi-movil-es-vr-ready-y-seleccion-de-gafas-por-menos-de-40-euros>

**FLORES GARCÍA, Alexis.** Escaneo 3D en un campo de visión de 360° utilizando la técnica de proyección de franjas y un arreglo de espejos [En línea] (Tesis). (Maestría) Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., Maestría en Optomecatrónica. León Guanajuato. 2013. pp. 99-101. [Consulta: 10 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/831/1/15623.pdf>

**FLORES, Pablo.; & BRAUN Juan.** Algoritmo SIFT: fundamentos teóricos [Blog]. 9 de agosto 2011. [Consulta: 6 de abril de 2020]. Disponible en: <https://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gti/timag/trabajos/2011/keypoints/FundamentoSIFT.pdf>

**GAFAS OCULUS.** *Todo sobre las gafas Oculus Rift de Realidad virtual* [Blog]. 2016. [Consulta: 18 de marzo 2020]. Disponible en: <http://www.gafasoculus.com/rift/>

**GÓMEZ, Adrián.** *Waypoints activa funciones al desplazarse a un elemento* [Blog]. 21 de junio 2015. [Consulta: 17 de mayo 2020]. Disponible en: <https://blog.elaniin.com/waypoints-js-activa-funciones-al-desplazarse-a-un-elemento/>

**GUEVARA, Bryan.; & MARTÍNEZ, Azucena.** *Diseño y Desarrollo de un sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos, ostensible por medio de realidad virtual como método de ayuda en la rehabilitación de la capacidad motriz de las extremidades superiores en pacientes con accidente cerebrovascular.* [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Ingeniería Mecatrónica. Ecuador-Latacunga. 2018. pp. 1-3. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14928/1/T-ESPEL-MEC-0137.pdf>

**GUINDOS, Francisco.; & PIEDRA, José.** *Tratamiento Digital de imágenes con IMtdi* [En línea]. Almería: José Piedra, 2001. [Consulta: 1 de abril 2020]. Disponible en: <https://w3.ual.es/~fguindos/IMtdi/Tratamiento%20Digital%20de%20Im%20genes%20con%20IMtdi.pdf>

**HELGASON, David.** *Unity and Gambling* [Blog]. 4 de diciembre 2012. [Consulta: 30 de marzo 2020]. Disponible en: <https://blogs.unity3d.com/es/2012/12/04/unity-and-gambling/>

**HERRERA, José.** *Programación de videojuegos de puzzles en 2D usando Unity* [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Ingeniería del software. Málaga. 2015. pp. 1-3. [Consulta: 30 de marzo 2020]. Disponible en: [https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11567/J.A.%20Herrera%20Peña\\_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11567/J.A.%20Herrera%20Peña_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**JOSEPH, Lukas.** *Drone Submarino, los 10 modelos emblemáticos en 2019* [Blog]. 2019. [Consulta: 16 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.spotmydive.com/es/news/opinion-mejor-dron-submarino-2019>

**LOZA, Daniel.** Desarrollo de un videojuego con captura de movimiento, para representar la leyenda de Cantuña Quito. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática, Ingeniería en Computación Gráfica. Ecuador-Quito. 2018. pp. 71-72. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16267/1/T-UCE-0011-ICF-027.pdf>

**MALACARA, Daniel.** Óptica tradicional y moderna [En línea]. Segunda edición. México- México: La Ciencia para todos, 1997 [Consulta: 1 de abril 2020]. Disponible en: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec\\_9.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_9.htm)

**MARKLEY, Jhon.** *Eight attempts to take gaming into the third dimension* [Blog]. 30 de septiembre 2015. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://v1.escapistmagazine.com/articles/view/scienceandtech/14705-8-3D-Video-Game-Technologies-of-the-Past.4>

**MATHWORKS.** *Low-Light Image Enhanced.* [En línea]. Estados Unidos: MathWorks, 2020. [Consulta: 2 de abril 2020]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/help/images/low-light-image-enhancement.html>

**MATURANA, Jesús.** *HTC Vive, análisis: esto sí que es realidad virtual interactiva* [Blog]. 30 de mayo 2017. [Consulta: 16 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva>

**MEAK, Derek.** *The Aspen Movie Map Beat Google Street View by 34* [Blog]. [Consulta 20 de febrero 2020]. Disponible en: [https://www.vice.com/en\\_us/article/vvvqv4/the-aspen-movie-map-beat-google-street-view-by-28-years](https://www.vice.com/en_us/article/vvvqv4/the-aspen-movie-map-beat-google-street-view-by-28-years)

**MEDINA, Victoria.** Comparación de métodos de cálculo de volúmenes de copa de naranjos [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Ingeniería Agronómica. Sevilla. 2018. pp. 11-12. [Consulta: 26 de marzo 2020]. Disponible en: [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/77073/TFG\\_VictoriaMR.pdf;jsessionid=535A44F37D46FB53574D9206E217D39C?sequence=1](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/77073/TFG_VictoriaMR.pdf;jsessionid=535A44F37D46FB53574D9206E217D39C?sequence=1)

**MEJÍA, Julio.** Desarrollo de un algoritmo en Matlab para la optimización de la resolución de una tarjeta USRP B210 para aplicaciones SDRADAR [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes. Ecuador-Riobamba. 2017. pp. 25-26. [Consulta: 22 de marzo 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7523/1/98T00160.pdf>

**MENA, Edwin.** Desarrollo de un sistema tecnológico mediante la aplicación de realidad virtual, para la rehabilitación de pacientes con el síndrome del túnel carpiano [En línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de Eléctrica y Electrónica, Ingeniería en Electrónica e Instrumentación. Ecuador-Latacunga. 2017. pp. 120-121. [Consulta: 15 de marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13093/1/T-ESPEL-ENI-0375.pdf>

**MILLER, Ross.** *Doom 3 in virtual reality: we check out John Carmack's prototype head mounted display* [Blog]. (30 de mayo 2012). [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://www.theverge.com/2012/5/30/3052191/doom-3-bfg-edition-announced-for-the-fall-we-try-it-with-john>

**MORENO, Loudes.** Caracterización de cepas bacterianas de la laguna amarilla perteneciente al nevado el altar en la provincia de Chimborazo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Ecuador-Riobamba. 2017. pp. 57-58. [Consulta: 20 de febrero 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7877/1/236T0302.pdf>

**MUNDO VIRTUAL.** *Gafas de realidad virtual* [Blog]. E.E.U.U., 2019. [Consulta: 16 de marzo 2020]. Disponible en: <http://mundo-virtual.com/gafas-realidad-virtual/#comparativa>

**MUNDO VIRTUAL.** *Que es la realidad virtual* [Blog]. E.E.U.U., 2016. [Consulta: 15 de marzo 2020]. Disponible en: <http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/#tipos>

**NASSIR Salman.; & GULLANAR Hadi.** “Integrated image processing functions using Matlab Gui”. Journal of advanced computer science and technology research [En línea], 2013, (Iraq) Vol. 3 No. 1, pp. 31-38. [Consulta: 25 de marzo 2020]. ISSN 2231-8852. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/331907078\\_Integrated\\_Image\\_Processing\\_Functions\\_using\\_MATLAB\\_GUI\\_Article\\_Info](https://www.researchgate.net/publication/331907078_Integrated_Image_Processing_Functions_using_MATLAB_GUI_Article_Info)

**NIELSEN, Jakob.** *10 Usability Heuristics for User Interface Design* [Blog]. 24 de abril 1994. [Consulta: 17 de mayo 2020]. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>

**ORTÍZ, Jessenia.; & BENALCÁZAR Paul.** Desarrollo de una aplicación de pc para tratar la fobia a las alturas acrofobia, mediante el uso del dispositivo Oculus Rift [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Ingeniería en Sistemas Informáticos. Ecuador-Riobamba. 2018. pp. 76-77. [Consulta: 15 de marzo 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9100/1/18T00730.pdf>

**PEREZ ÁLVAREZ, Juan.** *APUNTES DE FOTOGRAMETRÍA* [En línea]. Mérida-España: Universidad de Extremadura, 2001. [Consulta: 5 de abril 2020]. Disponible en: <http://redgeomatrica.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/ApuntesFotogrametria3.pdf>

**PIX4D.** *Offline getting started and manual* [En Línea]. 14 de diciembre 2017. [Consulta: 27 de marzo 2020]. Disponible en: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf>

**QUIROZ ROSADO, Elía.** *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil* [En línea]. Cáceres-España: Universidad de Extremadura-Servicio de publicaciones, 2014. [Consulta: 2 de abril 2020]. Disponible en: [https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametria\\_9788469713174\\_0.pdf](https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametria_9788469713174_0.pdf)

**QYSEA.** *FIFISH V6 Underwater Robot* [En Línea]. 2020. [Consulta: 16 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.qysea.com/products/fifish-v6/>

**SEMYONOV, Dmitry.** *Algorithms used in PhotoScan* [Blog]. 3 de mayo 2011. [Consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0>

**SINGH, Hemant.** *Best underwater drones in 2019* [Blog]. 7 de junio 2019. [Consulta: 16 de marzo 2020]. Disponible en: <https://atomdrones.com/best-underwater-drones-in-2019/>

**SOLOAGA, Ana.** *Unreal Engine que es y para qué sirve* [Blog]. 19 de julio 2019. [Consulta: 30 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.akademus.es/blog/emprendedores/unreal-engine-que-es-y-para-que-sirve/>

**UNITY.** *Unity User Manual 2018* [En Línea]. 2018. [Consulta: 17 de mayo 2020]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/UnityManual.html>

**VALENCIA, Hugo.** *La realidad Virtual como herramienta para la investigación* [Blog]. México, 23 de agosto 2017. [Consulta: 15 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.ugto.mx/noticias/noticias/educativas-nacionales/12147-la-realidad-virtual-como-herramienta-para-la-investigacion>

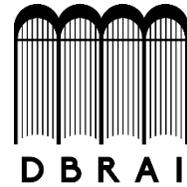
**WEBSTER, Will.** *Este dron podría transformar la forma en que vemos la vida submarina* [Blog]. 12 de septiembre 2018. [Consulta: 16 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.redbull.com/mx-es/nemo-dron-submarino>

**YOUNG, Josh.** *Six Flags power plant 2: Not an amusement park* [Blog]. (11 de diciembre 2014). [Consulta: 20 de febrero 2019]. Disponible en: <https://theparkuniversity.com/extinct-attractions/six-flags-power-plant-2-not-amusement-park/>

**ZAPATERO GUILLEN, Daniel; et al.** Aplicaciones didácticas de la realidad virtual al Museo Pedagógico de Arte Infantil. [En línea] (Memoria). (Doctorado) Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, Departamento de Didáctica de la expresión plástica. España-Madrid. 2007. p 114. [Consulta 20 de febrero 2020]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/7537/1/T29925.pdf>



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

**Fecha de entrega:** 15 / 07 / 2020

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>	
<b>Nombres – Apellidos:</b> JOHNNY OMAR GANAN MARTÍNEZ	
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>	
<b>Facultad:</b> INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	
<b>Carrera:</b> INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	
<b>Título a optar:</b> INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES	
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b>	



**0080-DBRAI-UPT-2020**