

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN  
CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

**EVALUACION DE LA SALUD ESTRUCTURAL  
EMPLEANDO EL ALGORITMO SFM-DMV EN EL  
PUENTE COLONIAL SAN SEBASTIAN DE AYACUCHO,  
2022.**

PRESENTADO POR:  
EDWIN ALARCON AVALOS

ASESOR:  
M.Sc. ING. ALEX SANDER IRCAÑAUPA HUAMANI

AYACUCHO - PERÚ  
2022

*Para la fuente de mi inspiración quien me  
fortalece y me motiva día a día... mi hijo.*

# AGRADECIMIENTOS

---

- ☞ Primeramente rendirle agradecimiento a Dios por permitirme conseguir mis sueños y darme las fuerzas para seguir creciendo.
- ☞ A mis familiares, padres y hermanos por alentarme a crecer día tras día y mostrar su apoyo siempre.
- ☞ A mis amigos quienes siempre estuvieron para compartir sus experiencias y estar prestos a ayudar en lo requerido.
- ☞ Sin más que decir, solo dar inmensas gracias a todos ustedes familia y amigos.

# RESUMEN

---

Los patrimonios culturales que nos han dejado nuestros antepasados son muchos, varios de estos patrimonios hoy en el día en el mundo son considerados maravillas dignas de admirar promoviendo el turismo, lo cual genera a su vez movimiento económico en el mundo, el Perú a la fecha es una fuente de historia a través de los años se ha conocido que contamos con diversas maravillas las cuales atraen muchos visitantes del exterior así como tenemos grandes monumentos históricos no podemos dejar de lado las pequeñas pero increíbles construcciones que se encuentran dispersas en todo el departamento.

La ciudad de Ayacucho es uno de los departamentos que alberga muchos atractivos turísticos, si bien cuenta con lugares que son visitados por los turistas en las afueras de la ciudad, en la ciudad se puede encontrar varios puentes coloniales, muy atractivos los cuales están realizadas con materiales de piedra y mortero la mayor parte de este tipo de puentes tiene forma de arco y pese a los años transcurridos muchos de estos puentes aun subsisten en la ciudad de Ayacucho uno de estos puentes es el puente de San Sebastián que si bien años atrás aún se encontraban en mejor estado ya que servía para el tránsito de vehículos de la ciudad, ya hace unos años atrás este puente solo está destinado al tránsito peatonal de la población por los múltiples daños estructurales que presenta era un peligro para el tránsito vehicular ya que con la sobrecarga de los vehículos podría colapsar.

El puente de San Sebastián, que se encuentra ubicado en la provincia de Huamanga, la cual data de muchos años atrás, fue construida a base de piedra y mortero, este puente tiene forma de arco, a la fecha se encuentra descuidada y abandonada por las autoridades, es necesario evaluar este tipo de estructuras para prolongar su duración y podamos seguir admirando su belleza, en este trabajo planteamos el monitoreo de este puente a base de la fotogrametría realizada con drones, se planea diagnosticar el estado actual del puente como la identificación de patologías en toda la estructura, para ello se realizó un levantamiento con un dron de toda la superficie del puente la cual se llevó a gabinete y procesada para lograr así la reconstrucción 3D del puente, con esta reconstrucción logramos identificar los diversos daños estructurales que presentaba el puente.

Al final de la investigación concluimos que las reconstrucciones realizadas en base a fotogrametría realizada con drones muy efectivos ya que nos permiten diagnosticar rápidamente el estado actual del puente, por otro lado se recomienda a las autoridades responsables promover la conservación del puente implementando mecánicos de restauración.

**PALABRAS CLAVES:** Drones, Fisuras, Fotogrametría, Puente.

# Abstract

The cultural heritages that our ancestors have left us are many, many of these heritages today in the world are considered wonders worthy of admiration promoting tourism, which in turn generates economic movement in the world, Peru to date it is a source of history through the years it has been known that we have various wonders which attract many visitors from abroad as well as we have great historical monuments we cannot ignore the small but incredible constructions that are scattered throughout the department.

The city of Ayacucho is one of the departments that houses many tourist attractions, although it has places that are visited by tourists on the outskirts of the city, in the city you can find several very attractive colonial bridges which are made with stone and mortar materials most of this type of bridge is arch-shaped and despite the years that have passed many of these bridges still exist in the city of Ayacucho one of these bridges is the San Sebastian bridge that although years ago still they were in better condition since it was used for the traffic of vehicles in the city, a few years ago this bridge was only intended for pedestrian traffic of the population due to the multiple structural damages that it presents, it was a danger for vehicular traffic since with the overload of the vehicles could collapse. The bridge of San Sebastian, which is located in the province of Huamanga, which dates back many years, was built with stone and mortar, this bridge has the shape of an arch, to date it is neglected and abandoned by the authorities, it is necessary to evaluate this type of structures to prolong its duration and we can continue admiring its beauty, in this work we propose the monitoring of this bridge based on photogrammetry carried out with drones, it is planned to diagnose the current state of the bridge as the identification of pathologies in the entire structure, for this a drone survey of the entire surface of the bridge was carried out, which was taken to a cabinet and processed to achieve the 3D reconstruction of the bridge, with this reconstruction we were able to identify the various structural damages that the bridge presented, At the end of the investigation, we concluded that the 3D reconstructions made based on the photogrammetry carried out with drones is very effective since it allows us to quickly diagnose the current state of the bridge, on the other hand it is recommended that the responsible authorities promote the conservation of the bridge by implementing restoration mechanics.

**KEY WORDS:** Drones, Cracks, Photogrammetry, Bridge.

# ÍNDICE GENERAL

---

	<i>Página</i>
Portada	
Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Abstract	IV
Índice general	V
Lista de figuras	IX
<b>Lista de tablas</b>	<b>XI</b>
Glosario	XII
Lista de siglas y símbolos	XIV
Introducción	XV
<b>I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción del problema. . . . .	1
1.2 Delimitación del problema . . . . .	2
1.2.1 Espacial (geográfica) . . . . .	2
1.2.2 Temporal. . . . .	2
1.2.3 Temática y unidad de análisis . . . . .	2
1.3 Formulación del problema. . . . .	3
1.3.1 Problema principal. . . . .	3
1.3.2 Problemas secundarios. . . . .	3
1.4 Justificación del problema. . . . .	3
1.5 Limitaciones de la investigación . . . . .	4
1.6 Objetivos de la investigación. . . . .	4
1.6.1 Objetivos generales. . . . .	4
1.6.2 Objetivos específicos. . . . .	4

<b>II</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
2.1	Antecedentes . . . . .	5
2.1.1	Investigaciones internacionales . . . . .	5
2.1.2	Investigaciones nacionales . . . . .	10
2.2	Bases teóricas . . . . .	13
2.2.0.1	Algoritmo Structure From Motion y Dense Multi View . . . . .	13
2.2.0.2	Los puentes en la historia . . . . .	13
2.2.0.3	Evolución de los puentes de piedra en Arco . . . . .	14
2.2.0.4	Materiales Constituyentes en los Puentes de Mampostería . . . . .	14
2.2.1	Elementos Estructurales de los Puentes de Mampostería . . . . .	16
2.2.2	Patologías en los Puentes de Mampostería con Bóveda de Arco . . . . .	16
2.2.3	Cámara Aérea . . . . .	17
2.2.3.1	Clasificación de las fotografías: . . . . .	17
2.2.3.2	Definición de fotogrametría . . . . .	19
2.2.3.3	Método General de la fotogrametría . . . . .	19
2.2.3.4	Modelo digital de elevación . . . . .	20
2.2.3.5	Puntos de control del Terreno . . . . .	21
2.2.3.6	Beneficios de usar aparatos UAV . . . . .	21
2.3	Marco conceptual . . . . .	22
2.3.1	Fotogramas . . . . .	22
2.3.2	Ortofotogrametría . . . . .	22
2.3.3	Punto principal . . . . .	23
2.3.4	Punto nadiral . . . . .	23
2.3.5	Recta principal . . . . .	23
2.3.6	Distancia principal . . . . .	23
2.3.7	Angulo de inclinación . . . . .	23
2.3.8	Escala . . . . .	23
2.3.9	Altura de vuelo . . . . .	24
2.3.10	Base Aérea . . . . .	24
2.3.11	Pixel . . . . .	24
2.3.12	Solape Longitudinal . . . . .	25
2.3.13	Solape Transversal . . . . .	25
2.3.14	Ortomosaicos . . . . .	26
2.3.15	Restauración . . . . .	26
2.3.16	Conservación . . . . .	26

<b>III MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>27</b>
3.1 Enfoque. . . . .	27
3.2 Alcance. . . . .	27
3.3 Diseño de investigación. . . . .	27
3.4 Población y muestra. . . . .	28
3.5 Hipótesis. . . . .	28
3.5.1 Hipótesis general. . . . .	28
3.6 Operacionalización de variables. . . . .	28
3.7 Definición conceptual . . . . .	29
3.8 Definición operacional . . . . .	29
3.9 Técnicas e instrumentos . . . . .	30
3.9.1 GPS diferencial Leica GS 16. . . . .	31
3.9.2 (Dron) Phantom 4 Pro V2.0 . . . . .	31
3.10 Desarrollo del trabajo de tesis . . . . .	31
3.10.1 Toma de datos en campo . . . . .	31
3.10.1.1 Inspección de la superficie del puente . . . . .	32
3.10.1.2 Colocación de puntos de control . . . . .	36
3.10.1.3 Toma de datos con el dron . . . . .	37
3.10.2 Procesamiento en gabinete . . . . .	39
3.11 Técnicas estadísticas para procesamiento . . . . .	40
<b>IV RESULTADOS</b>	<b>41</b>
4.1 Contrastación de hipótesis . . . . .	41
4.2 Análisis e interpretación de resultados . . . . .	42
4.2.1 Resultados logrados del procesamiento de imágenes . . . . .	42
4.2.1.1 Carga de fotografías y calibración de cámara . . . . .	42
4.2.1.2 Inspección de imágenes . . . . .	44
4.2.1.3 Alineación de fotos . . . . .	44
4.2.1.4 Nube de puntos dispersa . . . . .	45
4.2.1.5 Nube de puntos densa . . . . .	46
4.2.1.6 Malla poligonal . . . . .	47
4.2.1.7 Generación de textura . . . . .	48
4.2.1.8 Generación del modelo 3D . . . . .	49
4.2.1.9 Creación del modelo digital de superficie . . . . .	51
4.2.1.10 Construcción del ortomosaico . . . . .	52
4.2.1.11 Análisis de daños estructurales a través de SfM . . . . .	52
4.2.2 Comprobación de resultados . . . . .	61

<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>62</b>
<b>V CONCLUSIONES</b>	<b>62</b>
Conclusiones . . . . .	62
Recomendaciones . . . . .	62
Temas afines por investigar . . . . .	62
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>65</b>
<b>Parte I Anexos</b>	<b>68</b>
<b>A Apéndice A</b>	<b>69</b>
A.1 Reporte del programa agisotf Metashape . . . . .	70

# LISTA DE FIGURAS

---

2.1	Algunas Modalidades de Mampostería. . . . .	16
2.2	Fotografía Vertical. . . . .	18
2.3	Fotografía Oblicua. . . . .	19
2.4	Clasificación de fotogrametría. . . . .	20
2.5	Escala de fotografía aérea sobre terreno llano. . . . .	24
2.6	Superposición de traslape para fotogrametría. . . . .	25
3.1	Ubicación del puente San Sebastian. . . . .	32
3.2	Daños estructurales en el puente San Sebastian. . . . .	33
3.3	Daños estructurales en el puente San Sebastian. . . . .	34
3.4	Daños estructurales en el puente San Sebastian. . . . .	34
3.5	Daños estructurales en el puente San Sebastian. . . . .	35
3.6	Daños estructurales en el puente San Sebastian. . . . .	35
3.7	Daños estructurales en el puente San Sebastian. . . . .	36
3.8	Puntos de control en el puente San Sebastian. . . . .	37
3.9	Toma de datos con el dron en el puente San Sebastian. . . . .	38
3.10	Toma de datos con el dron en el puente San Sebastian. . . . .	38
3.11	Toma de datos con el dron en el puente San Sebastian. . . . .	39
4.1	Calibración de imagenes. . . . .	43
4.2	Calibración de imagenes. . . . .	44
4.3	Posicionamiento de imagenes. . . . .	45
4.4	Nube de puntos esparcida. . . . .	46
4.5	Nube de puntos densa. . . . .	47
4.6	Malla de triangulos generados. . . . .	48
4.7	Malla de triangulos con cierre de huecos. . . . .	48
4.8	Malla de triangulos generados. . . . .	49
4.9	Modelo 3D generado del puente San Sebastian. . . . .	50
4.10	Modelo 3D generado del puente San Sebastian. . . . .	50

*Lista de figuras*

4.11 Modelo digital de terreno. . . . .	51
4.12 DEM generado del puente San Sebastian. . . . .	52
4.13 Calculo de area y volumen del puente San Sebastian. . . . .	53
4.14 Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián. . . . .	54
4.15 Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián. . . . .	54
4.16 Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián. . . . .	55
4.17 Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián. . . . .	56
4.18 Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián. . . . .	57
4.19 Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastian. . . . .	57
4.20 Triangulacion de la falla lateral. . . . .	58
4.21 Triangulación de la falla lateral. . . . .	58
4.22 Triangulacion de la falla lateral. . . . .	59
4.23 Falla lateral. . . . .	59
4.24 Falla lateral. . . . .	60
4.25 Falla lateral. . . . .	60
A.1 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	70
A.2 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	71
A.3 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	71
A.4 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	72
A.5 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	72
A.6 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	73
A.7 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	73
A.8 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	74
A.9 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	75
A.10 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	76
A.11 Reporte del programa agisoft Metashape. . . . .	77

# LISTA DE TABLAS

---

2.1	Valores orientativos de solape según tipo de terreno. . . . .	26
3.1	Variables e indicadores. . . . .	29
3.2	Puntos de control. <b>Fuente:</b> Fuente propia. . . . .	36
4.1	Datos de la cámara. . . . .	42
4.2	Coefficientes de calibración y matriz de correlación.. . . .	43

# GLOSARIO

---

**Calibración de la cámara:** Implica la reconstrucción de vigas de perspectiva, o algo similar, para determinar Parámetros intrínsecos de la cámara: distancia principal o focal, coordenadas Punto principal y parámetros de distorsión de la lente.

**Deformaciones:** La deformación se refiere a los cambios que le ocurren a un objeto u objeto después de que se somete a una serie de fuerzas externas, como tensión o compresión, de modo que cambia su tamaño o forma natural.

**Densificar:** Aumentar algo con la finalidad de lograr algo compacto aumento de puntos, aumento de imágenes, lograr que algo adquiriera mayor densidad.

**Drone:** Objeto que vuela sin la intervención de un piloto dentro de él, estos equipos son pilotados a partir de control remoto y son muy usados para tomas de datos como la fotografía debido a la gran capacidad que tienen para captar imágenes de grandes alturas.

**Estructura arquitectónica:** La estructura de un edificio es el resultado de muchos procesos, estructura, forma y espacio son un conjunto de elementos.

**Fotografías:** La fotografía es el arte de captar imágenes que perduran en el tiempo gracias a la acción de la luz sobre una placa. El proceso fotográfico es complejo y tomó años de desarrollo para alcanzar el nivel técnico actual. La fotografía es una forma de expresión.

**Fotogrametría:** La fotogrametría es la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto. Es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno.

**Fotogrametría SfM:** Es una metodología similar a la fotogramétrica clásica, lo único diferente es que este método permite tomar múltiples fotos desde diferentes posiciones, ángulos, perspectivas y exposiciones de luz. Esta técnica es muy útil para evaluación de monumentos.

**Geometría compleja:** Objeto que tiene una forma compleja el cual causa dificultades para ser representados en formatos 3D.

**Modelación 3D:** Es la representación matemática de un objeto tridimensional haciendo uso de un software especializado. Al resultado de ese procedimiento se le conoce como modelo 3D y sirve para realizar simulaciones de fenómenos físicos y obtener visualizaciones de toda la geometría y particularidades de un objeto.

**Ortogonalidad:** Hace referencia a todo lo que forme en su unión un ángulo de noventa grados.

**Patrimonial:** Hace referencia a bienes intangibles que son importantes para una región o país, patrimonial que guarda o gana valor histórico por el cual debe ser protegido.

**Puente:** Describe el proceso metódico de, entre otras cosas, la renovación de cualquier parte de un edificio. Esta fase incluye una amplia gama de actividades, desde la limpieza de la fachada exterior hasta el fortalecimiento de los cimientos.

**Puentes bóveda:** El software es una colección de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten a una computadora realizar diversas operaciones. El término software es una palabra inglesa que ha sido adoptada en otros idiomas y se refiere a todos los componentes intangibles (y no físicos) que forman parte de dispositivos como las computadoras.

**Reconstrucción:** Es la restauración principalmente prototípica de monumentos arquitectónico y edificios históricos destruidos o dañados. La reconstrucción de edificios ha sido una práctica común durante siglos.

**Restauración:** La fotogrametría es una técnica que tiene como objetivo estudiar y determinar con precisión la forma, las dimensiones y la posición de cualquier objeto en el espacio, utilizando principalmente medidas tomadas de una o más fotografías tomadas de ese objeto. Es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener medidas fiables de objetos físicos y su entorno.

**Software:** El software es una colección de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten a una computadora realizar diversas operaciones. El término software es una palabra inglesa que ha sido adoptada en otros idiomas y se refiere a todos los componentes intangibles (y no físicos) que forman parte de dispositivos como las computadoras.

**Traslape:** Acción de cubrir algo, traslapar hace referencia de la existencia de continuidad de un punto a otro para que se logre unir en un solo objeto de ser necesario, en fotogrametría es muy necesario para lograr unir en una sola imagen varias fotografías.

# LISTA DE SIGLAS Y SÍMBOLOS

---

*V* : Volumen

*m* : Metros

*mm* : Milímetros

*Pul* : Pulgadas

*ML* : Limo

*ET* : Estudio con Estación Total

*GNSS* : Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite)

*GPS* : Global Positioning System. (Sistema de Posicionamiento Global)

*GIF* : Graphics Interchange Format (Formato de intercambio gráfico)

*GeoTIFF* : (Formato de archivo de imagen georreferenciado)

*GSD* : Ground Sampling Distance (Tamaño de pixel en el terreno)

*LIDAR* : Detección y medición a través de luz (láser)

*RMS* : Root Mean Square (Error medio cuadrático)

*RPA* : Remotely Piloted Aircraft (Aeronave Pilotada a Distancia)

*RTK* : Real Time Kinematic (Tiempo real cinemático)

# INTRODUCCIÓN

---

La protección y conservación del patrimonio arquitectónico representan una necesidad para cualquier sociedad en el mundo, el interés por sus valores culturales históricos y mantener viva su cultura son esenciales para cualquier nación. Los puentes de piedra forman parte de estos patrimonios históricos que se encuentran regados en todo el mundo, son diversos los puentes que se tiene en cada país, el Perú es uno de los países afortunados que cuenta con mucho legado histórico en todo su territorio. En cada uno de los departamentos del Perú podemos encontrar diversidad de monumentos históricos que son bastante atractivos para los visitantes, formando así un fuente ingreso y contribuyendo positivamente en el crecimiento económico de cada región, Ayacucho uno de los departamentos del Perú no es ajena a ello es un departamento que cuenta con muchos atractivos turísticos debido a la cantidad de estructuras Anguas que tienen en su territorio, uno de sus atractivos que se encuentra en la misma ciudad de Huamanga es el puente de San Sebastián la cual almacena mucha historia y es un importante atractivo ya que este puente está construido en piedra y mortero es uno de esos puentes que fue realizada muchos años atrás y aún sigue funcional.

El puente de San Sebastián, es un puente en forma de arco que a la fecha se encuentra funcional ha sufrido muchos deterioros, las autoridades planearon en un momento demolerlo, para implementar en su lugar un puente de concreto moderno que diera solución a la congestión de la ciudad, el puente presenta daños en toda su superficie la cual la hace peligroso para el uso de la sociedad como puente para tránsito de vehículos, considerando su legado histórico y belleza aún se mantiene a la fecha pero solo para tránsito peatonal, siendo dejado a su suerte, el puente se siguen dañando cada vez más, es importante que las autoridades presten atención a este problema para dar una solución y promover su conservación para así poder gozar de esa estructura muchos años más.

se plantea el monitoreo del puente San Sebastián a partir de fotogrametría con el cual se podrá obtener la cantidad de daños que presenta el puente y poder plantar soluciones que promuevan su conservación, el puente cuenta con una buena sección la cual la hace accesible para tránsito vehicular porque platear demoler un puente de este tipo para dar solución a la congestión de la ciudad si con el aumento de la tecnología podemos plantear la reestructuración de puente con ello se conservaría el puente y a su vez se daría solución a la congestión vehicular de la ciudad. En este trabajo planteamos el monitoreo del puente a partir de la reconstrucción 3D la cual será realizada a partir de las imágenes tomadas con drones, con las reconstrucciones finales podremos deducir cual es el estado actual de daños que presenta el puente y a la vez implementaremos una forma de toma de datos para la

evaluación estructural de monumentos históricos que será realiza de manera rápida, sencilla y a bajos costos.

**Capitulo I - Planteamiento del problema:** En esta sección del trabajo damos a conocer el planteamiento del problema, damos a conocer que nos motivó pata hacer la investigación así mismo trazamos nuestros objetivos principales y secundarios.

**Capitulo II - Marco Teórico:** En esta sección se da conocer las diferentes bases teóricas de los diversos estudios realizados en temas relacionados a drones y monitoreo de patrimonios históricos a nivel nacional y en el mundo así mismo se da a conocer diferentes conceptos importantes para la correcta comprensión de la investigación.

**Capitulo III - Método de la investigación:** Esta sección se basa en la determinación de tipo de investigación, alcance de la investigación así mismo damos a conocer los diferentes pasos tenidos en cuenta para toma de datos y posterior procesamiento.

**Capitulo IV - Resultados:** Esta parte de la investigación muestra los resultados finales obtenidos de los diferentes procesos de la investigación lo que posteriormente se plasmó en las conclusiones y recomendación según las experiencias adquiridas en nuestro trabajo.

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

Son diversos los monumentos arquitectónicos que se tiene dispersos en el Perú, mucho de ellos se encuentran en completo abandono, debido al desinterés de las autoridades en su conservación, muchos de estos monumentos a la fecha a causa del desinterés y poco cuidada se encuentran en mal estado, llegando a ser solo atractivos turísticos dejando de la función para lo cual fueron construidos, los puentes en arco que datan de muchos años atrás están realizada a base de piedra y mortero por lo cual por el pasar de los años se encuentran en deterioro. El puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho, es un puente a base de piedra con forma de arco la cual cuenta con un ancho considerable por el cual pasaban vehículos, hasta hace unos años atrás, a la fecha por el uso y el descuido de las autoridades se encuentra en pésimas condiciones haciéndolo un peligro para tránsito vehicular quedando solo para tránsito peatonal debido a los múltiples daños con los que cuenta en su estructura.

### **1.1** Descripción del problema.

---

Actualmente existen una diversidad de patrimonios históricos, los cuales son atractivos turísticos. Esto debido a la historia que tienen y porque generalmente reúnen características únicas que son prueba de otras formas de construcción de nuestros antepasados. A su vez muchos de ellos muestran características extraordinarias. El Perú cuenta con muchos atractivos turísticos algunos en perfectas condiciones por el mantenimiento rutinario que se le brinda. Ayacucho como uno de los departamentos que estuvo involucrado en la independencia de nuestro país reúne mucha historias y a su vez cuenta con muchos lugares con historia uno de estos atractivos es el puente San Sebastián de Ayacucho. Hasta el año

2007 se encontraba en mal estado estructural debido al total abandono que se tuvo con este monumento, pero unos años después se plantearon proyectos para su mantenimiento. EL puente se encuentra en la misma ciudad, como este existen otros patrimonios históricos que les hace falta una inspección para detallar el grado de daño que tienen. Por ello consideramos necesario la implementación de una nueva metodología rápida y de bajo costo con el que se podría hacer las inspecciones respectivas. Las inspecciones con drones serian una alternativa de agilizar el trabajo de inspección y así detectar los daños estructurales para posteriormente agilizar su mantenimiento. Estos equipos utilizan algoritmos para poder identificar puntos en el espacio y caracterizarlos en coordenadas y color.

## **1.2** Delimitación del problema

---

En esta sección se evalúa y delimita el campo de análisis que se tomara en cuenta para nuestro trabajo de investigación, la ciudad de Ayacucho cuenta con varios monumentos históricos que no cuentan con mantenimiento rutinario por falta de inspección y desconocimiento del daño que tienen las estructuras. Por otro lado los drones son unos equipos fáciles de maniobrar que permite tomar imágenes por todo los ángulos de cualquier superficie. Estos trabajos con drones son de bajo costo y son rápidos por lo cual se podría agilizar el tiempo de inspección de estos monumentos históricos con lo cual se podría plantear ya una forma de mantenimiento oportuno para tener estas estructuras históricas en óptimas condiciones.

### **1.2.1** Espacial (geográfica)

---

La investigación se lleva a cabo en el departamento de Ayacucho, en la provincia de Huamanga. El puente San Sebastián es un atractivo turístico ya que es un puente a base de piedra y mortero en forma de fue construido hace muchos años atrás. Los últimos años, se ha constatado con indignación, como se depende esta estructura afectando las características iniciales modificando gravemente su tipología y morfología.

### **1.2.2** Temporal.

---

La presente investigación se realizó en el año 2022.

### **1.2.3** Temática y unidad de análisis

---

El trabajo se centra en hacer un levantamiento fotogramétrico con la ayuda de un dron para posteriormente procesarlo y obtener una reconstrucción 3D con el cual se pretende

evaluar los diferentes daños estructurales que podrían existir en la estructura. Esto permite una inspección rápida y el conocimiento oportuno de los daños que tiene una estructura se podría agilizar los pasos para su posterior mantenimiento.

### **1.3 Formulación del problema.**

---

Como ya fue mencionando nuestro interés en este tema fue por la falta de inspección que tienen los monumentos históricos en esta sección procedemos al planteamiento de los problemas principales y secundarios respectivamente.

#### **1.3.1 Problema principal.**

---

¿Qué tipo de daños estructurales se puede encontrar a partir del estudio de la salud estructural con drones en el puente histórico San Sebastián de la ciudad de Ayacucho empleando el algoritmo SFM-DMV ?

#### **1.3.2 Problemas secundarios.**

---

Como problemas secundarios luego de inspeccionar la zona a investigar planteamos los siguientes problemas secundarios:

1. ¿Qué dimensiones tendrán los diferentes daños que afectan a la estructura del puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho?
2. ¿Cuál será la precisión de la fotogrametría realizada con drones empleando el algoritmo SFM-DMV para la evaluación de daños del puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho ?

### **1.4 Justificación del problema.**

---

La investigación se justifica al encontrar una manera de acelerar el tiempo para evaluar la salud estructural de los monumentos históricos para facilitar sus programas de restauración y mantenimiento oportunos. Al lograr una inspección rápida y a bajo costo y tener un conocimiento oportuno del daño de una estructura se puede promover su oportuna reparación antes que estos daños afecten gravemente la estructura que tiene mucho valor histórico y por su belleza son atractivos turísticos de la ciudad por ello es necesario promover su conservación con inspecciones rápidas y oportunas.

## **1.5 Limitaciones de la investigación**

---

1. Al momento de colocar los puntos de control, ya que al ser un monumento histórico está bajo el amparo de la resolución municipal de protección de estructuras arquitectónicas y no se puede hacer marcas sobre la estructura.
2. Se necesitan drones que tengan una buena capacidad de almacenamiento como también que tengan mayor tiempo de duración de las baterías del equipo para poder sobrevolar más tiempo y detectar todos los puntos de la estructura.
3. Se requieren equipos de procesamiento de bastante capacidad como WorkStation y servidores, ya que al ser muchas la cantidad de información las computadoras comunes tardan demasiado tiempo en el procesamiento de los datos.

## **1.6 Objetivos de la investigación.**

---

Los objetivos planteados en este proyecto de investigación se mencionan en los siguientes:

### **1.6.1 Objetivos generales.**

---

Identificar los tipos de daños estructurales presentes en el puente histórico San Sebastián de la ciudad de Ayacucho empleando el algoritmo SFM-DMV.

### **1.6.2 Objetivos específicos.**

---

Los objetivos planteados en el trabajo de investigación son:

1. Determinar las dimensiones de los diferentes daños que afectan a la estructura del puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho empleando el algoritmo SFM-DMV.
2. Determinar la precisión del algoritmo SFM-DMV realizada con drones para la evaluación de daños del puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho.

# CAPITULO II

## MARCO TEÓRICO

---

El uso de los Drones en la industria de la construcción son múltiples, son bastantes usados por sus bajos costos que ofrecen y a la vez por la facilidad que ofrecen para la toma de datos, en la ingeniería es usado para evaluación de pavimentos, para levantamiento de grandes extensiones de trabajo, por otro lado los monumentos históricos como son los puentes de piedra forman parte de nuestra sociedad siendo un gran atractivo turístico, y contribuyendo positivamente en el crecimiento económico de la ciudad donde se encuentran ubicados. El transcurrir de los años han ocasionado que mucha de estas estructuras sufran daños siendo necesario una inspección y una evaluación detallada para determinar el grado de afectación que tienen para programar posteriormente una reparación y contribuir a su conservación. Evaluando esta problemática es viable inspeccionar estos puentes con la ayuda de drones mezclar el avance tecnológico y contribuir a la conservación de estos monumentos históricos.

### 2.1 Antecedentes

---

En esta sección se van a detallar las diferentes investigaciones que se han realizado en el país, y a nivel internacional en todo lo que concierne a lo que es la aplicación de drones en la fotogrametría.

#### 2.1.1 Investigaciones internacionales

---

En la investigación titulada: **Análisis numérico y de laboratorio de la falla de estructuras de piedra en arco con y sin reforzamiento** se detalla que actualmente existen muchas estructuras en arco de albañilería que están usualmente protegidas. Por lo tanto, el mantenimiento y la determinación de sus capacidades de carga es un asunto muy importante. Consecuentemente, es necesario entender el comportamiento de estas estructuras,

pero la investigación de una estructura antigua puede causar dificultades. Sin embargo, un gran número de evaluaciones puede ser realizado sobre un pequeño modelo bajo condiciones de laboratorio. Es fácil entender su comportamiento estructural y determinar los parámetros que influyen significativamente la capacidad de carga. También se tiene la oportunidad de construir y verificar un modelo numérico que puede ser usado para modelar estructuras existentes. En esta investigación, evaluaciones destructivas de pequeñas estructuras en arco construidas a escala fueron realizadas bajo condiciones de laboratorio. El análisis fue llevado con y sin reforzamiento para determinar las diferencias en el comportamiento estructural, la capacidad de carga y el tipo de falla. Para la evaluación, la estructura fue reforzada con el polímero reforzado de fibra de carbono (CFRP) para mejorar el reforzamiento del arco. Las propiedades de los materiales de la construcción del arco de albañilería fueron evaluados previamente. El artículo presenta los resultados y experiencias de la construcción y el proceso de carga de pequeñas estructuras en arco. Por lo tanto, se logra la comparación entre el comportamiento de la estructura con y sin reforzamiento (Varral., 2021).

En otra investigación titulada: **Modelo Voxel automatizado a partir de nubes de puntos para el análisis estructural del patrimonio cultural**, En el contexto del patrimonio cultural, un levantamiento digital preciso y completo de un edificio histórico es hoy esencial para medir su geometría en detalle con fines de documentación o restauración, para apoyar estudios especiales sobre materiales y características constructivas, y finalmente para el análisis estructural. Algunas técnicas geomáticas probadas, como la fotogrametría y el escaneo láser terrestre, se utilizan cada vez más para inspeccionar edificios con diferente complejidad y dimensiones; un producto típico está en forma de nubes de puntos. Desarrollamos un procedimiento semiautomático para convertir nubes de puntos, adquiridas de laserescan o digital fotogrametría, a un modelo de volumen lleno de toda la estructura. El modelo de volumen lleno, en formato vóxel, puede ser útil para análisis y también para la generación de un Modelo de Elementos Finitos (FEM) del edificio levantado. En este trabajo se propone un nuevo enfoque presentado con el objetivo de disminuir la intervención del operador en el flujo de trabajo y obtener una mejor descripción de la estructura. Con el fin de lograr este resultado se produce un modelo voxel con resolución variable. Se comparan diferentes parámetros y diferentes pasos del procedimiento son probados y validados en el estudio de caso de la torre norte de la Fortaleza de San Felice Sul Panaro, un conjunto histórico monumental edificio ubicado en San Felice Sul Panaro (Modena, Italia) que fue golpeado por un terremoto en 2012 (Bitelli et al., 2016).

En esta investigación titulada: **Evaluación de precisión de modelos fotogramétricos 3D desde un vehículo aéreo no tripulado**, el levantamiento fotogramétrico con

vehículos aéreos no tripulados (UAV) de un sitio arqueológico ha demostrado ser particularmente eficiente. Para obtener resultados altamente precisos y confiables, es necesario diseñar cuidadosamente el plan de vuelo y la georreferenciación, al mismo tiempo que se evalúan los indicadores de la tasa de precisión. Utilizando como caso de prueba un estudio fotogramétrico con UAV realizado en el yacimiento arqueológico del anfiteatro romano de Avella (Italia), en este artículo proponemos un pipeline para evaluar la precisión de los resultados de acuerdo con algunos indicadores de calidad. A continuación, se comprueba la configuración de vuelo y la georreferenciación elegida a través de los residuales en los puntos de control en tierra (GCP), distribuidos uniformemente en los bordes y en toda el área. Con el fin de evaluar la precisión del modelo final, propondremos un método para la detección de valores atípicos, teniendo en cuenta la distribución estadística (tanto global como por porción del objeto de estudio) de los errores de reproyección. Luego se implementará un filtro para reducir el ruido dentro del modelo a través de la detección del ángulo formado por rayos homólogos, para llegar a un compromiso entre el número de puntos utilizables y la reducción del ruido relacionado con la definición del 3D. modelo(Barba et al., 2019).

La investigación titulada: **Interferómetro de radar y doppler láser para mediciones sin contacto en tirantes inaccesibles en edificios monumentales: Templo de Santa María della Consolazione en Todi**, las mediciones sin contacto se pueden usar de manera efectiva en ingeniería civil para evaluar la variación del desempeño estructural con el tiempo. En las últimas décadas, este enfoque ha recibido considerable interés por parte de los investigadores que trabajan en el campo de la monitorización de la salud estructural (SHM). De hecho, las mediciones sin contacto son muy atractivas porque es posible realizar investigaciones no intrusivas y no destructivas incluso estando a una distancia significativa de los objetivos. En este contexto, en este artículo se presentan mediciones sin contacto de las vibraciones de los tirantes en el templo de Santa María della Consolazione en Todi (Italia). En particular, las mediciones de interferómetro de radar y vibrómetro láser se utilizan para estimar frecuencias naturales y formas de modo. Esta información es crucial para obtener la fuerza axial de tracción en los tirantes, que puede utilizarse como indicador de integridad estructural o posible falla. Además, se propone un enfoque novedoso en el que los drones (vehículos aéreos no tripulados) se pueden utilizar con éxito para mejorar la eficacia y la precisión de las actividades experimentales(Gioffré et al., 2017).

La investigación titulada: **Evaluación de daños estructurales basada en escaneo láser terrestre**, el escaneo láser terrestre (TLS) proporciona una técnica rápida de

detección remota para modelar objetos en 3D. El trabajo anterior que aplica TLS al análisis estructural ha demostrado su eficacia para capturar desviaciones de vigas simples y modelar estructuras existentes. Este documento amplía TLS a la aplicación de detección de daños y análisis de cambios volumétricos para una muestra de prueba estructural a gran escala. Es importante destacar que proporciona un marco necesario para tales aplicaciones, en combinación con un enfoque de análisis que no requiere un desarrollo tedioso de superficies complejas. Se presentan métodos de análisis de corte intuitivos, que se pueden automatizar para generar resultados rápidamente. En comparación con los métodos convencionales de análisis fotográfico y de superficie, el enfoque propuesto demostró ser consistente. Además, los datos de TLS proporcionaron información adicional sobre el cambio geométrico que no era evidente con los métodos convencionales. Al igual que con cualquier registro digital, un beneficio clave del enfoque propuesto es la muestra de prueba virtual resultante, que está disponible para el análisis posterior a la prueba mucho después de que se derriba la muestra original. También se analizan las incertidumbres que se pueden introducir a partir de grandes conjuntos de datos TLS, píxeles mixtos y paralaje en el análisis TLS (Olsen et al., 2010).

La investigación titulada: **Evaluación del estado de puentes mediante escáneres láser terrestres**, la evaluación del estado actual de las estructuras y los sistemas de infraestructura ha sido fundamental durante mucho tiempo para garantizar su eficacia y vida útil restante. Aunque las tecnologías de evaluación no destructivas han mejorado significativamente, la inspección visual sigue siendo una herramienta principal utilizada para evaluar el estado de las estructuras, especialmente los puentes. Esta investigación investiga el uso de escáneres láser junto con imágenes como una herramienta para mejorar las estrategias actuales de inspección visual. Las capacidades de escaneo láser han avanzado en los últimos años y han ganado más reconocimiento como herramienta para aplicaciones en numerosos campos. Ahora es posible recopilar millones de puntos de datos de mapas de textura con una precisión de milímetros. En este trabajo, los conjuntos de datos mapeados de textura capturados se procesan utilizando varias estrategias de detección de daños, que integran los criterios de clasificación de condiciones existentes para una amplia gama de tipos de daños, con el fin de localizar, cuantificar y documentar los daños superficiales. Estas estrategias de detección de daños incluyen métodos desarrollados para detectar daños tanto en los elementos como en la superficie que están presentes en las estructuras investigadas. Para demostrar que la localización, cuantificación y documentación de defectos se realizan con éxito, los métodos propuestos se utilizan para procesar la nube de puntos 3D mapeada con textura recopilada de puentes de banco de pruebas. Los puentes de banco de pruebas investigados incluyen una variedad de elementos y daños superficiales que

incluyen grietas, regiones de concreto astillado, pérdida de sección de acero, delaminación y corrosión. Los resultados obtenidos muestran que las nubes de puntos 3D mapeadas con textura pueden usarse de manera efectiva para detectar y documentar información cuantitativa sobre las condiciones actuales (Guldur et al., 2015).

La investigación titulada: **Evaluación de vulnerabilidad sísmica de iglesias de mampostería no reforzada en Chile central**, En la región central de Chile, las iglesias de mampostería no reforzada (URM) sufrieron grandes daños estructurales durante el terremoto del Maule de 2010 (Mw 8,8), lo que destaca la importancia de implementar planes de reducción del riesgo sísmico. Estos edificios religiosos se caracterizan por profundas peculiaridades tipológicas y constructivas, originadas por la combinación de la cultura constructiva local con los revivalismos arquitectónicos europeos (i.e., Neobarroco, Neoclásico, Neorenacentista y Neogótico) durante la dominación española (1536). –1818). La singularidad de este patrimonio y el riesgo sísmico del territorio chileno llevan a la necesidad de definir un método sistemático para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las iglesias de la URM chilena. En este artículo se reportan algunos resultados de una investigación en profundidad sobre un stock representativo de iglesias. La investigación se basó en la implementación de una base de datos con características geométricas, constructivas y estructurales de 40 iglesias de la URM en la Región Metropolitana de Chile. Se proporciona una evaluación cualitativa preliminar de la capacidad sísmica de estas iglesias mediante un levantamiento de índices geométricos. Que los daños específicos observados después del terremoto de 2010 se han relacionado con los mecanismos de falla recurrente de las estructuras de mampostería, teniendo en cuenta 21 mecanismos locales que involucran a los macroelementos de las iglesias. Se calculó el nivel medio de daño sufrido por cada iglesia a través del índice global de daño y se ha dispuesto un histograma de frecuencias de los niveles de daño. Estos resultados son herramientas probabilísticas preliminares adecuadas para apoyar los planes de reducción del riesgo sísmico (Palazzi et al., 2019).

La investigación titulada: **Caracterización dinámica de un puente histórico de mampostería severamente dañado**, el artículo presenta los resultados preliminares de una investigación en curso sobre un puente de arco de mampostería en el barrio de Todi (Umbría, Italia). Se presenta un enfoque multidisciplinario que integra el levantamiento geométrico, las pruebas dinámicas y el modelado numérico con el objetivo de evaluar el desempeño estructural del antiguo puente. Se ha procesado un levantamiento fotogramétrico basado en imágenes de alta resolución proporcionadas por UAV (Vehículo Aéreo No

Tripulado) para obtener un modelo numérico 3D y mapear el diseño de la fisura. Se han realizado pruebas de vibración ambiental y forzada utilizando vibrómetro láser, interferómetro de radar y acelerómetros sísmicos. Los datos experimentales se han procesado mediante análisis modal operativo y los resultados se han comparado con los resultados numéricos proporcionados por un modelo simplificado(Pepi et al., 2017).

### 2.1.2 Investigaciones nacionales

---

La investigación titulada: **“Análisis comparativo de modelos digitales de terreno generados mediante fotogrametría con vehículo aéreo no tripulado y topografía tradicional en obras viales. Huancayo, 2018”**, Esta investigación se desarrolla en la carretera Chupuro - Moya, Km 04+000, ubicada en el distrito de Chupuro de la provincia de Huancayo, para lo cual se propone la digitalización y vectorización de imágenes. terreno captado por una cámara aérea montada en un UAV (vehículo aéreo no tripulado). Vehículos aéreos no tripulados, también llamados drones. El objetivo principal de este estudio es verificar los resultados de medición obtenidos directamente con la placa, que después de la instalación se clasifica como un instrumento de medición de alta precisión; Compara las medidas obtenidas a partir de imágenes aéreas tomadas por un dron (UAV) y la precisión adecuada con la ayuda de un software especial para este tema. Fueron monitoreados mediante una red abierta con un GPS diferencial instalado. Con este procesamiento se puede modelar y comparar virtualmente el tiempo en cada forma de trabajo y así determinar la forma más adecuada de implementarlo. La conclusión final nos revela la precisión, costo y tiempo en el nivel de confianza 95 %, tanto en comparación con un tatámetro como para el procesamiento de imágenes aéreas tomadas por un dron (UAV). Esto significa que ambos métodos son estadísticamente similares en términos de resultados de medición(Carmen Reategui, 2021).

La investigación titulada: **“Análisis comparativo del método convencional y método alternativos R.P.A.S para el levantamiento topográfico de una trocha carrozable en Jauja Junín, 2020”**, El objetivo principal fue “conocer la diferencia entre el levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico RPAS Drone” (Remotely Piloted Aircraft Systems) en la elaboración de planos topográficos de un área seleccionada como área alternativa de terreno para la disposición de residuos sólidos. Areo Paca (relleno sanitario), este terreno está ubicado en el norte de Churro Corral, en el departamento de Junín, en la provincia de Jauja. Para la medición topográfica tradicional se utilizó una estación de cámara Leica Flexline TS06 PLUS 5 y un dron topográfico RPAS

(Remotely Piloted). Aircraft Systems) o Remotely Piloted Aircraft Systems, se utilizó un dron DJI Phantom Pro v 2.0 RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) con puntos de control fotográfico en tierra. El tipo de investigación es aplicada, no experimental, transversal, de nivel descriptivo-explicativo y enfoque cuantitativo. La muestra consistió en Levantamientos Topográficos en el cruce de las carreteras Jauja - Provincia de Junín con equipos de última generación para garantizar una precisión óptima y realizar comparaciones técnicas del tiempo de trabajo y costos operativos de ambas modalidades de trabajo. En la comparación del tiempo utilizado, encontramos que el método alternativo es de 3 días, se utilizó el dron en comparación con el método tradicional, que tomó 7 días, mientras que podemos ver cuán efectivo y eficiente es el equipo no tripulado, que permite reducir . el tiempo AL Determine la diferencia en la precisión de las coordenadas para una cruz abierta que contiene 6 BM, calcule la diferencia en las coordenadas norte, este y de elevación con resultados aceptables a menos de 0,05 m para este tipo de topografía. Determinamos los costos de ambos métodos: el costo de 2 km por el método convencional es de S/12,538.68 pies y el costo del método alternativo es de S/6, 12.12 pies. Por lo tanto, el método alternativo es el más rentable en la medición (Rivas Arias and Vilca Canchapoma, 2020).

La investigación titulada: **“Sistema de información geográfica basados en la tecnología de drones aplicado en el área de catastro arqueológico del Ministerio de Cultura sede Cusco 2015”**, La muestra de la investigación estuvo conformada por 25 funcionarios de la Coordinación de Catastro y Saneamiento Legal del Área Funcional de Patrimonio Arqueológico de la Dirección Desconcentrada de Cultura del Ministerio de Cultura en Cusco, en adelante denominada Sede del Ministerio de Cultura, Cusco. El análisis estadístico midió la implementación del sistema de información geográfica y el conocimiento tecnológico de vehículos aéreos no tripulados (en adelante drones) en la coordinación Catastral de la citada entidad pública, cuyos resultados la tornaron válida y confiable. muestra estudiada, que es el problema de esta tesis y que requiere dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿El Sistema de Información Espacial basado en tecnología dron en Cusco, ubicado en el área de propiedad arqueológica del Ministerio de Cultura, es apto para identificar y registro del patrimonio arqueológico en la región Cusco?. El objetivo de responder a la interrogante es implementar, de acuerdo a los avances, un completo sistema de información espacial basado en tecnología digital de drones, que permitiría la identificación y registro del patrimonio arqueológico del área catastral arqueológica del Ministerio de Cultura de Cuzco. Región Cuzco. La aplicación de herramientas de recolección de datos permite confirmar esta hipótesis: pude demostrar que el modelo estadístico utilizado llegó a una conclusión general cuando contrasté la hipótesis general con la siguiente afirmación: “Este estudio demostró que, se puede implementar un completo sistema de

información espacial basado en tecnología digital de drones, que permita al Ministerio de Cultura del Cusco identificar y registrar el patrimonio arqueológico en el área catastral arqueológica, y con esto en mente se recomienda apuntar al personal señorial” se observa que participan directamente en la identificación y registro del patrimonio arqueológico, al tiempo que garantizan una formación continua en la aplicación de la nueva tecnología de drones que les permitirán cumplir y ampliar los límites físicos establecidos cada año para los objetivos arqueológicos de identificación y registro del patrimonio (Amézquita Jiménez, 2016).

La investigación titulada: **“Aplicación de la técnica fotogramétrica Structure From Motion en un levantamiento topográfico mediante el uso de aeronave pilotada a distancia (RPAS)”**, La técnica de fotogrametría de Structure From Motion se basa en la obtención de datos de alta resolución a partir de fotografías para representar un objeto 2D-3D. El presente artículo tiene como objetivo aplicar la fotogrametría Structure From Motion de manera experimental a un levantamiento topográfico utilizando RPA en un área de 3600 metros cuadrados en el campus de la Universidad del Perú Unio. Para el desarrollo de este trabajo se utilizó un dron de la empresa DJI Phantom Pro y un tatámetro de la marca Leyca para obtener 8 puntos de control de los objetivos de la grilla del punto de orden C. Aplicando la técnica Structure From Motion a través del software In Agisoft, tridimensional. se creó un modelo para posteriormente crear una nube de puntos densa y se disparó un modelo digital de elevación del que finalmente se extrajeron las curvas de nivel. De esos resultados obtuvimos medidas básicas como circunferencia, área y volumen (Fernandez Aliano, 2020).

La investigación titulada: **“Integración de la fotogrametría aérea con drones para la elaboración de un modelo digital del Campus Hermosillo Centro de la Universidad de Sonora ”**, A lo largo de la historia, el desarrollo de la tecnología ha permitido innovar en el desarrollo de la actividad económica, lo que facilita, mejora y potencia los procesos involucrados. Como uno de los sectores más invertidos, que según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) produce el 13% del PIB mundial, la construcción también tiene uno de los indicadores de productividad más bajos. Según un estudio del McKinsey Global Institute, en los últimos 25 años, las industrias con mayor crecimiento de productividad en las últimas décadas son: Los drones y la fotogrametría aérea se han implementado como herramienta en diversas etapas de construcción para lograr una mayor productividad en los datos de campo. recogida, en algunos casos más rápido, más preciso y más barato. El uso de procesos fotogramétricos con software especial ha ganado popularidad entre las grandes empresas que han decidido invertir en el uso de

estos nuevos métodos. El presente proyecto de investigación tiene como finalidad dar un panorama general de los alcances de la fotogrametría aérea para la realización de diversas obras de construcción en general, pero principalmente pretende ser ejemplos de ello a través del modelo digital de la unidad central Sonora. Gráficamente se trató de resaltar los beneficios prácticos aplicables a las tareas administrativas del departamento de logística, planificación, mantenimiento y avance de obra en general en el campus. Como resultado, fue posible obtener diferentes visualizaciones del estado real de la infraestructura con la fecha actualizada de 2019, 2020 y 2021, y realizar comparaciones, mediciones y análisis de parámetros precisos entre el modelo digital y el entorno físico.(IBARRA DUARTE et al., 2021).

## **2.2 Bases teóricas**

---

En esta sección del trabajo de investigación se revisara todos los conceptos que involucran la teoría con respecto algoritmo SFM-DMV, drones, fotogrametría y los daños estructurales de monumentos históricos.

### **2.2.0.1 Algoritmo Structure From Motion y Dense Multi View**

---

Estos algoritmos permiten identificar espacialmente puntos comunes en diferentes fotografías, normalmente más de tres. A partir de estos puntos se orientan y posicionan las cámaras, y luego una nube de puntos tridimensional (información topográfica) y ortomosaicos corregidos geométrica y geográficamente (información planimétrica). Los algoritmos SfM-DMV no requieren información interna sobre cámaras (lentes) o información de dirección o su ubicación 3D para reconstruir una escena (Westoby et al., 2012). Sin embargo, la creación de una red de puntos de control topográfico permite el registro de datos en un sistema de coordenadas geográficas (georeferencia) para la comparación o integración de datos con datos ya existentes y registrados. Además, esta tecnología, junto con las tecnologías láser terrestres, es la que ofrece mayor versatilidad para proporcionar densidad de información de alta resolución a grandes escalas espaciales(Westoby, 2012).

### **2.2.0.2 Los puentes en la historia**

---

Segun (Fernández Gómez et al., 2006), “los puentes a través de su historia siempre han cumplido una función simple que es continuar un camino cuando exista un obstáculo o esta se desprenda del suelo. Cabe hacer mención de varios autores, que los puentes evolucionaron principalmente debido a la evolución del camino y al desarrollo de conocimientos técnicos.

A finales del S. XVIII los puentes eran desarrollados por Ingenieros, sin embargo hubo quienes se interesaron por un lado en el desarrollo del conocimiento sobre el comportamiento resistente de las estructuras y por otro lado en el sentido artístico que debería mantener estas obras, esto causo que existieran Ingenieros y Arquitectos, coincidiendo este hecho con la revolución industrial. Para los puentes esto fue determinante, ya que de edificar puentes de piedra y de madera se pasó a edificar los puentes metálicos y de concreto. A lo largo de la historia constructiva de puentes se han usado distintos materiales y tipos de estructura para construirlos. Es así que podemos enfocarlos según el tipo de estructura y el material. Según el tipo de estructura empleada podemos mencionar: los puentes viga, los puentes arco, los puentes colgantes y los puentes atirantados. Según el material empleado para construirlos tenemos cuatro materiales básicos los cuales son: la madera, la piedra, el hierro y el concreto. Y otros materiales como la fibra natural muy usado antiguamente en América del Sur, el ladrillo de arcilla cocida y el aluminio, empleados con regular frecuencia para construir puentes o parte de ellos” .

#### **2.2.0.3 Evolución de los puentes de piedra en Arco**

---

Segun (Fernández Gómez et al., 2006), “los puentes de piedra con bóveda de arco como toda obra humana tuvieron su desarrollo, su gran apogeo y un desuso posterior. Se puede afirmar que los puentes de piedra con arcos de dovelas se iniciaron y se desarrollaron con los romanos, produciéndose en el siglo XVIII grandes cambios con respecto a su diseño y proyección; utilizándose éstos últimos conceptos hasta el primer cuarto del siglo XX”.

#### **2.2.0.4 Materiales Constituyentes en los Puentes de Mampostería**

---

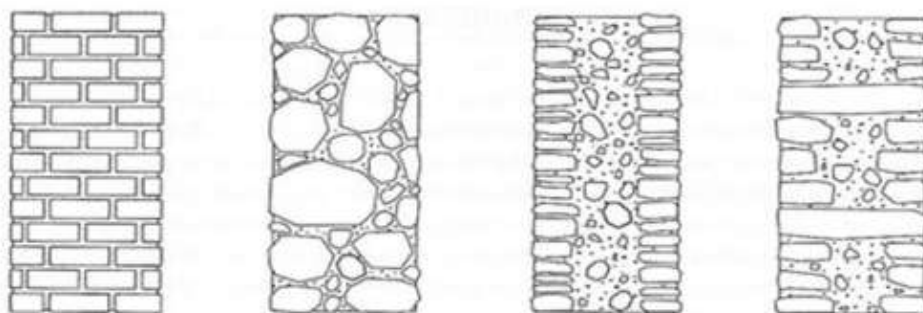
Segun (Bardales Salazar, 2013), “básicamente los materiales empleados en un puente de piedra son la mampostería y el material de relleno. Teniendo en claro que la mampostería está compuesta por la piedra, con dimensiones más o menos regulares acorde a una disposición geométrica, y unidos entre sí por un mortero de pega o argamasa, constituido esencialmente por una mezcla de arena y cal en proporciones variables. Aparte de la piedra, se ha utilizado también materiales como el ladrillo o el concreto en masa para la construcción de los puentes arco, el ladrillo es un pequeño sillar que se usa para edificar arcos de dovelas yuxtapuestas; poseyendo una morfología similar los puentes de ladrillo y piedra”.

- ☛ **La Piedra:** “La piedra es un material natural más común que ha sido usado desde la antigüedad, tanto en la construcción como en otras áreas, en especial con aquellas obras de significado histórico que marcaría un testimonio de la época, no obstante

constituye un material estructural para la construcción de elementos monolíticos o formado por bloques o sillares sobrepuestos”.

- ☞ **El mortero:** “Se llama mortero o argamasa al elemento que se dispone entre las piedras o ladrillos, tratando de proporcionar cierta adherencia y continuidad entre ellas. Los romanos llegaron a fabricar morteros de gran calidad e inventaron el mortero hidráulico que fragua en ausencia de aire, añadiendo polvo de puzolana, esto es un material fino de origen volcánico que reacciona directamente con la cal, esto da lugar a un endurecimiento mucho más rápido y a un importante aumento de resistencia e impermeabilidad y durabilidad, esto facilito el desarrollo del primer concreto”.
- ☞ **El Material de Relleno:** “En la gran mayoría, el relleno se encuentra situado entre la bóveda de la mampostería, tímpanos, estribos y superficie de rodadura. Por lo general el relleno estaba conformado por cualquier material que se encontrase a mano en el lugar y momento de la construcción del puente, por lo general está era del terreno extraído durante la excavación de las cimentaciones y conformado por la composición de suelo negro, piedra de canto rodado y cascajo”. “La constitución y calidad de los materiales del relleno oscila mucho y no están muy seleccionadas. La posibilidad que el relleno presente una resistencia elevada como resultado no sólo de su composición, sino también por el alto grado de compactación que puede alcanzar con los años. Los rellenos pueden presentarse entre un relleno cementado o sólido y un relleno suelto compactado, el cambio entre uno y otro no se efectúa de forma gradual”.
- ☞ **La Mampostería:** “La combinación de piedras con el mortero, da lugar a la mampostería, en donde el mortero cumple múltiples funciones, como llenar los huecos entre las piedras, propiciar una mejor y más uniforme transmisión de cargas en el elemento constructivo y permitir el posicionamiento deseado de las piedras. Sin embargo, sus propiedades estructurales dependen fuertemente de los materiales componentes, además de las características mecánicas que posean”.

**Fuente:** Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos, Roberto Meli.



**Figura 2.1:** Algunas Modalidades de Mampostería.

### 2.2.1 Elementos Estructurales de los Puentes de Mampostería

según (Fernández Gómez et al., 2006), “ el arco o bóveda es el principal elemento resistente del puente, que gracias a su forma geométrica resiste las cargas que actúan sobre él, mediante un mecanismo resistente donde predominan las compresiones, es por tanto la estructura más adecuada para materiales aptos que resisten compresiones, porque las tracciones se pueden evitar o reducir al mínimo. Los arcos de piedra están confeccionados con sillares o bloques de piedra con juntas de pequeño espesor, mientras que los arcos de ladrillo incluyen una gran diversidad de piezas y ligantes”.

### 2.2.2 Patologías en los Puentes de Mampostería con Bóveda de Arco

según (Bardales Salazar, 2013), “el transcurrir de los años ha dejado su marca sobre la totalidad de los puentes históricos que aún perduran gracias a que son obras de ingeniería de gran utilidad en su entorno. En muchos es común el deterioro progresivo de sus partes por las condiciones ambientales, e incluso daños por algunas intervenciones realizadas para su continuo funcionamiento y estabilidad, que no han sido capaces de minimizar su riesgo ante el colapso”.

- ☛ **La Socavación:** “Quizás el problema más presente en los puentes sea la socavación producida en la base de los pilares y los estribos, el cual se explica en un proceso de erosión provocado por la filtración de agua que arrastra su lecho, dándose en ciertas ocasiones un fenómeno complejo debido a la combinación de factores naturales tanto hidráulico y geotécnico”.
- ☛ **Movimiento en los Apoyos:** “Debido al efecto de socavación en los pilares o estribos, aparecen asentamientos diferenciales del suelo y generando movimientos en los apoyos,

situación que en cualquier hiperestática conduce a una necesaria redistribución de los esfuerzos, y los que a su vez producen agrietamientos visibles o formación de rotulas plásticas no deseadas”.

- ☞ **Degradación de los Materiales:** “Otra de las patologías presentes es la degradación de los materiales constituyentes, y está relacionado con la impermeabilización de la superficie de rodadura para proteger los materiales de la mampostería y los rellenos de la acción del agua”.

### 2.2.3 Cámara Aérea

---

según (Lanza Vidal, 2020), “consta de tres elementos: sensor, filtro y película. La recepción de radiaciones electromagnéticas en el espacio se caracteriza porque el emisor y el receptor no están en contacto. El receptor recibe el nombre de sensor remoto, que puede ser activo cuando lleva incorporada su propia fuente de radiación (caso del radar), o bien pasivo (caso de la cámara fotográfica) cuando capta radiaciones no emitidas por él. El filtro tiene como función disminuir la influencia de la niebla atmosférica y limitar el paso de radiaciones luminosas de una determinada longitud de onda. Los filtros obligan a aumentar el tiempo de exposición en función del factor del filtro. La película está constituida por un soporte de gran estabilidad dimensional y por una emulsión sensible a ciertas regiones del espectro electromagnético, forman una imagen del terreno en la cual sus aspectos fisiográficos, iluminados directamente por el sol y por la luz que reflejan las nubes, aparecen diferenciados por los factores tono, textura y forma”.

#### 2.2.3.1 Clasificación de las fotografías:

---

Segun (Lanza Vidal, 2020), “las fotografías las clasificaremos según la inclinación del eje de la cámara”:

- ☞ **Verticales:** “Aquella en la cual el eje óptico de la cámara es perpendicular al plano del objeto al plano de la foto y al plano del negativo. La escala es uniforme en toda la fotografía y solo ocurren diferencias debidas a la topografía del lugar. Son las más fáciles de restituir”.

Fuente: (Zapata, 2003)

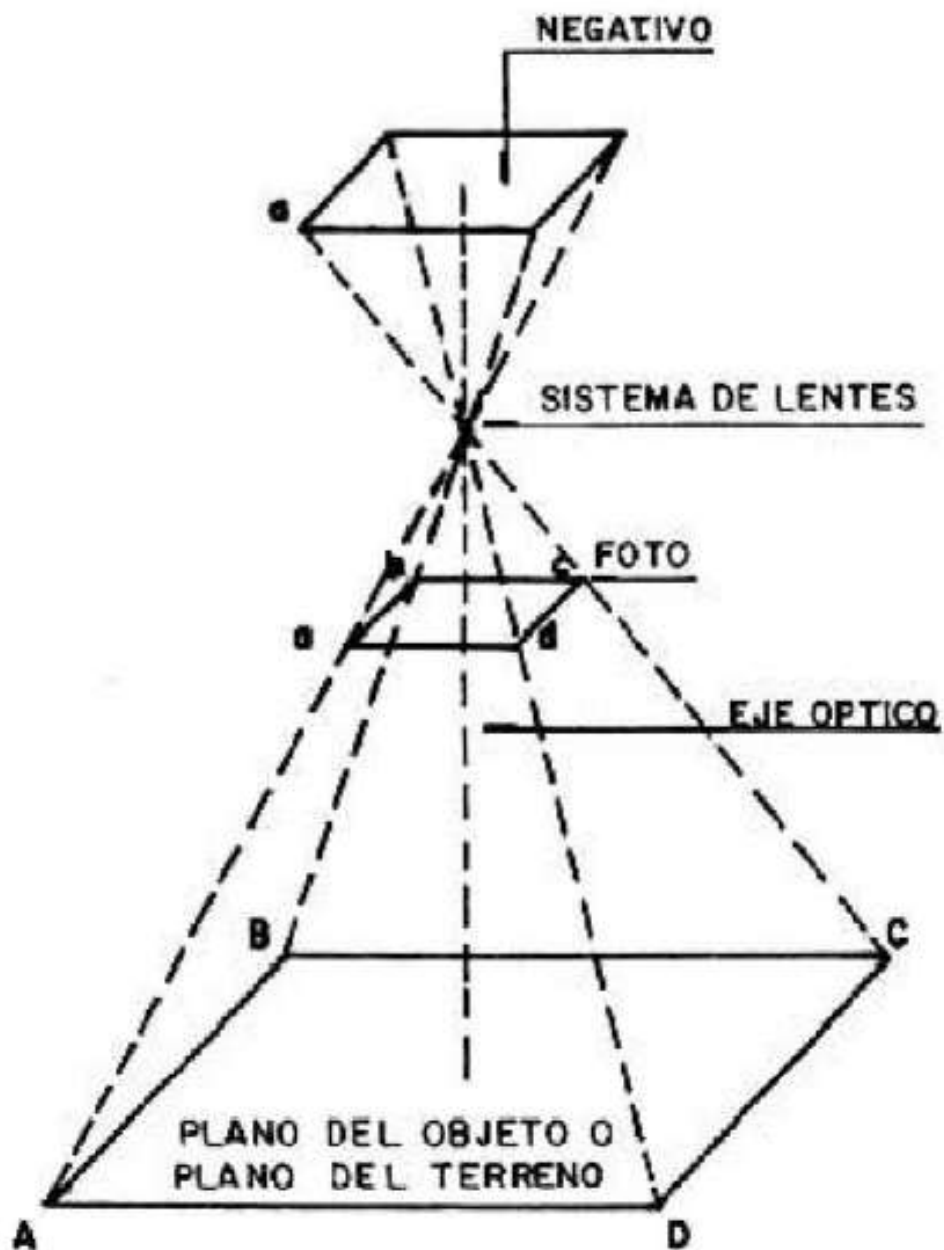


Figura 2.2: Fotografía Vertical.

- ☞ **Oblicuas:** “En este tipo de fotografías debe existir una inclinación del eje de la cámara de tal manera que se pueda obtener una panorámica de la zona, de esta manera según la inclinación el horizonte pueda ser visible o no”.

Fuente: (Zapata, 2003)

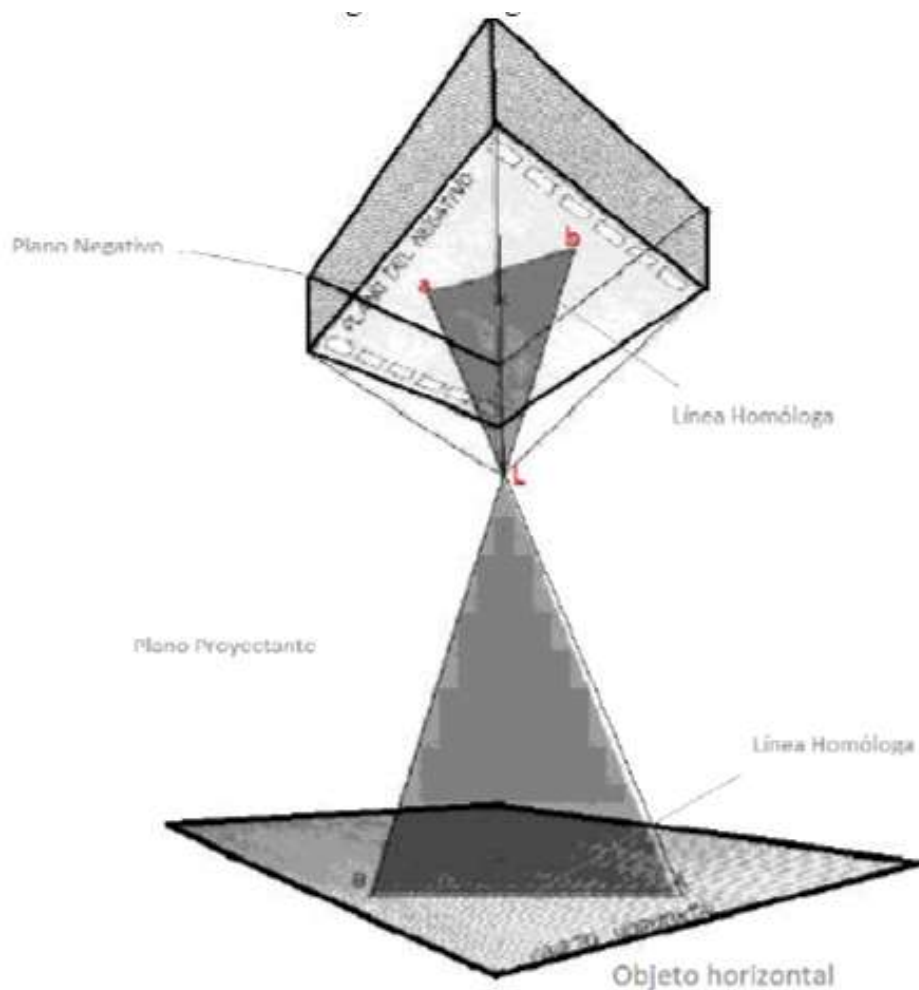


Figura 2.3: Fotografía Oblicua.

### 2.2.3.2 Definición de fotogrametría

Según (Gómez Lahoz, 2009), “existen muchas maneras de definir la Fotogrametría, ya que a lo largo de los años existen varios autores que han venido actualizando dicha definición, la definiremos como: “Fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología de obtención de información confiable sobre los objetos físicos y el medio ambiente a través del proceso de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas, patrones de imágenes de radiancia electromagnética y otros”.

### 2.2.3.3 Método General de la fotogrametría

“Para explicar este tema se toma en cuenta la investigación de (Gómez Lahoz, 2009), ya que explica de una manera bastante didáctica y entendible, se afirma que el Método General

de fotogrametría clásica se basa en el concepto de Haz Perspectivo (Gerbe Perspective), tanto en su formación y en su reconstrucción. Haz perspectivo es el conjunto de semirrectas que unen la superficie de un objeto tridimensional con un centro de proyección o punto de vista”.

Fuente: Gómez, 2008

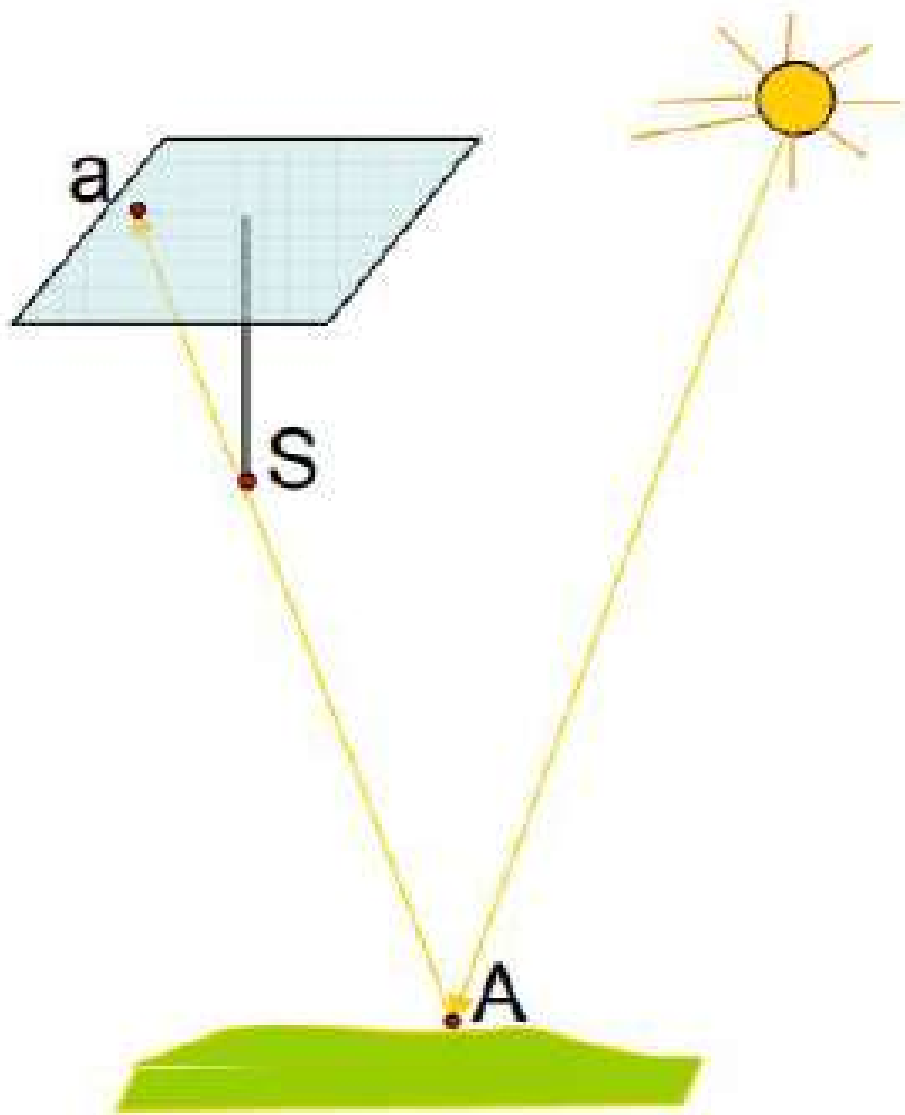


Figura 2.4: Clasificación de fotogrametría.

#### 2.2.3.4 Modelo digital de elevación

“Llamado también DEM (Digital Elevation Model) son archivos que pueden representar de forma visual 3D y matemática los valores de elevación de la zona, estos valores se encuentran en un archivo de tipo raster con estructura regular, los DEM son obtenidos a través de softwares de computo especializados y se dividen en”:

- ☞ **DTM (Digital Terrain Model):** “Es una representación de superficie de suelo desnudo, sin objetos como vegetación, autos, edificios y es considerado uno de los mayores retos por los softwares y visión computacional ”.
- ☞ **DSM (Digital Surface Model):** “Es la representación de una zona, incluyendo todos los objetos físicos existentes, el DSM también es más fácil de modelar que un DTM y usualmente este término es el genérico del DEM. Es la representación de una zona, incluyendo todos los objetos físicos existentes, el DSM también es más fácil de modelar que un DTM y usualmente este término es el genérico del DEM”.

### **2.2.3.5 Puntos de control del Terreno**

---

“El primer paso para realizar la georreferenciación consiste en la creación y establecimiento de una red homogénea de puntos de control (GCPs; de sus siglas en inglés Ground Control Points) alrededor del tramo de estudio. Existen varios autores que ofrecen diferentes pautas para establecer el número y la distribución de los GCPs para la obtención de mosaicos a partir de fotografías aéreas de distinta resolución con el objetivo de evaluar los cambios geomorfológicos en cauces fluviales” (Westoby, 2012).

### **2.2.3.6 Beneficios de usar aparatos UAV**

---

“Los beneficios más importantes se pueden resumir en los siguientes aspectos:”

- ☞ “Reducción del tiempo de trabajo en campo.”
- ☞ “Aumento de eficacia en el acopio de información: se puede tener mucha información en corto tiempo”.
- ☞ “Mejor relación Costo-Calidad: realizar proyectos con aparatos UAV reduce el costo y su calidad es muy precisa.”
- ☞ “Elimina el riesgo en campo con el personal; ya que se puede realizar vuelos desde un lugar seguro hacia la zona inestable.”
- ☞ “En el caso de multirrotores, se puede realizar un vuelo estacionario estabilizado, quiere decir, que a cualquier altura el aparato se puede mantener estático para obtener una mejor vista en la investigación.”
- ☞ “Son muy fáciles de programar para volar y realizar misiones.”
- ☞ “A menor peso del aparato menor consumo.”
- ☞ “Fáciles de llevar y guardar.”

- ☞ “Son fáciles de Volar y reducen el tiempo de entrenamiento.”
- ☞ “No intrusivos, menor impacto ambiental (contaminación).”
- ☞ “Los aparatos a altura pueden pasar desapercibidos y sigilosos.”
- ☞ “Son muy accesibles y son muy poderosos para llegar a lugares que sencillamente son inaccesibles.”
- ☞ “Operaciones en tiempo real.”
- ☞ “Los costos de mantenimiento son de bajo costo y rápidos.”
- ☞ “Si usamos Alas fija se pueden mantener volando la zona durante varias horas al contar con varias baterías, las mismas que son fáciles y ligeras de llevar.”
- ☞ “Se puede realizar sobrevuelo controlados a bajas alturas.”

## **2.3** Marco conceptual

---

Aqui describiremos algunos conceptos importantes para la comprensión del trabajo de investigación.

### **2.3.1** Fotogramas

---

Segun (Ortega Cardenas, 2018), “ un fotograma es una vista aérea en la que además de las señales que permiten determinar su centro, se impresiona en los bordes, mediante signos o abreviaturas convencionales, diversos datos que incumben conocer para su utilización posterior, como son; distancia focal, posición del nivel, altura de vuelo, hora en que se ha tomado la vista, número de orden de la fotografía.”

### **2.3.2** Ortofotogrametría

---

Segun (Farrera Alcaraz and Díaz López, 2021), “ la ortofotogrametría se trata de la representación fotográfica de un terreno. Gracias a las nuevas tecnologías y con la ayuda de drones, con este método se puede obtener más información de forma fácil, en menor tiempo y con una disminución de los costes frente a los mapas gráficos. con la ortofotogrametría se obtiene el producto llamado ortofotografía, que es un documento fotográfico que aprovecha la información de la fotografía aérea y realiza las mismas medidas que en un plano gráfico.”

### **2.3.3** Punto principal

---

Segun (Farrera Alcaraz and Díaz López, 2021), “ es la proyección ortogonal del centro de proyección (objetivo) sobre el plano de proyección (negativo). El punto principal ocupará la posición central en la fotografía.”

### **2.3.4** Punto nadiral

---

Segun (Bustillos Cuellar et al., 2015), “ intersección de la recta vertical que pasa por el centro de proyección con el plano de proyección. El punto nadiral es el punto de fuga de todas las rectas verticales en la proyección. Si el eje de toma es perfectamente vertical, negativo perfectamente horizontal, coincide con el punto principal.”

### **2.3.5** Recta principal

---

Segun (Bustillos Cuellar et al., 2015), “ recta que une el punto principal y el nadiral.”

### **2.3.6** Distancia principal

---

Segun (Bustillos Cuellar et al., 2015), “ distancia entre el centro de proyección y el punto principal. Equivale a la distancia focal de la cámara, ya que este tipo de fotografías siempre se enfoca al infinito.”

### **2.3.7** Angulo de inclinación

---

Segun (Bustillos Cuellar et al., 2015), “ en fotografías aéreas, el ángulo que forma la dirección de la toma con la vertical.”

### **2.3.8** Escala

---

Segun (Ortega Cardenas, 2018), “en el caso de fotografía aérea se puede definir a la escala como una relación de la distancia de la fotografía y la distancia sobre el terreno, como dicho plano no será totalmente plano por las irregularidades de la zona, la escala varía según las elevaciones, solo será regular en un plano horizontal de referencia, a través del cual se define la escala.”

Fuente: Otero, 2008

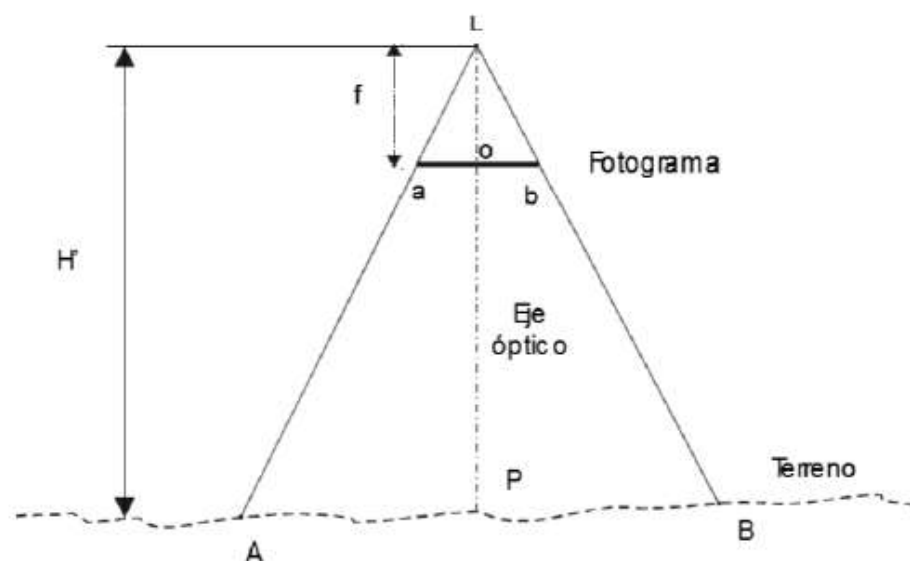


Figura 2.5: Escala de fotografía aérea sobre terreno llano.

“Como comentamos anteriormente la escala es relacionada con la distancia focal del sensor (cámara) y la altura del UAV sobre la zona.”

### 2.3.9 Altura de vuelo

Segun (Ortega Cardenas, 2018), “simplemente definiremos a la altura de vuelo como la distancia que existe desde el sensor (centro del lente) que se encuentra colocado en la plataforma del UAV hacia la zona fotografiada.”

### 2.3.10 Base Aérea

Segun (Ortega Cardenas, 2018), “podemos definir a base aérea como la distancia entre fotografías tomadas sucesivamente.”

### 2.3.11 Pixel

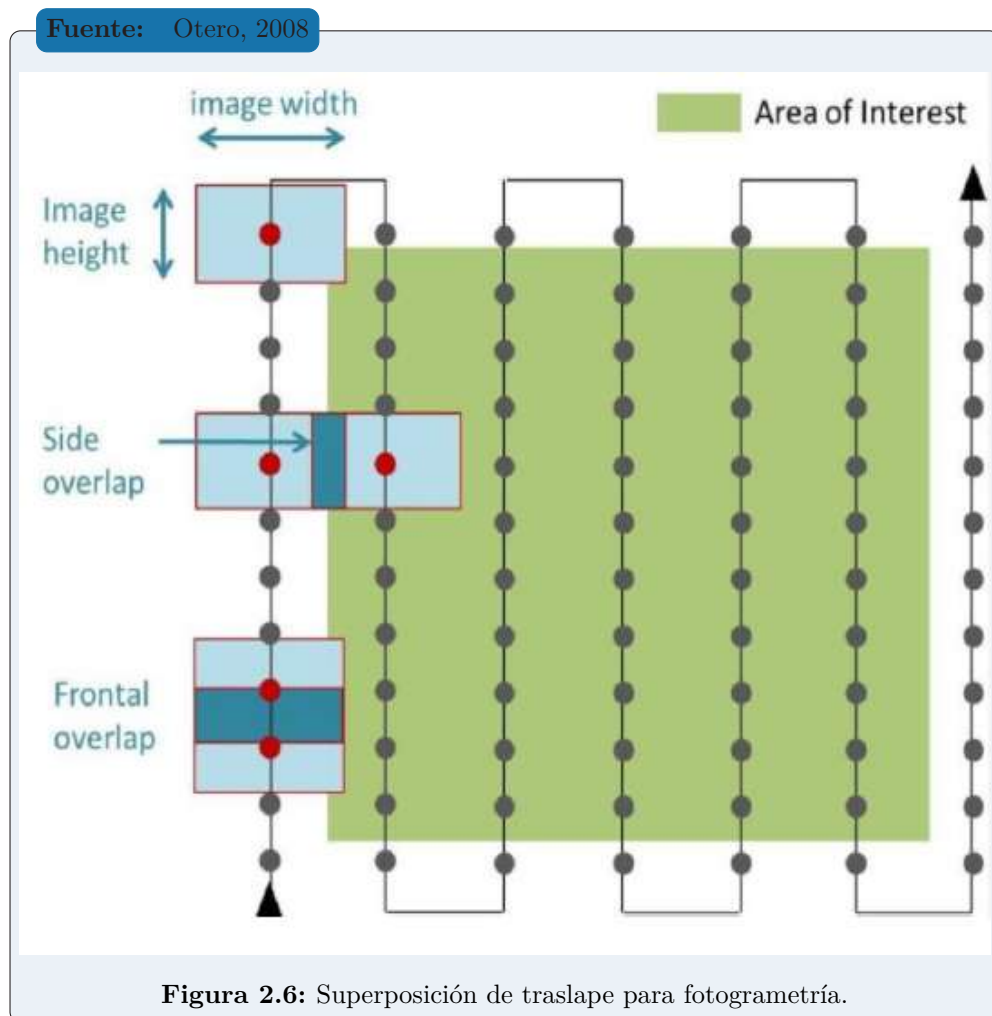
Segun (Fernández, 2016), “un píxel, plural píxeles (acrónimo del inglés picture element), es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.” El aparato UAV durante su vuelo, realiza un recorrido, el mismo que permite obtener fotografías consecutivas con un tiempo entre la captura de ellas, esto da paso a que exista un solape o recubrimiento longitudinal, el mismo que podríamos planificarlo si se desea con anticipación.”

### 2.3.12 Solape Longitudinal

Segun (Ortega Cardenas, 2018), “el Solape Longitudinal llamado también Solape Frontal, es muy importante antes de realizar un recorrido de vuelo ya que el software conseguirá a través de visión computacional, reconstruir la realidad tomando como base las fotografías.”

### 2.3.13 Solape Transversal

Segun (Ortega Cardenas, 2018), “llamado también Solape Lateral, debe generarse al momento de cada pasada, con el objetivo de unir las fotografías aéreas y de esta manera los softwares sean capaces a través de la tecnología de visión artificial y la unión de estos solapes, puedan encontrar puntos en común y emparejarlos entre imágenes, generar nube de puntos, reconstruir un modelo, además de generar una ortofoto.”



Fuente: Otero, 2008

Tipo de terreno	Recubrimiento %	
	Longitudinal	Transversal
Llano	60	25
Ondulado	65-70	25-30
Montañoso	70-80	30-35

Tabla 2.1: Valores orientativos de solape según tipo de terreno.

### 2.3.14 Ortomosaicos

---

Segun (Fernández, 2016), “son una secuencia de imágenes de tipo mosaico, las mismas que se encuentran georreferenciadas, gracias a que fueron corregidos y rectificadas todos los errores geométricos, de esta manera cada punto en el terreno la podrán observar de manera perpendicular. Resultado de este proceso, el mosaico de imágenes tendrá una excelente resolución la misma que puede variar según la altura de vuelo, calidad de imagen y proceso fotogramétrico.”

### 2.3.15 Restauración

---

Segun (Bardales Salazar, 2013), “la restauración es una operación que debe tener un carácter excepcional. Tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y a los documentos auténticos. Su límite está allí donde comienza la hipótesis: en el plano de las reconstituciones basadas en conjeturas, todo trabajo de complemento reconocido como indispensable por razones estéticas o técnicas aflora de la composición arquitectónica y llevará la marca de nuestro tiempo.”

### 2.3.16 Conservación

---

Segun (Bardales Salazar, 2013), “la conservación consiste en la aplicación de los procedimientos técnicos cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico.”

# CAPITULO III

## MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

---

La investigación científica está encaminada a profundizar el conocimiento de un proceso teórico, práctico o teórico-práctico. El conocimiento científico lleva a la solución de problemas de la sociedad. De una forma u otra algunos problemas no han sido investigados o su investigación se ha conducido en otra dirección. La Investigación Científica surge de la necesidad del hombre de dar solución a los problemas más acuciantes de la vida cotidiana, de conocer la naturaleza que lo rodea y transformarla en función de satisfacer sus intereses y necesidades. El carácter de la investigación científica es creativo e innovador aplicando lo último del conocimiento científico (Cortés Cortés and Iglesias León, 2004).

### **3.1** Enfoque.

---

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque la investigación se basa en el análisis de los datos adquiridos de campo.

### **3.2** Alcance.

---

Esta trabajo de investigación es del nivel descriptivo, ya que finalidad será describir los daños de la estructura desde el punto de vista estadístico su análisis es univariado.

### **3.3** Diseño de investigación.

---

El diseño de la investigación es no experimental, esto debido a que no habrá manipulación o alteración de las variables. Estas serán analizadas tal cual por otro la investigación será del tipo Transversal, esto porque se analizará en un tiempo determinado.

### 3.4 Población y muestra.

---

En estadística, el término población se refiere al conjunto de elementos que se quiere investigar, estos elementos pueden ser objetos, acontecimientos, situaciones o grupo de personas. La población en este trabajo de investigación esta conformado por los puentes coloniales de la ciudad de Ayacucho. (Cortés Cortés and Iglesias León, 2004).

“La muestra permite trabajar con menor número de observaciones de la población y con su estudio se logran resultados confiables, se facilitan los cálculos y se ahorra dinero (Cortés Cortés and Iglesias León, 2004).” La elección de la muestra se hizo de manera intencional no probabilística y a decisión directa del investigador, se tomará como muestra el puente San Sebastian de la ciudad de Ayacucho.

### 3.5 Hipótesis.

---

Para la investigación a realizar se plantea las siguientes hipótesis.

#### 3.5.1 Hipótesis general.

---

El algoritmo SFM-DMV permite identificar multiples daños estructurales en el puente histórico San Sebastián de la ciudad de Ayacucho.

- a. Las dimensiones de los diferentes daños que afectan a la estructura del puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho son calculables empleando el algoritmo SFM-DMV.
- b. Los modelos de elevación digital obtenidos por el algoritmo SFM-DMV para la evaluación de daños estructurales del puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho son de buena precisión.

### 3.6 Operacionalización de variables.

---

Una variable se puede definir como un factor, evento, situación o fenómeno que representa cierto interés sobre la investigación, la variable nos permitirá medir algo que sea de interés, en los trabajos de investigación se tienen dos tipos de variables usualmente. **La variable independiente** será características y tipos de daños estructurales del puente colonial San Sebastián. **La variable dependiente** será el estado de conservación a la fecha del puente colonial de San Sebastián de la ciudad de Ayacucho. La Tabla siguiente 3.1

muestra en resumen, la relación entre las variables e indicadores identificados en la presente investigación.

Fuente: Elaboración propia

EVALUACION DE LA SALUD ESTRUCTURAL EMPLEANDO EL ALGORITMO SFM-DMV EN EL PUENTE COLONIAL SAN SEBASTIAN DE AYACUCHO, 2022.		
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>		
La variable independiente sera cantidad y tipo de daños estructurales en el puente colonial San Sebastian de Ayacucho.	- Levantamiento fotogrametrico	- Numero de puntos
		- Numero de triangulos de la superficie
	- Modelo 3 D	- Resolución de la imagen
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
La variable dependiente sera el estado de conservación del puente colonial San Sebastian de Ayacucho.	-Daño estructural del puente	- Cantidad de grietas
		- Cantidad de fisuras
		- Dimensiones de patologías

Tabla 3.1: Variables e indicadores.

### 3.7 Definición conceptual

Se evaluarán los diferentes daños estructurales que podría presentar el puente histórico San Sebastián. La evaluación de los daños se realizaran empleando el estudio de fotogrametría realizada a partir de la toma de imágenes con un drone. Los daños estructurales son muy comunes en estructuras antiguas y se presentan mas en construcciones que no tienen un monitoreo permanente y oportuno. Por ello es importante promover la evaluación permanente de las estructuras ya que estos estructuras tienen mucha historia y son parte importante de nuestro pasado.

### 3.8 Definición operacional

Nuestra variable será la cantidad y tipo de daños existentes en el puente histórico San Sebastián empleando el algoritmo SFM-DMV, esta es una variable independiente. Esto nos permitirá medir la variable dependiente el cual será el estado de conservación del puente histórico. Todo esto se hará con la ayuda de la fotogrametría con drones con el cual se

pretende obtener imágenes. Después se aplicara el algoritmo SFM-DMV en gabinete con lo que se realizara una reconstrucción 3D para la evaluación de los daños del puente.

### 3.9 Técnicas e instrumentos

---

“Las técnicas que se emplearon para la presente investigación es el análisis documental. Se reviso las publicaciones de artículos y tesis relacionados a las investigaciones realizadas con drones.”

**La técnica para el recojo de los diferentes datos fue de varias formas, las cuales fueron los siguientes:**

- ☞ La captura de fotografías a diferentes ángulos de la estructura evaluada.
- ☞ Medición en campo de los daños estructurales presentes en el puente histórico San Sebastian.

**Los diferentes instrumentos utilizados para lograr las metas trazadas de la investigación fueron:**

1. Instrumentos para la recolección de datos utilizados

- ☞ GPS diferencial
- ☞ Drone

2. Software de diseño y cálculos

- ☞ Autocad 2021
- ☞ Excel 2021
- ☞ Agisoft 2021
- ☞ Matlab 20201

### 3. Edición de informe de investigación L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

- ☞ MiKteX 2.9
- ☞ T<sub>E</sub>Xmaker
- ☞ MathType

#### **3.9.1** GPS diferencial Leica GS 16.

---

La antena inteligente Leica GS 16 se cuenta con el revolucionario software Leica Captivate , que convierte datos complejos en modelos 3D realistas y manejables. A su vez cuenta con aplicaciones fáciles de manipular y tecnología táctil que le es familiar, cuenta con tarjeta microSD extraíble, 8 GB, datos brutos GNSS Leica y datos RINEX de hasta 20 Hz, el peso y dimensiones del equipo son 0,93 kg/2,90 kg RTK estándar en modo rover configurado en bastón 190 mm x 90 mm.

#### **3.9.2** (Dron) Phantom 4 Pro V2.0

---

“Uno de los instrumentos tecnológicos implementados en este estudio de investigación fue Phantom4 Pro V2.0 está equipado con un sensor de 1 pulgada y 20 megapíxeles, capaz de grabar vídeos a 4K a 60 fps y fotografiar en modo disparo en ráfaga a 14 fps. Este equipo lleva integrado una cámara réflex, gracias a este dispositivo y a las grandes ventajas que ofrece la fotogrametría digital, se pudo resolver la difícil tarea de documentar toda la extensión y características del la estructura evaluada. Además, el sistema FlightAutonomy incluye sensores dobles de visión trasera y sensores infrarrojos para un total de 5 direcciones de detección de obstáculos.”

## **3.10** Desarrollo del trabajo de tesis

---

En esta sección se pasara a detallar los diversos procesos empleados desde la toma de datos y posterior procesamiento y la obtención de los resultados de la investigación.

### **3.10.1** Toma de datos en campo

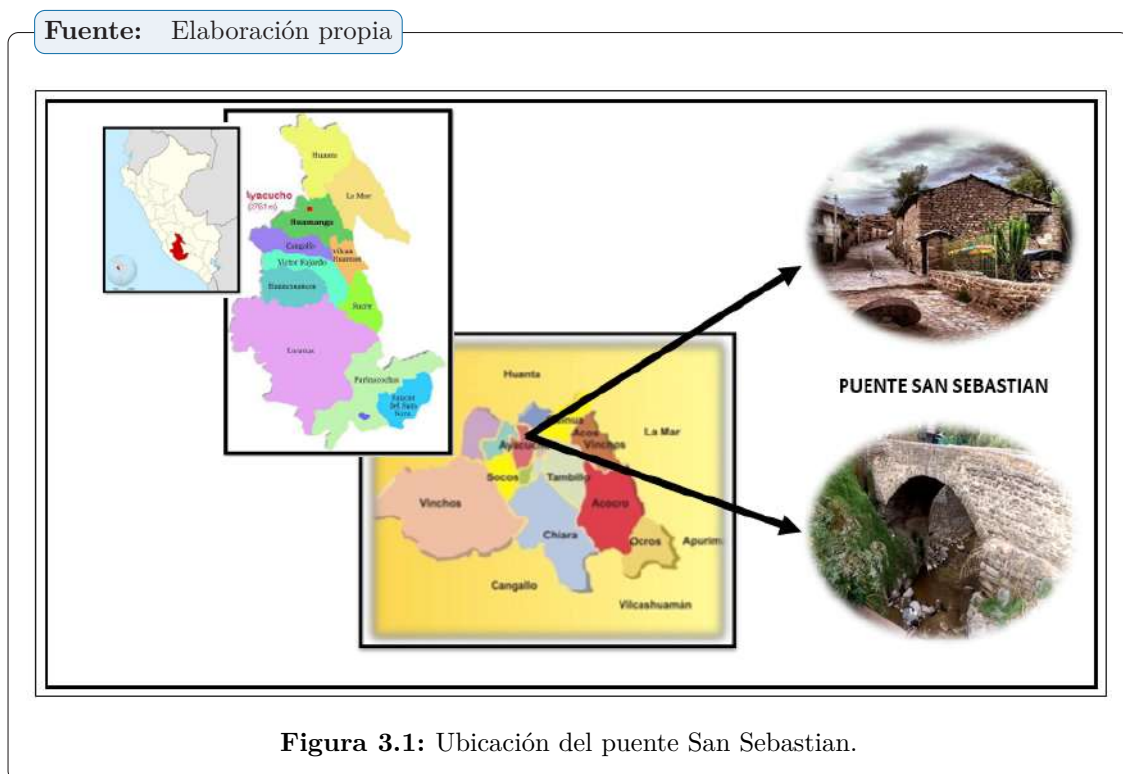
---

Los instrumentos de digitalización 3D pueden representar una medida eficaz para la protección del patrimonio histórico y cultural en este caso se aplicara la tecnología y digitalización 3D para la evaluación de daños estructurales del puente San Sebastián los equipos necesarios en campo fueron los siguientes:

- ☞ **Drone Phantom 4 Pro:** Se utilizó para hacer la toma de imágenes a lo largo de todo el puente San Sebastián.
- ☞ **GPS diferencial:** Se utilizó para tomar los datos de los 4 puntos de control colocados a lo largo del puente.
- ☞ **Cinta métrica:** se utilizó para tomar las medidas del puente así mismo se tomaron las medidas de los daños más pronunciados del puente.
- ☞ **Cámara fotográfica:** Se usó para hacer tomas fotográficas a lo largo del puente
- ☞ **Cuaderno de apuntes:** Se utilizó para hacer la toma de datos de las diferentes medidas realizadas de los daños encontrados en el puente San Sebastián.

### 3.10.1.1 Inspección de la superficie del puente

El puente San Sebastián se encuentra ubicado en la provincia de Huamanga en el departamento de Ayacucho como se muestra en la imagen siguiente.



Se realizó una inspección del lugar para ver los puntos de acceso para hacer la toma de datos, se observó que el puente se encontraba en pésimas condiciones y abandonado por las autoridades, se encontró un botadero de basura debajo del puente, en la parte estructural se detectó múltiples daños estructurales de grandes dimensiones los cuales son de interés

de nuestro trabajo, se observó que hay desprendimiento de mortero en diferentes partes del puente San Sebastián también se observó fisuras de grandes dimensiones las cuales se procedió hacer las medidas con la cinta métrica, resaltar a su vez que el puente esta obstruido para evitar el paso vehicular ya que por los daños representa un peligro sirviendo a la fecha solo para tránsito vehicular. Por otro lado resaltar que existe partes del puente que están reparadas con concreto de manera artesanal por las personas que viven aledaños al puente San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.2:** Daños estructurales en el puente San Sebastian.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.3: Daños estructurales en el puente San Sebastian.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.4: Daños estructurales en el puente San Sebastian.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.5: Daños estructurales en el puente San Sebastian.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.6: Daños estructurales en el puente San Sebastian.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 3.7:** Daños estructurales en el puente San Sebastian.

### 3.10.1.2 Colocación de puntos de control

Después de la inspección realizada de toda la superficie del puente San Sebastián se procedió a la colocación de puntos de control se colocaron un total de cuatro puntos de control, dos a cada lado del puente, estos puntos de control se colocaron con la finalidad de lograr referenciar las imágenes tomadas, estos puntos de control fueron marcador con pintura para que sean fácilmente identificadas en las imágenes tomadas con el dron, los datos fueron tomados con la ayuda de un GPS diferencial. Las coordenadas de los puntos de control se muestran en el cuadro siguiente:

PUNTOS DE CONTROL	ESTE (E)	NORTE (N)
1	584416.01	8544711.13
2	584408.84	8544724.66
3	584422.81	8544711.98
4	584414.40	8544726.98

**Tabla 3.2:** Puntos de control.

**Fuente:** Fuente propia.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.8: Puntos de control en el puente San Sebastian.

### 3.10.1.3 Toma de datos con el dron

Una vez colocados los puntos de control se procedió hacer un plan de vuelo, para hacer la toma de datos con el dron, se realizó el vuelo y se tomó múltiples imágenes a lo largo de todo el puente la toma de datos se debe hacer con especial cuidado cuidando que las imágenes tomadas tengan como mínimo un 65 % de traslape.

El traslape de las imágenes es muy importante ya que se requiere secuencia de las imágenes para tener una buena estructura 3D como producto final. Por otro lado se debe cubrir en la medida de posible la totalidad del objeto o edificación a fin de evitar huecos en el mallado.

Fuente: Elaboración propia

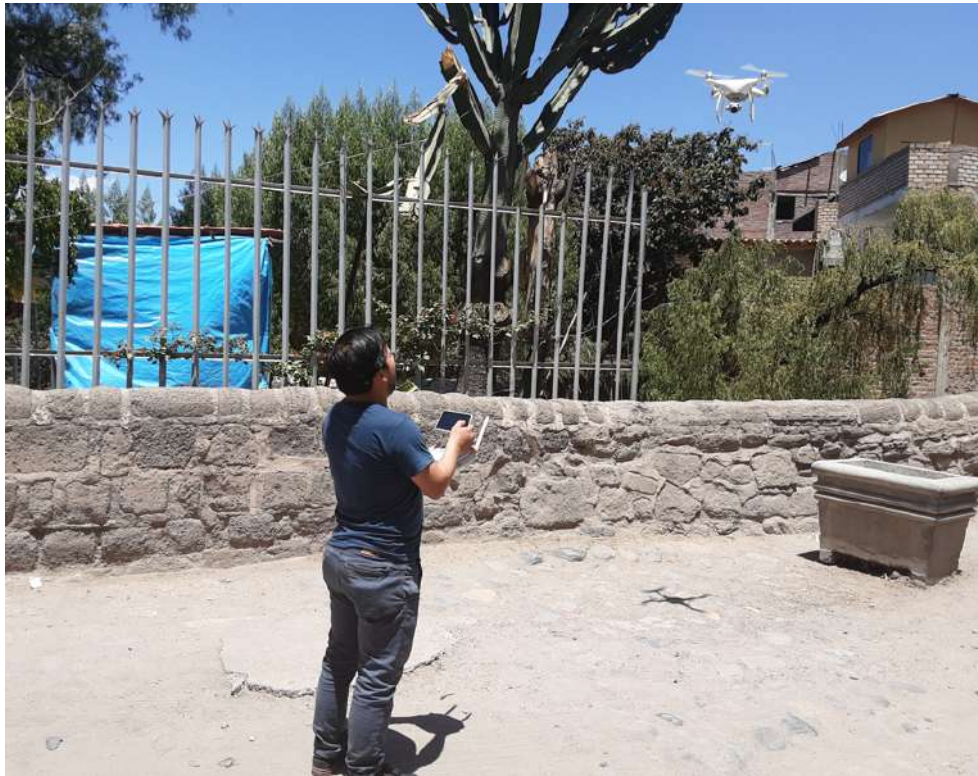


Figura 3.9: Toma de datos con el dron en el puente San Sebastian.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.10: Toma de datos con el dron en el puente San Sebastian.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.11: Toma de datos con el drone en el puente San Sebastian.

### 3.10.2 Procesamiento en gabinete

La teoría matemática de la fotogrametría ha sido desde su formulación de carácter tridimensional; sin embargo, el registro de la restitución fotogramétrica ha tenido en la práctica un carácter gráfico (analógico) y por tanto bidimensional.

El pre procesamiento de las fotografías mediante el uso de máscaras, se realiza seleccionando únicamente las zonas de cada fotografía que son requeridas para el modelo fotogramétrico, lo que concentra todos los puntos de empalme en zonas definidas mejorando la calidad del modelo generado, gracias a la densificación de puntos que realiza el software.

Una vez realizado el pre procesamiento de la información, se realiza un proceso de cuatro fases las cuales coadyuvan en la integración final del modelo fotogramétrico:

- ☛ **La primera parte del procesamiento:** Consistió en la orientación de fotografías, un proceso a través del cual el software seleccionado define una serie de puntos en común entre las fotografías, a través de los cuales calcula la posición relativa de cada fotografía y mediante una técnica de paralaje digital, calcula la profundidad de dichos puntos en el conjunto total de la escena. Este proceso permite al usuario obtener

una nube de puntos dispersa cuya densidad dependerá de la cantidad de puntos a detectar por fotografía.

- ☞ **La segunda parte del proceso:** Consiste en densificar la malla de puntos dispersa, agregando puntos interpolados entre los puntos ya detectados en el primer procedimiento, cada uno de estos puntos, poseerá información relativa tanto a su posición espacial como un color definido de acuerdo con las fotografías de que haya sido obtenido. Durante esta etapa del modelado es común que se pase de tener cientos o miles de puntos a tener cientos de miles o millones de estos.
- ☞ **La tercera parte del proceso:** Fue realiza el mallado del modelo, en esta etapa una serie de triángulos definidos por los puntos de la nube densa o dispersa, son generados dando lugar a una malla de triángulos.
- ☞ **La última parte del proceso:** Consiste en la detección y aplicación de texturas fotográficas sobre el mallado generado, lo cual produce una suavización de los bordes de la estructura modelada y además aplica iluminación a la malla del modelo.

Una vez que el modelo fotogramétrico está completo, es necesaria su importación a algún formato que sea reconocible para otros programas que permitan la manipulación digital de los modelos como es CAD o cualquier software de modelación tridimensional libre o comercial. Finalmente, a través de los modelos fotogramétricos vectoriales escalados se realiza el análisis geométrico de los distintos elementos del puente San Sebastián.

### 3.11 Técnicas estadísticas para procesamiento

---

Para determinar la parte estadística se usara el programa Startical Product and Service Solutions (SPS) este programa se usara para todo el análisis estadístico.

# CAPITULO IV

## RESULTADOS

---

En esta sección se procede a realizar a dar los resultados obtenidos de la investigación realizada, se da la contrastación de hipótesis la cual se citamos investigación de gran importancia realizadas en otros lugares para la comparación de nuestros resultados obtenidos, así mismo se da el análisis de los resultados logrado en la investigación.

### 4.1 Contrastación de hipótesis

---

Esta sección está destinada a la comparación de nuestros resultados con investigaciones previas realizadas años anteriores, para la contratación de hipótesis, tomaremos en cuenta la siguiente tesis titulada: **Sobre la precisión del levantamiento fotogramétrico de UAV para la evaluación de daños estructurales de mampostería histórica**, en este artículo, se utiliza un procedimiento para el levantamiento fotogramétrico mediante vehículos aéreos no tripulados de estructuras de mampostería con el fin de obtener inspecciones visuales efectivas y un modelo 3D de un histórico puente de arco de mampostería ubicado a lo largo de la antigua Via Amerina (Todi, Perugia, Italia) . El levantamiento fotogramétrico proporciona una representación detallada de la geometría real, incluyendo la falta de volúmenes y grietas significativas a lo largo de la bóveda y los muros de tímpano, delineando un estado de daño severo que afecta a toda la estructura. Finalmente, se utilizó una Estación Total y un Escáner Láser para comparar los resultados obtenidos por fotogrametría, destacando las ventajas, los límites y las debilidades que ofrece su uso.

De los cuales llego a diversas conclusiones en primer lugar la nube de puntos derivada de un levantamiento fotogramétrico UAV el cual se comparó con una nube de puntos basada en un levantamiento TLS, obteniendo diferencias medidas de aproximadamente 1 cm. Se demuestra que el método de levantamiento basado en UAV puede proporcionar ventajas significativas al reducir el tiempo de operación sin perder una precisión significativa otra de las conclusiones fue que la metodología es muy aplicable a una estructura histórica

severamente dañada, el uso de la fotogrametría basada en UAV demostró ser muy efectivo para resaltar rápidamente los daños y en la estimación de los volúmenes faltantes de material, al igual que en esta investigación se demostró que la combinación de la nuevas tecnología que son el uso de drones es muy efectivo para hacer inspecciones de estructuras arquitectónicas ya que a simple vista es un poco difícil registrar todos los daños por tener puntos inaccesibles, por otro lado se determinó que el puente San Sebastián tiene muchos daños estructurales por lo que se requiere su pronta intervención para brindar un adecuado mantenimiento.

## 4.2 Análisis e interpretación de resultados

En esta sección mostramos los diversos resultados logrado en la investigación, partiendo de los datos tomados en campo con el drone, las imágenes tomadas fueron vaciadas a un computador de alta capacidad para facilitar el procesamiento y lograr buenos resultados.

### 4.2.1 Resultados logrados del procesamiento de imágenes

Se realizó el procesamiento de las imágenes utilizando el software Agisoft el cual consistió en un proceso lineal recomendado en los pasos dados por el programa, en los cuales se considero la carga de fotos, inspección de imágenes y alineación son básicos para generar el modelo.

#### 4.2.1.1 Carga de fotografías y calibración de cámara

Como paso inicial que se desarrollo en el trabajo de investigación fue cargar todas las fotografías obtenidas con el drone en el vuelo al programa Agisoft para iniciar el tratamiento necesario de cada una de las fotografías, se cargaron en total 77 imágenes las cuales fueron tomadas con una altura de vuelo de 20 metros aproximadamente, así las características de la cámara fueron los que se muestran en la tabla siguiente.

Fuente: Elaboración propia

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size
FC6310S (8.8mm)	5464 x 3640	8.8 mm	2.42 x 2.42 $\mu\text{m}$

Tabla 4.1: Datos de la camara.

Fuente: Elaboración propia

## Camera Calibration

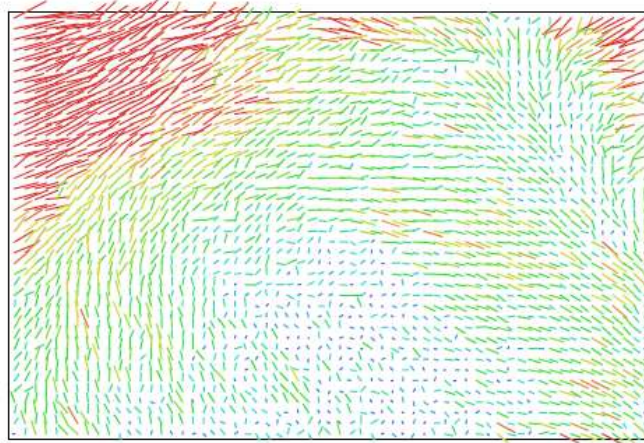


Fig. 2. Image residuals for FC6310S (8.8mm).

**FC6310S (8.8mm)**

77 images

Figura 4.1: Calibración de imágenes.

Fuente: Elaboración propia

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
<b>F</b>	<b>3697.64</b>	1.2e+003	1.00	-0.04	-0.37	-0.10	0.01	-0.34	0.27	-0.24	0.22	0.02	0.17
<b>Cx</b>	<b>22.2238</b>	1.9e+003		1.00	0.12	-0.00	-0.08	0.03	-0.03	0.02	-0.02	-0.06	0.03
<b>Cy</b>	<b>5.86784</b>	1.6e+003			1.00	-0.12	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	0.01	-0.50
<b>B1</b>	<b>-0.76743</b>	5.4e+002				1.00	0.02	-0.01	-0.03	0.03	-0.03	-0.04	0.40
<b>B2</b>	<b>-0.0882309</b>	5.4e+002					1.00	-0.01	0.00	-0.00	0.00	-0.27	-0.05
<b>K1</b>	<b>-0.289678</b>	0.99						1.00	-0.97	0.92	-0.86	0.00	-0.04
<b>K2</b>	<b>0.146643</b>	3.1							1.00	-0.99	0.95	-0.00	0.00
<b>K3</b>	<b>-0.0668439</b>	3.8								1.00	-0.99	0.00	0.00
<b>K4</b>	<b>0.0154491</b>	1.6									1.00	-0.00	-0.00
<b>P1</b>	<b>-0.000296403</b>	0.031										1.00	-0.05
<b>P2</b>	<b>5.7284e-005</b>	0.046											1.00

Tabla 4.2: Coeficientes de calibración y matriz de correlación..

#### 4.2.1.2 Inspección de imágenes

En esta fase del trabajo se descartaron aquellas fotos que presentaron interferencia o ruido, para evitar distorsiones durante el proceso esto va contribuir en tener buenos modelos de la estructura al final , ya que en campo algunas fotos por problemas de viento y polvo pueden haber sufrido distorsiones.

#### 4.2.1.3 Alineación de fotos

Este paso consiste en alinear las fotografías para solapar entre foto y foto y así obtener una fotografía homogénea única, este procedimiento determina los pixeles parecidos y sobrepone cada uno de estos para que el programa reconozca la posición desde donde se tomaron todas las fotografías, las imágenes son posicionadas según los cuatro puntos de control colocados en campo, estos puntos de control nos permiten referencias las imágenes para que se posicionen adecuadamente.

Fuente: Elaboración propia

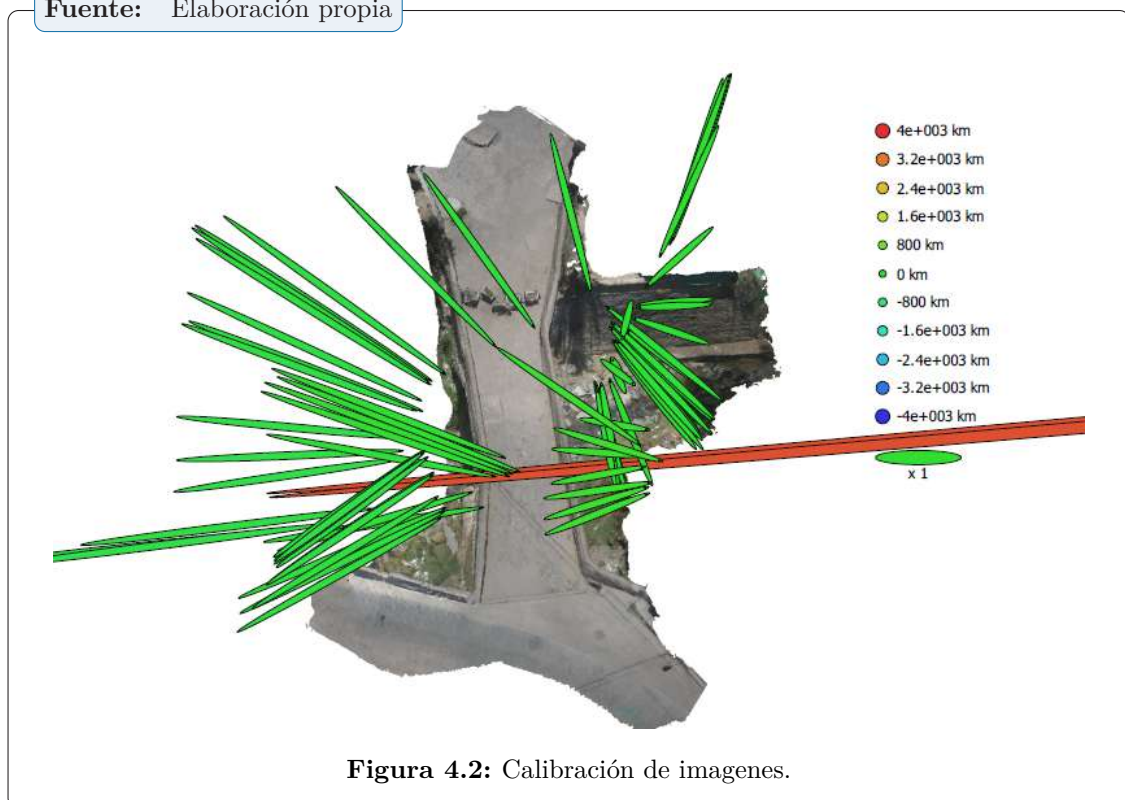


Figura 4.2: Calibración de imágenes.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3: Posicionamiento de imágenes.

#### 4.2.1.4 Nube de puntos dispersa

Se procedió a la creación de la nube de puntos esparcida después de tener la unión de todas las imágenes en una sola, se prosigue a la creación de puntos esparcida, en este proceso también se realiza una limpieza de ruidos que no permitieron la toma de datos las cuales quedarán como huecos que posteriormente en la nube densa serán generadas por interpolación, se trabajó en el datum WGS 84 en total los puntos que se tuvo fueron 56,882 de 71,777 ya que algunos puntos se perdieron por el ruido de las imágenes este proceso tardó aproximadamente 60 segundos.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.4: Nube de puntos esparcida.

#### 4.2.1.5 Nube de puntos densa

El siguiente paso consiste en la creación de una nube densa de puntos que nos servirá para la construcción de la malla del modelo 3D. Se generó una nube de puntos donde se seleccionó la calidad con la que decidimos construir nuestra nube de puntos. La nube de puntos densa se genera a partir de nube de puntos esparcida, este proceso consiste en la generación de mayor cantidad de puntos para lograr llenar los huecos dejados de la limpieza de ruidos realizada en las imágenes lo logro en total tener 19,872,124 puntos este trabajo se realizó en calidad media ya que a mayor calidad se requiere mas capacidad del la computadora este proceso de generación de nube de puntos denso tardo 8 minutos con 53 segundos.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.5: Nube de puntos densa.

#### 4.2.1.6 Malla poligonal

La creación de la malla se hace para poder representar el terreno, con base en la nube de puntos densa generada anteriormente. Como resultado de este proceso se obtiene la malla poligonal que forma polígonos a través de la unión de puntos. Se utilizaron todas las fotos obtenidas de dos formas diferentes, uno del vuelo del dron y uno de tomas manuales para manejar tanto la gran cantidad de datos fotográficos como los diferentes parámetros de adquisición. En esta etapa ya se logra armar por triangulación la forma tridimensional del puente San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia

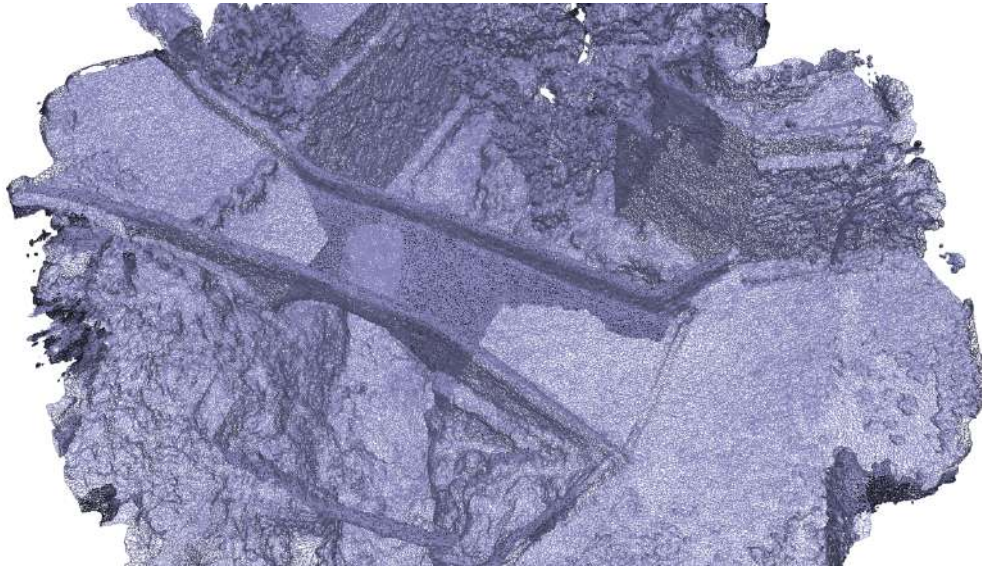


Figura 4.6: Malla de triangulos generados.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.7: Malla de triangulos con cierre de huecos.

#### 4.2.1.7 Generación de textura

Es una herramienta dentro del programa Agisoft que permite obtener una serie de colores que sean similares a la realidad, así como escoger la calidad que se desee y el modelo en que se quiera obtener el resultado. Las texturas son mapas de bits, que responde a un color representado en un píxel de la imagen. Cuanta más cantidad de píxeles más resolución y

por ende más detalle del terreno. Este proceso ayuda a liberar espacio en el procesador de la computadora, cargando los datos en forma escalonada, coloca textura a la malla poligonal buscando obtener una representación más “realista” del terreno.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 4.8:** Malla de triángulos generados.

#### 4.2.1.8 Generación del modelo 3D

En esta fase se logra la generación del modelo 3D del Puente San Sebastián analizado, con el cual posteriormente se realizará el análisis e inspección de patologías presentes en la estructura, también nos servirá para diagnosticar el estado de conservación que tiene el puente San Sebastián analizado.

Fuente: Elaboración propia

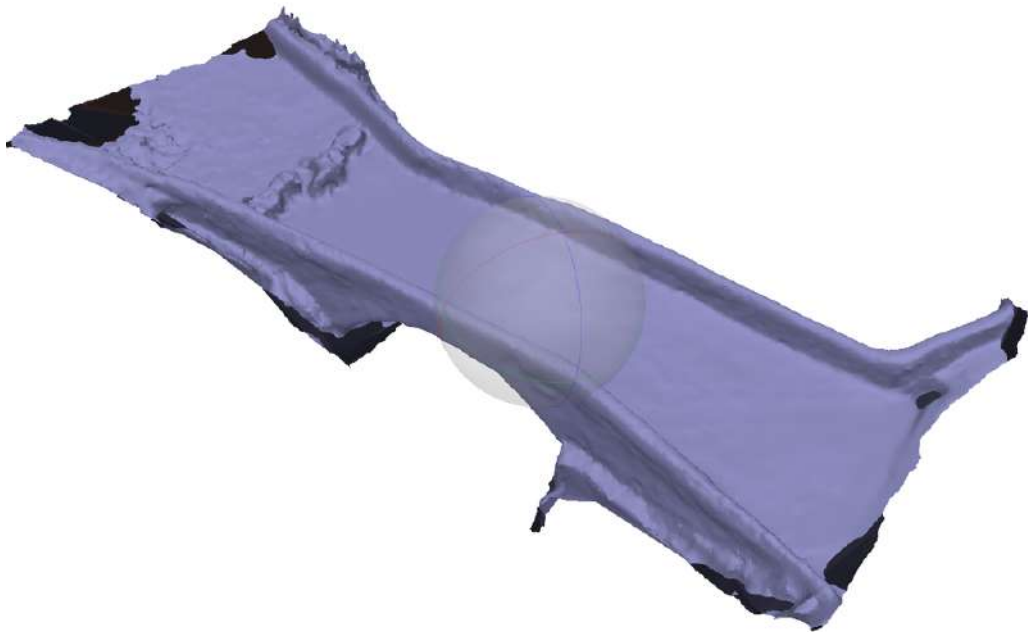


Figura 4.9: Modelo 3D generado del puente San Sebastian.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.10: Modelo 3D generado del puente San Sebastian.

#### 4.2.1.9 Creación del modelo digital de superficie

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones.

Fuente: Elaboración propia

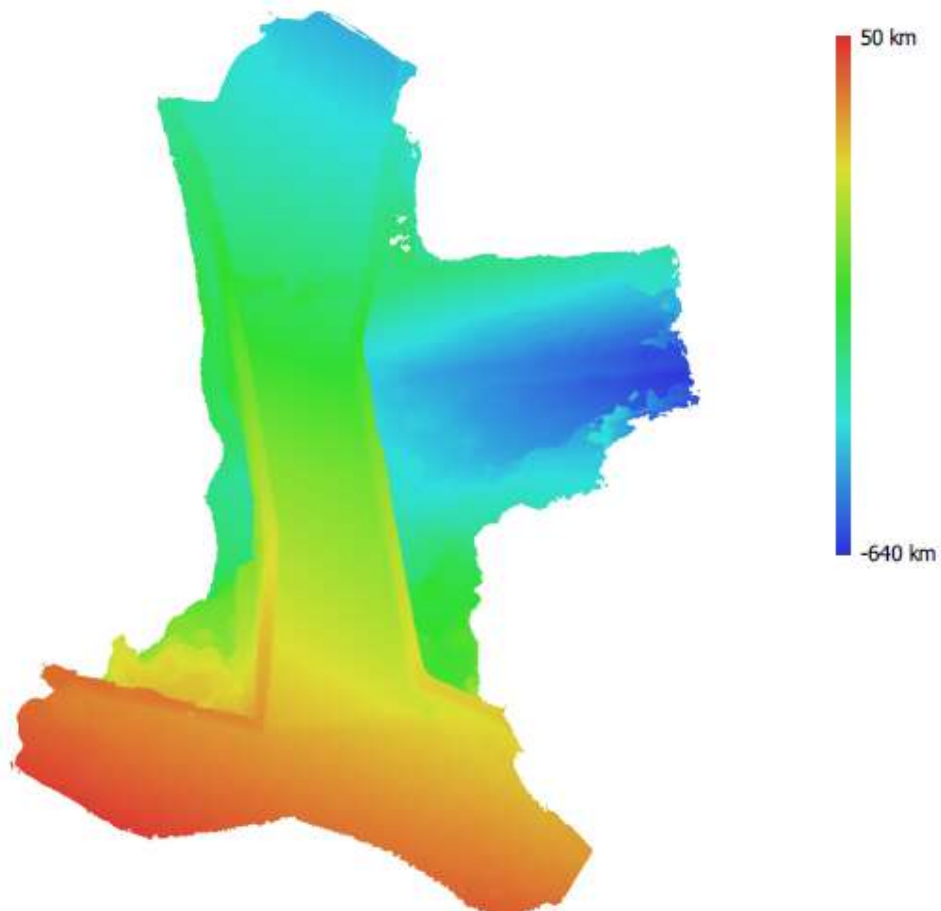


Figura 4.11: Modelo digital de terreno.

Fuente: Elaboración propia

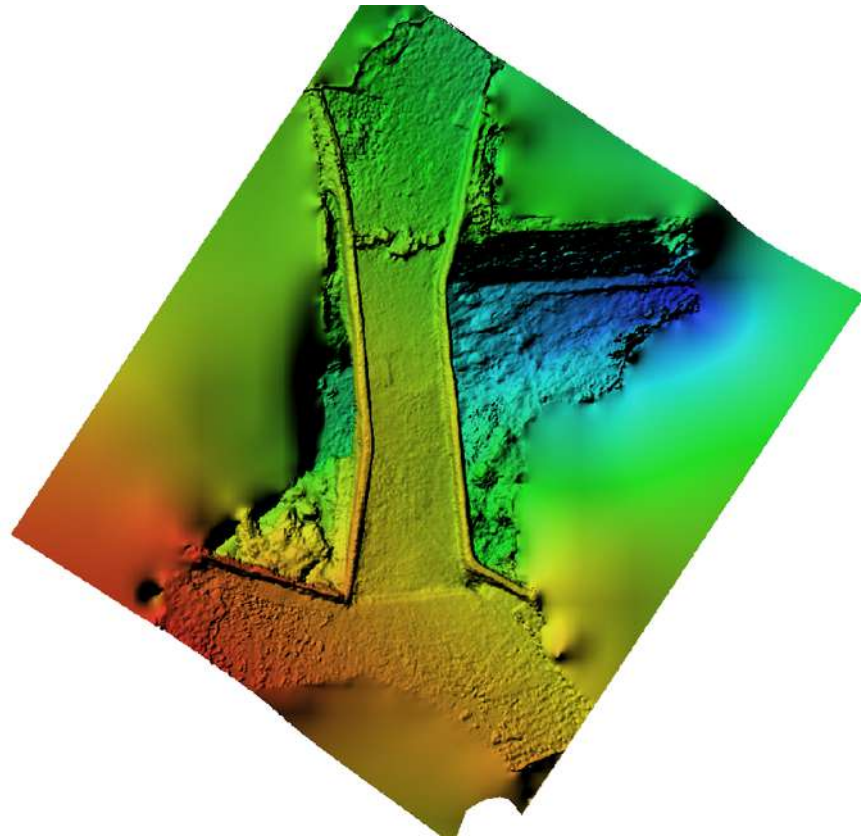


Figura 4.12: DEM generado del puente San Sebastian.

#### 4.2.1.10 Construcción del ortomosaico

Es el método más extendido en la actualidad, ya que las nuevas tecnologías permiten realizar las correcciones de forma más precisa. Se determina de forma analítica a través de los píxeles de imagen. Las imágenes digitales o escaneadas se dividen en píxeles.

#### 4.2.1.11 Análisis de daños estructurales a través de SfM

En esta Sección, se discuten los primeros resultados sobre el uso de la nube de puntos 3D obtenida por levantamiento fotogramétrico UAV como una fuente de datos valiosa para ser consultada con fines estructurales. El gran contenido de datos del modelo texturizado puede proporcionar información precisa tanto para las inspecciones visuales virtuales destinadas a evaluar el estado del daño como para el desarrollo de modelos sólidos en 3D para análisis estructurales. Además de la disponibilidad de ortofotos, obtenidas al convertir el modelo de nube de puntos en un modelo de malla texturizada, que resultan muy útiles para levantamiento de materiales, mapeo de degradación y todo tipo de inspección visual para la restauración.

A efectos, la nube de puntos 3D proporciona información significativa sobre fisuras y falta de material, en particular sobre su posición y dimensiones lineales y/o volumétricas. Para medir el volumen del material faltante, se extrajeron manualmente los límites de las áreas dañadas y se generaron puntos aleatorios para llenar el espacio. Finalmente, se generó una malla triangular para el cálculo de los volúmenes 3D. La alta resolución de la nube de puntos permite realizar un mapeo detallado de daños en términos de localización de grietas y micro fisuras, áreas de muros de mampostería afectadas por erosión significativa de juntas de mortero y falta local de bloques.

Fuente: Elaboración propia

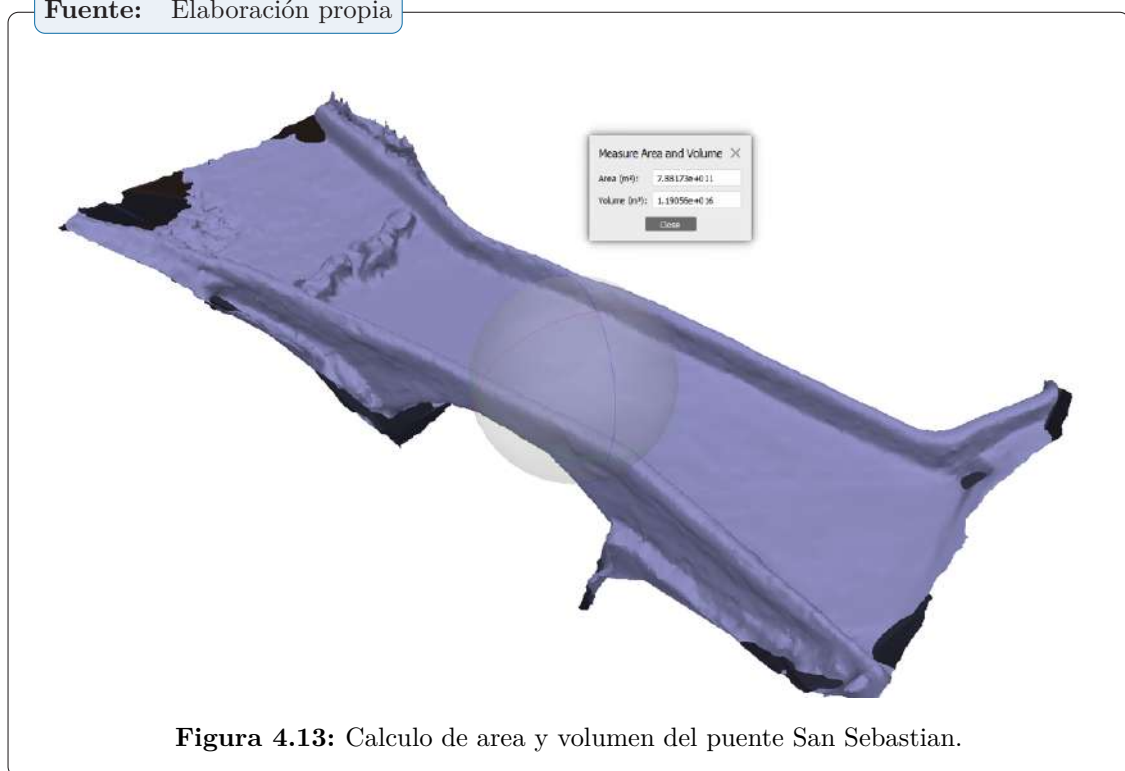


Figura 4.13: Calculo de area y volumen del puente San Sebastian.

Debido a que hubo una distorsión con las imágenes se tuvo que ajustar los cálculos generados para tener el área y volumen de la estructura del puente San Sebastián se multiplico por  $3.00865786 \times 10^{-5}$  cuando es área se considera multiplicar el factor 2 veces y si es volumen se multiplica tres veces por lo que al multiplicar los datos generados por el drone se tiene un área de 713.46 m<sup>2</sup> y un volumen total de 324.24 m<sup>3</sup>.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.14: Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión se tiene un área de 35.084 m<sup>2</sup>, y a la vez se tuvo un perímetro de 28.39 m.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.15: Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión se tiene de 1.251 m<sup>3</sup>, fue el volumen de la falla encontrada en la superficie del puente.

Fuente: Elaboración propia

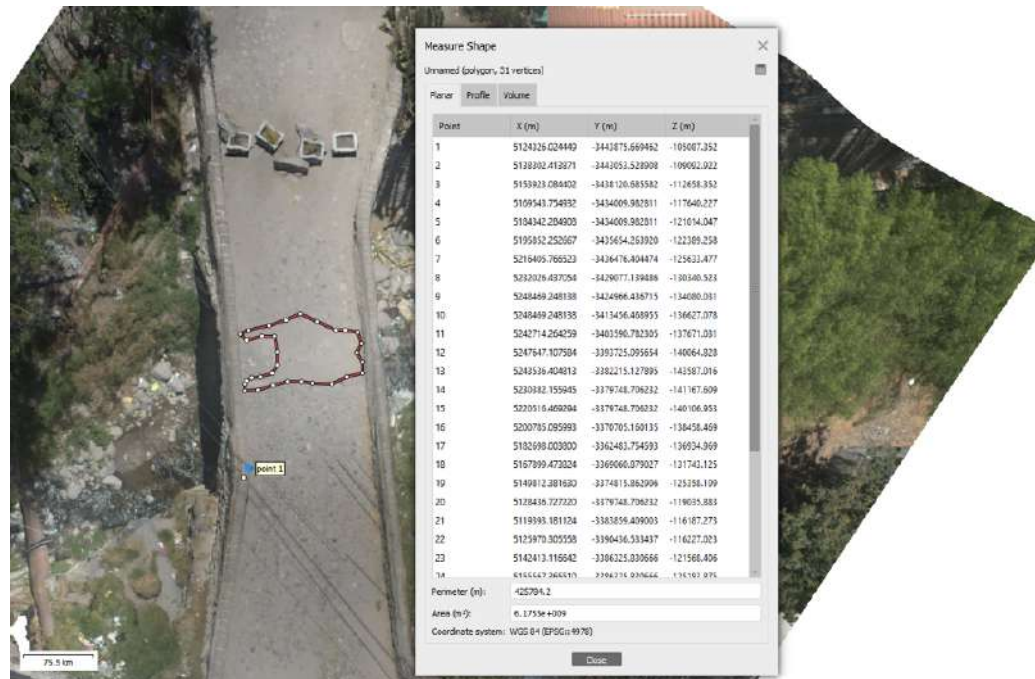


Figura 4.16: Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión se tiene un área de 5.59 m<sup>2</sup>, y a la vez se tuvo un perímetro de 12.81 m.

Fuente: Elaboración propia

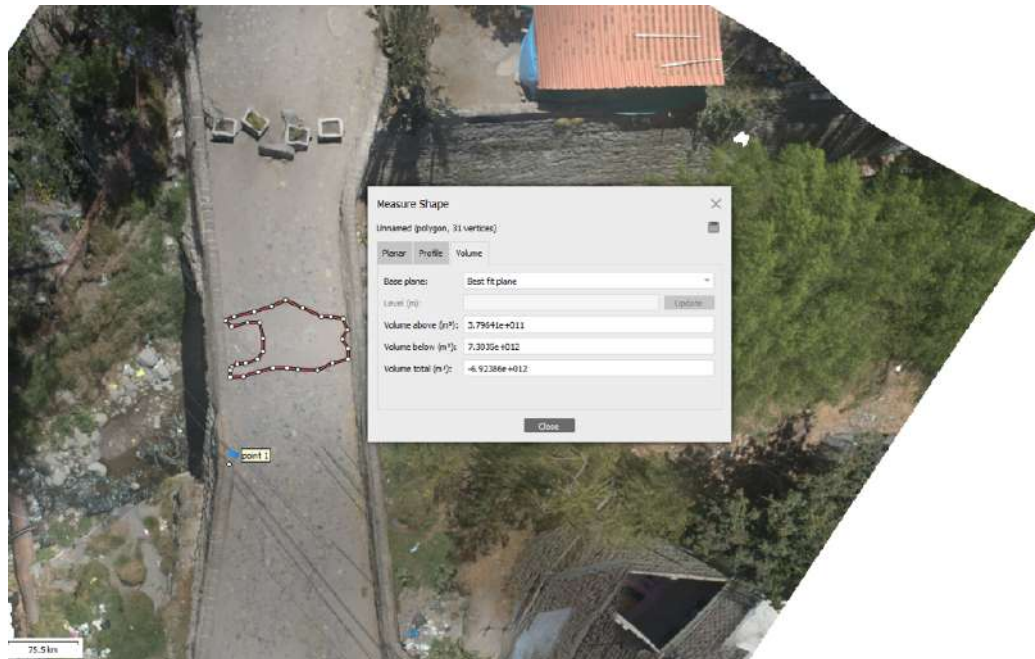


Figura 4.17: Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión se tiene de 0.189 m<sup>3</sup>, fue el volumen de la falla encontrada en la superficie del puente.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.18: Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastián.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión se tiene un área de 1.56 m<sup>2</sup>, y a la vez se tuvo un perímetro de 5.599 m.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.19: Calculo de área y volumen de fallas del puente San Sebastian.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión se tiene de 0.0136 m<sup>3</sup>, fue el volumen de la falla encontrada en la superficie del puente.

Fuente: Elaboración propia

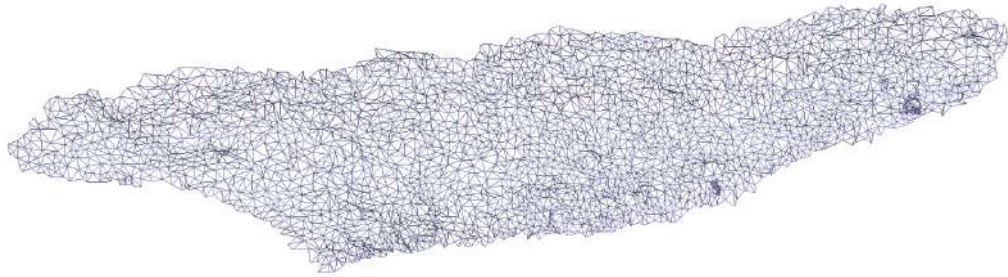


Figura 4.20: Triangulacion de la falla lateral.

Fuente: Elaboración propia

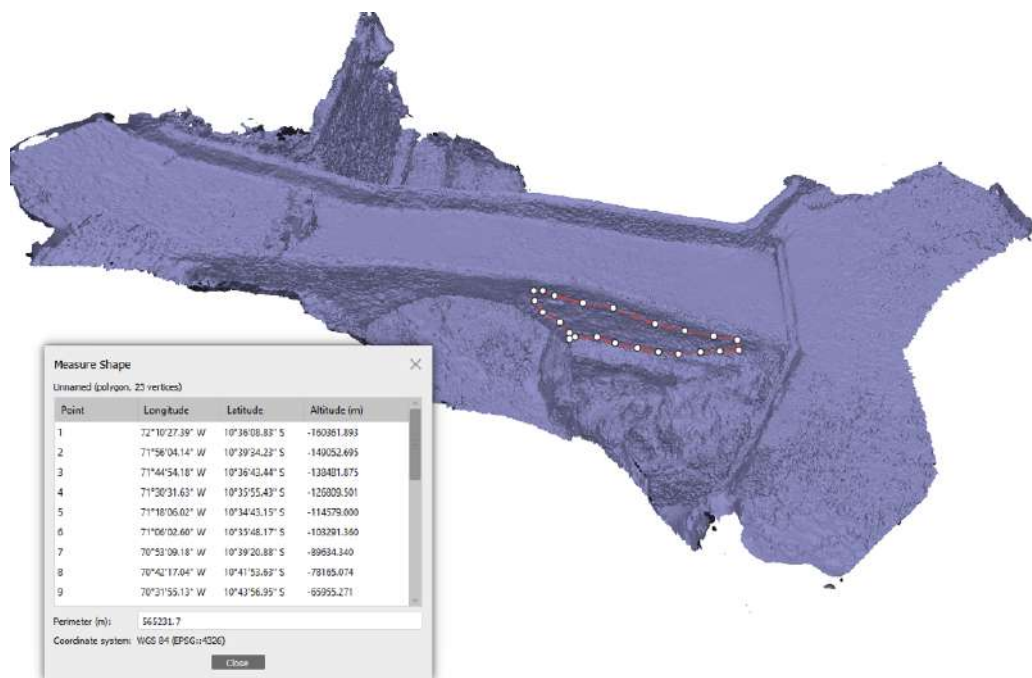


Figura 4.21: Triangulación de la falla lateral.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión tuvo un perímetro de 1.7 m.

Fuente: Elaboración propia

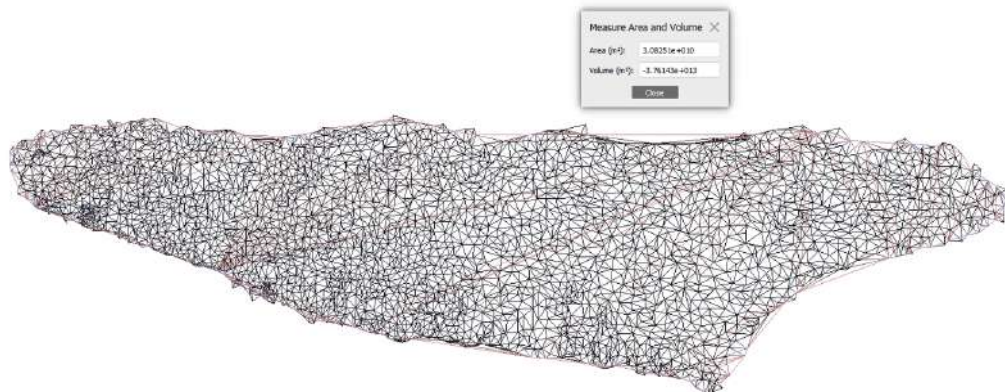


Figura 4.22: Triangulación de la falla lateral.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.23: Falla lateral.

Realizando el mismo calculo y multiplicando por el mismo factor de conversión se tiene un área de 27.90 m<sup>2</sup>, y un volumen de falla de 1.024 m<sup>3</sup>.

Fuente: Elaboración propia

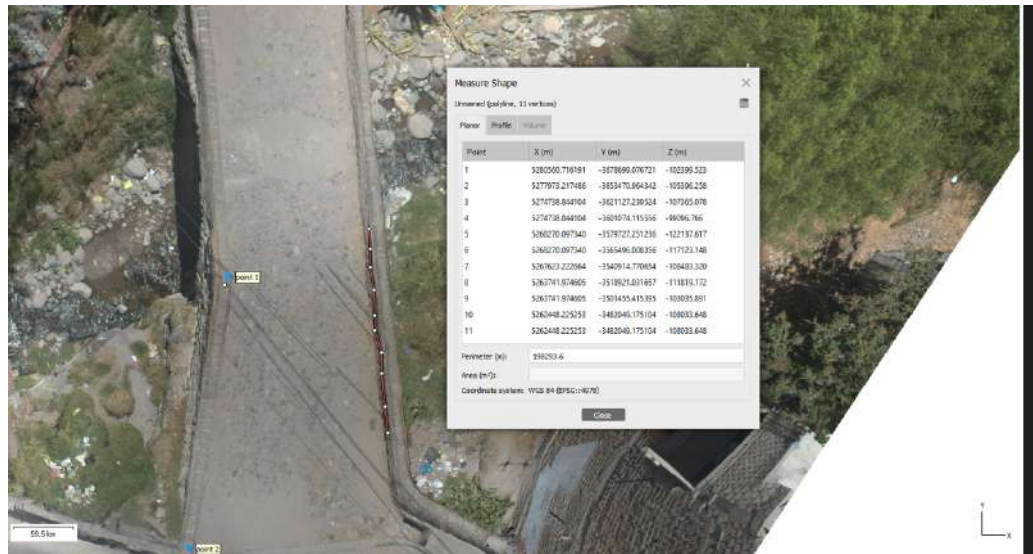


Figura 4.24: Falla lateral.

la dimensión de la fisura encontrada en el puente San Sebastián utilizando el mismo factor de conversión fue de 5.73 m.

Fuente: Elaboración propia

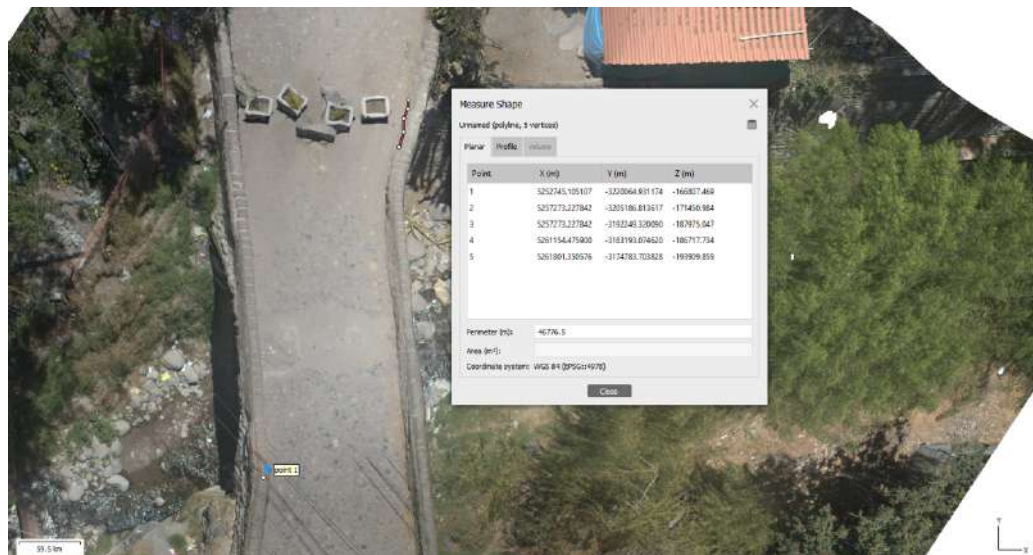


Figura 4.25: Falla lateral.

la dimensión de la fisura encontrada en el puente San Sebastián utilizando el mismo factor de conversión fue de 1.40 m.

#### 4.2.2 Comprobación de resultados

---

La discrepancia entre los datos medidos y los datos extraídos (del DEM producido por UAV) se estimaron y utilizaron para el cálculo del error cuadrático medio (RMSE)

El RMSE se calculó usando la fórmula dada en la Ecuación siguiente (1).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (N_i - N_j)^2}{n}}$$

**Donde:**

**N<sub>i</sub>:** Son los valores observados.

**N<sub>j</sub>:** Son los valores de referencia.

**yn:** Es el número de puntos.

La precisión horizontal y vertical también se calculó aplicando un nivel de confianza del 95 %.

Precisión horizontal =  $1,7308 \times RMSE_r$  (2)

Precisión vertical =  $1,96 \times RMSE_z$  (3)

donde  $RMSE_r$  y  $RMSE_z$  son los errores cuadrados medios de la raíz horizontal y discrepancia vertical calculadas respectivamente usando la Ec. (1).

La precisión horizontal y vertical obtenida se comparó luego con el error de cierre promedio y máximo permitido según NSSDA (1998).

El límite permitido horizontal promedio y máximo ( $xy$ ) se calculó como  $Avg(xy) = 1 \times GSD$  y  $Max(xy) = 1,6 \times GSD$  respectivamente, mientras que el promedio y el máximo vertical ( $z$ ) permitido se calculó como  $Avg(z) = 1,6 \times GSD$  y  $Max(z) = 2,5 \times GSD$ , donde  $GSD$  es la distancia de muestreo terrestre. La resolución obtenida en este trabajo después de hacer los procesamientos de imágenes fue de 19 cm por pixel a comparación de los DEM ya existentes, al obtener una mayor resolución podemos usar los DEM obtenidos para diversos trabajos de ingeniería.

# CAPITULO V

## CONCLUSIONES

---

### CONCLUSIONES

- ☞ Se concluye que la fotogrametría realizada con drones es muy eficaz para realizar trabajos de inspección de patrimonios históricos facilita en gran escala la inspección de fallas estructurales que puede existir en estructuras de geometría compleja como son los puentes en forma de arco las cuales están construidas a base de piedra y mortero.
- ☞ Después de realizar el trabajo podemos decir que esta metodología de generación de estructuras 3D con la aplicación del SFM es muy útil para determinar la longitud, área y volumen de cada una de las fallas del puente San Sebastián de la ciudad de Ayacucho, podemos determinar gran exactitud las fallas y fisuras a lo largo del puente, por otro lado el puente según la inspección realizada tiene múltiples fallas estructurales.
- ☞ También se concluye que la diferencia entre las dimensiones tomadas en campo y la generada a partir de la fotogrametría y la reconstrucción 3D varían en solo 1 cm como máximo por lo cual se concluye que esta metodología es suficientemente precisa para la evaluación de daños estructurales en el caso de puentes.

## **RECOMENDACIONES**

- ☞ Se recomienda en primera instancia realizar un adecuado plan de vuelo para prever que la batería de equipo se agote antes de tiempo a su vez se recomienda tomar en cuenta la altura de vuelo del dron para tener mejores resultados.
- ☞ Se debe colocar puntos de control lo suficientemente visibles se debe hacer el marcado con un color llamativo y de fácil percepción en las imágenes tomadas con el dron.
- ☞ Al tomar las fotografías se debe hacer considerando una superposición o traslape mínimo de 65 % de fotografía a fotografía a su vez es esencial combinar fotos adquiridas con drones y fotos tomadas manualmente con alguna cámara de buena resolución para lograr captar mayores detalles.

### **Futuras líneas de investigación**

- ☞ Como trabajos futuros se puede continuar con el análisis de otros puentes históricos que existen en la ciudad de Ayacucho.
- ☞ También se puede hacer la investigación de otras estructuras que se encuentran en abandono que cuentan con geometrías complejas como son las iglesias y casonas ubicadas en el centro de la ciudad.
- ☞ Se podría hacer la misma investigación considerando mayor cantidad de puntos de control ya que hay una teoría que menciona que a más de 20 puntos de control aumenta la precisión de los datos generados.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Amézquita Jiménez, W. (2016). Sistema de información geográfica basados en la tecnología de drones aplicado en el área de catastro arqueológico del ministerio de cultura sede cusco 2015. *Universidad Alas Peruanas*.
- Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L., and Limongiello, M. (2019). Accuracy assessment of 3d photogrammetric models from an unmanned aerial vehicle. *Drones*, 3(4):79.
- Bardales Salazar, H. A. (2013). Conservación de puentes de piedra en el Perú: criterios para su intervención estructural. *Pontificia Universidad Católica del Perú*.
- Bitelli, G., Castellazzi, G., D'altri, A., De Miranda, S., Lambertini, A., and Selvaggi, I. (2016). Automated voxel model from point clouds for structural analysis of cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Bustillos Cuellar, J. et al. (2015). Modelado en 3d mediante fotogrametría de puente en sangonera la verde. *Universidad Política de Cartagena*.
- Carmen Reategui, J. (2021). Evaluación de la vulnerabilidad de la planta de captación de agua potable de iquitos, ante el proceso de inundación utilizando técnica fotogramétrica con dron, 2020. *Universidad Científica del Perú*.
- Cortés Cortés, M. E. and Iglesias León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación*. Universidad Autónoma del Carmen.
- Farrera Alcaraz, L. G. and Díaz López, E. (2021). Levantamiento topográfico con aplicación de fotogrametría en el cráter del volcán Chichón mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*.
- Fernández, S. Q. (2016). Uso y aprovechamiento de las nuevas tecnologías en la conservación del patrimonio edificado. reseña de casos emblemáticos en Perú. *Devenir-Revista de estudios sobre patrimonio edificado*, 3(5):113–132.
- Fernandez Aliano, A. G. (2020). Aplicación de la técnica fotogramétrica structure from motion en un levantamiento topográfico mediante el uso de aeronave pilotada a distancia (rpa's). *Universidad Peruana Unión*.

- Fernández Gómez, M., Martínez Boquera, A., Bosch Reig, I., and Cortés Alcober, M. P. (2006). Estudios previos a la restauración de los puentes históricos de trinidad y serranos de valencia. *Arché*, (1):223–232.
- Gioffré, M., Cavalagli, N., Pepi, C., and Trequattrini, M. (2017). Laser doppler and radar interferometer for contactless measurements on unaccessible tie-rods on monumental buildings: Santa maria della consolazione temple in todi. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 778, page 012008. IOP Publishing.
- Gómez Lahoz, J. (2009). Introducción a la fotogrametría digital: El método general de la fotogrametría digital. *Universidad de Salamanca Master de Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. Consulta*, 17.
- Guldur, B., Yan, Y., and Hajjar, J. F. (2015). Condition assessment of bridges using terrestrial laser scanners. In *Structures Congress 2015*, pages 355–366.
- IBARRA DUARTE, I. A. et al. (2021). Integración de la fotogrametría aérea con drones para la elaboración de un modelo digital del campus hermoso centro de la universidad de sonora. Master's thesis, IBARRA DUARTE, IVAN ARTURO.
- Lanza Vidal, D. (2020). Fotogrametría. apuntes para una introducción práctica.
- Olsen, M. J., Kuester, F., Chang, B. J., and Hutchinson, T. C. (2010). Terrestrial laser scanning-based structural damage assessment. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(3):264–272.
- Ortega Cardenas, V. E. (2018). Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada. *Ingeniería Civil*.
- Palazzi, N. C., Rovero, L., Tonietti, U., Llera, J. C. d. l., and Sandoval, C. (2019). Seismic vulnerability assessment of unreinforced masonry churches in central chile. In *Structural analysis of historical constructions*, pages 1172–1181. Springer.
- Pepi, C., Gioffrè, M., Comanducci, G., Cavalagli, N., Bonaca, A., and Ubertini, F. (2017). Dynamic characterization of a severely damaged historic masonry bridge. *Procedia engineering*, 199:3398–3403.
- Rivas Arias, C. J. and Vilca Canchapoma, D. D. (2020). Análisis comparativo del método convencional y método alternativos rpas para el levantamiento topográfico de una trocha carrozable en jauja junín, 2020. *Universidad César Vallejo*.
- Varr, Bgly, G., and Grg, P. (2021). Laboratory and numerical analysis of failure of stone masonry arches with and without reinforcement. 123:105272.

*Referencias Bibliográficas*

Westoby, M.; Brasington, J. G. N. H. M. R. M. (2012). Structurefrom motion photogrammetry: a low-cost,effective tool for geoscience applications.

# Parte I

ANEXOS

## APÉNDICE A

---

## A.1 Reporte del programa agisoft Metashape

Fuente: Elaboración Propia

### Agisoft Metashape

Processing Report Presa Palcca  
22 November 2022



Figura A.1: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

## Survey Data

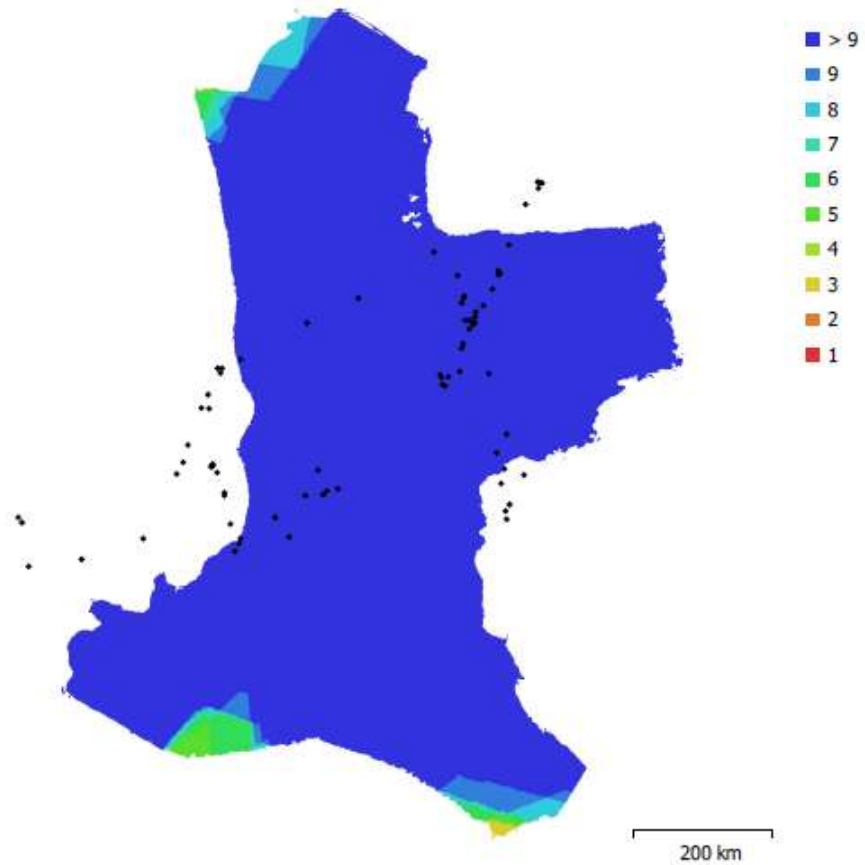


Figura A.2: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

Number of images:	77	Camera stations:	77
Flying altitude:	358 km	Tie points:	56,882
Ground resolution:	91.3 m/pix	Projections:	261,699
Coverage area:	5.1e+005 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	16.4 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310S (8.8mm)	5464 x 3640	8.8 mm	2.42 x 2.42 μm	No

Table 1. Cameras.

Figura A.3: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

## Camera Calibration

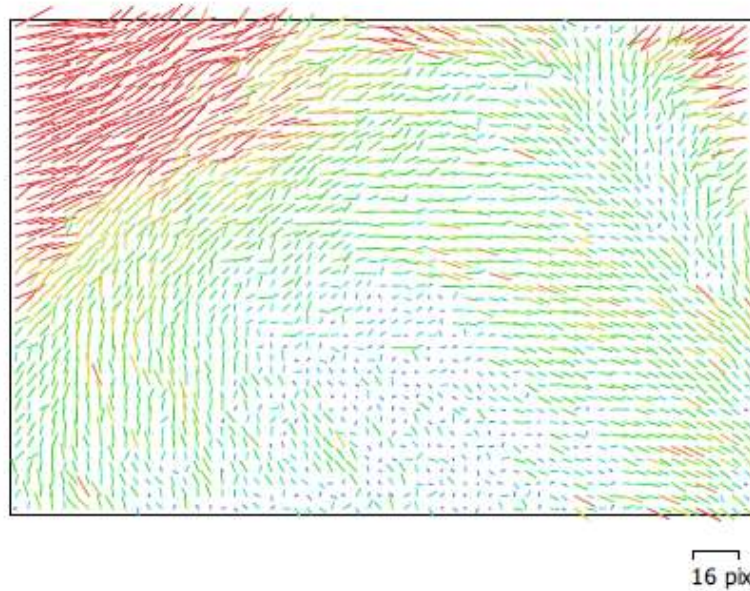


Figura A.4: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

### FC6310S (8.8mm)

77 images

Type  
Frame

Resolution  
5464 x 3640

Focal Length  
8.8 mm

Pixel Size  
2.42 x 2.42  $\mu\text{m}$

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
<b>F</b>	<b>3697.64</b>	1.2e+003	1.00	-0.04	-0.37	-0.10	0.01	-0.34	0.27	-0.24	0.22	0.02	0.17
<b>Cx</b>	<b>22.2238</b>	1.9e+003		1.00	0.12	-0.00	-0.08	0.03	-0.03	0.02	-0.02	-0.06	0.03
<b>Cy</b>	<b>5.86784</b>	1.6e+003			1.00	-0.12	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	0.01	-0.50
<b>B1</b>	<b>-0.76743</b>	5.4e+002				1.00	0.02	-0.01	-0.03	0.03	-0.03	-0.04	0.40
<b>B2</b>	<b>-0.0882309</b>	5.4e+002					1.00	-0.01	0.00	-0.00	0.00	-0.27	-0.05
<b>K1</b>	<b>-0.289678</b>	0.99						1.00	-0.97	0.92	-0.86	0.00	-0.04
<b>K2</b>	<b>0.146643</b>	3.1							1.00	-0.99	0.95	-0.00	0.00
<b>K3</b>	<b>-0.0668439</b>	3.8								1.00	-0.99	0.00	0.00
<b>K4</b>	<b>0.0154491</b>	1.6									1.00	-0.00	-0.00
<b>P1</b>	<b>-0.000296403</b>	0.031										1.00	-0.05
<b>P2</b>	<b>5.7284e-005</b>	0.046											1.00

Figura A.5: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

### Camera Locations

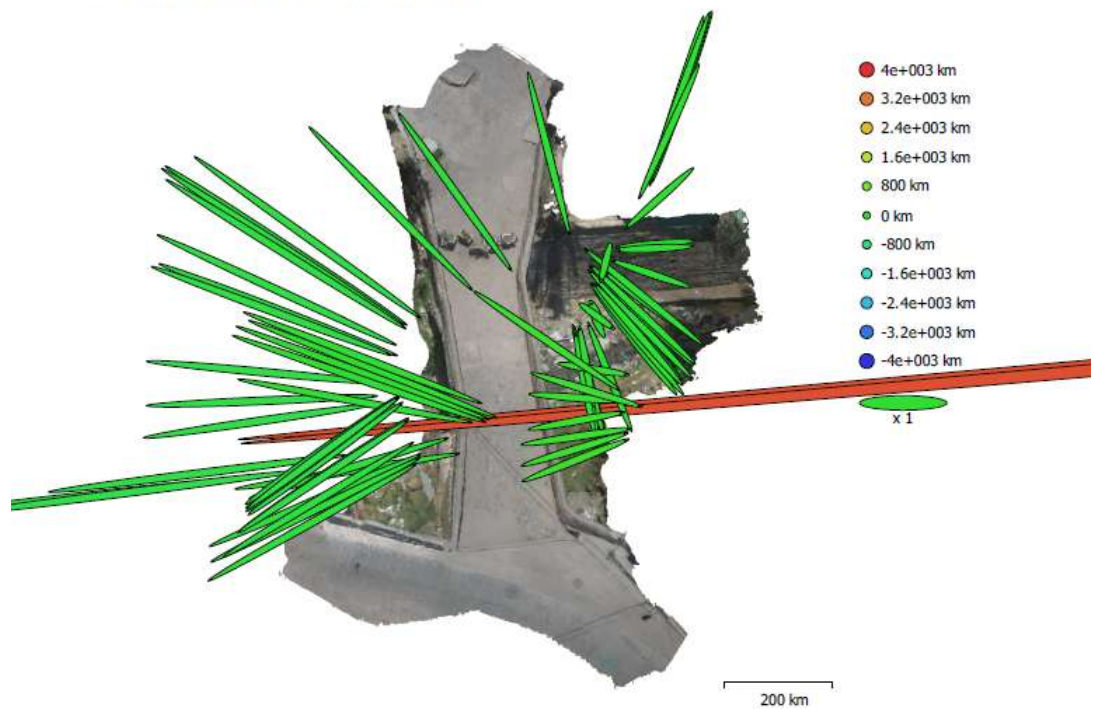


Figura A.6: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

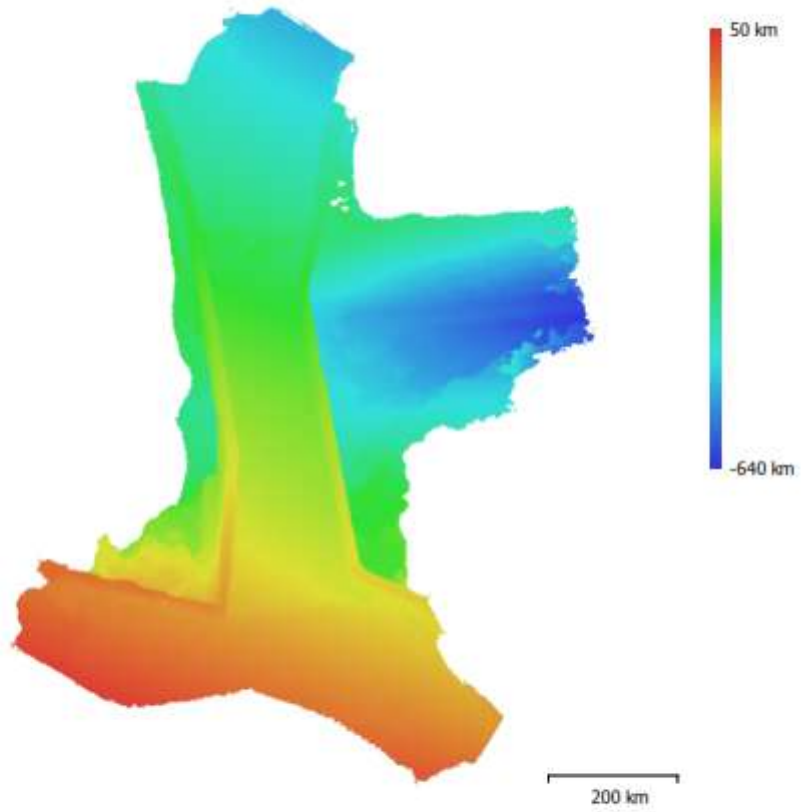
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.  
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (km)	Y error (km)	Z error (km)	XY error (km)	Total error (km)
997.837	192.784	608.644	1016.29	1184.61

Figura A.7: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

## Digital Elevation Model



Resolution: 365 m/pix  
Point density: 7.5 points/km<sup>2</sup>

Figura A.8: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

<b>General</b>	
Cameras	77
Aligned cameras	77
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
<b>Point Cloud</b>	
Points	56,882 of 71,777
RMS reprojection error	2.64084 (16.4394 pix)
Max reprojection error	5.58202 (117.67 pix)
Mean key point size	6.25001 pix
Point colors	3 bands, uint16
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.70779
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	58 seconds
Alignment time	44 seconds
Software version	1.5.2.7838
<b>Depth Maps</b>	
Count	77
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Processing time	8 minutes 51 seconds
Software version	1.5.2.7838

Figura A.9: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

<b>Dense Point Cloud</b>	
Points	19,872,124
Point colors	3 bands, uint16
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Processing time	8 minutes 51 seconds
<b>Dense cloud generation parameters</b>	
Processing time	5 minutes 10 seconds
Software version	1.5.2.7838
<b>Model</b>	
Faces	445,372
Vertices	224,835
Vertex colors	3 bands, uint16
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint16
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Processing time	8 minutes 51 seconds
<b>Reconstruction parameters</b>	

Figura A.10: Reporte del programa agisoft Metashape.

Fuente: Elaboración Propia

<b>General</b>	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	14 minutes 28 seconds
<b>Texturing parameters</b>	
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	3 minutes 17 seconds
Blending time	3 minutes 30 seconds
Software version	1.5.2.7838
<b>DEM</b>	
Size	4,233 x 4,425
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4978)
<b>Reconstruction parameters</b>	
Source data	Mesh
Interpolation	Enabled
Processing time	3 seconds
Software version	1.5.2.7838
<b>Orthomosaic</b>	
Size	16,116 x 16,440
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4978)
Colors	3 bands, uint16
<b>Reconstruction parameters</b>	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	4 minutes 59 seconds
Software version	1.5.2.7838
<b>Software</b>	
Version	1.5.2 build 7838
Platform	Windows 64

Figura A.11: Reporte del programa agisoft Metashape.



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### ACTA N° 010-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 074-2023-FIMGC-D**, siendo los siete días del mes de febrero del 2023, a horas 10:00 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZU PRADO**, Jurado el **MSc. Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**, Jurado - Asesor el **MSc. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada “**EVALUACION DE LA SALUD ESTRUCTURAL EMPLEANDO EL ALGORITMO SFM-DMV EN EL PUENTE COLONIAL SAN SEBASTIAN DE AYACUCHO,2022**”, presentado por el/la Sr./Srta., **Edwin ALARCON AVALOS**, Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **17 (diecisiete)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y CIVIL  
*Dr. Efraín Elías Porras Flores*  
DECANO

Firmado digitalmente  
por Efraín Elías Porras  
Flores  
Fecha: 2023.02.15  
09:55:21 -05'00'

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**  
Presidente

**MSc. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI**  
Jurado Asesor

**MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZU PRADO**  
Jurado

**MSc. Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**  
Jurado

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso

C.c.:  
Bach. Edwin ALARCON AVALOS  
Jurados (4)  
Archivo



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 013-2023-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : ALARCON AVALOS, Edwin  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : EVALUACION DE LA SALUD ESTRUCTURAL EMPLEANDO EL ALGORITMO SFM-DMV EN EL PUENTE COLONIAL SAN SEBASTIAN DE AYACUCHO, 2022.  
**Evaluación de la Originalidad** : 20 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 2003316837

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 02 de febrero del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**

Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
Departamento Académicos de Matemática y Física

Con depósito para Sustentación y Tramites  
Cc. Archivo

# EVALUACION DE LA SALUD ESTRUCTURAL EMPLEANDO EL ALGORITMO SFM-DMV EN EL PUENTE COLONIAL SAN SEBASTIAN DE AYACUCHO, 2022.

*por* Edwin Alarcon Avalos

---

**Fecha de entrega:** 31-ene-2023 09:27a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2003316837

**Nombre del archivo:** Tesis\_Edwin\_Alarcon\_Avalos\_EPIC.pdf (3.66M)

**Total de palabras:** 18576

**Total de caracteres:** 101366

# EVALUACION DE LA SALUD ESTRUCTURAL EMPLEANDO EL ALGORITMO SFM-DMV EN EL PUENTE COLONIAL SAN SEBASTIAN DE AYACUCHO, 2022.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	11%
2	repositorio.unicach.mx Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	1%
6	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorioinstitucional.uson.mx Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad de Cartagena	

---

Trabajo del estudiante

<1 %

---

9

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

---

10

[alicia.concytec.gob.pe](http://alicia.concytec.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

11

[issuu.com](http://issuu.com)

Fuente de Internet

<1 %

---

12

[bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

---

13

[repositorioacademico.upc.edu.pe](http://repositorioacademico.upc.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

14

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo