

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Estudio comparativo de la fotogrametría aplicada con un smartphone para la obtención de dimensiones de una embarcación de 20 metros respecto al uso de una estación total

Para obtener el título profesional de Ingeniero Naval.

Elaborado por

Rolfe Dieter Nájjar Terrones

 [0009-0000-1849-4297](https://orcid.org/0009-0000-1849-4297)

Asesor

DSc. Juan José Uchuya López

 [0000-0002-6810-1065](https://orcid.org/0000-0002-6810-1065)

LIMA – PERÚ

2024

Dedicatoria

A todas las personas que fueron testigos y participes durante mi proceso de formación profesional alentándome a perseverar: a mis padres, pareja, familiares y amigos de universidad que estuvieron dispuestos a compartir su conocimiento durante las largas jornadas de preparación antes de los exámenes.

Agradecimientos

Al astillero SIMA CALLAO por brindarme el permiso de usar las instalaciones y al área de Aseguramiento de Control de Calidad por facilitarme los instrumentos en el desarrollo de este estudio.

Al Dr. Juan Uchuya y al Ing. Roberto Núñez por orientarme durante el desarrollo de la tesis.

A los ingenieros Paulo Gutiérrez y José Rodríguez por ayudarme durante los preparativos y la realización de la toma de medidas.

RESUMEN

La presente tesis pretende comparar la fotogrametría aplicada con un smartphone respecto al uso de una estación total para la obtención de medidas de la forma en una embarcación de apoyo logístico de 20m de eslora. El estudio surge ante la necesidad de realizar levantamientos de medidas de manera rápida, segura, con consumo de pocos recursos y con medidas lo más exacta posibles dentro de la industria naval peruana; la cual en su mayoría es informal y aún hace uso de procedimientos que no garantizan lo antes mencionado. En inicio se describen y definen los principios del uso de la estación total y la fotogrametría, las cuales son usados en aplicaciones de dentro de la arquitectura, ingeniería civil, geología e intentos de aplicación de ingeniería naval inversa en el extranjero. Posteriormente se dispuso de una embarcación de 20m, equipos y herramientas para definir marcas cuyas posiciones fueron medidas con una estación total, así como con el uso de fotogrametría mediante un software de procesamiento de imágenes. Las variables involucradas fueron comparadas cuantitativamente haciendo uso de cuadros, matrices con escala de valores e índices estadísticos para evaluar las diferencias, similitudes, correlación y concordancia de los resultados. Finalmente, se demuestra que la fotogrametría puede ser usada como opción válida de obtención de medidas para aplicaciones navales en el Perú ya que no existen diferencias significativas de medidas entre la fotogrametría respecto al uso de estación total, además de consumir menos recursos y ser un método que brinda más seguridad al trabajador.

Palabras clave: Fotogrametría, estación total, estudio comparativo.

ABSTRACT

The present thesis aims to compare photogrammetry applied with a smartphone respect to the use of a total station to obtain measurements of the shape of a 20m logistic support vessel. The study arises from the need to carry out measurement surveys in a fast and safe way, with low resource consumption and with measurements as accurate as possible within the Peruvian shipbuilding industry, which is mostly informal and still uses procedures that do not guarantee the above mentioned. At first, the principles of the use of total station and photogrammetry are described and defined, which are used in applications within architecture, civil engineering, geology and attempts of reverse naval engineering application abroad. Subsequently, a 20m vessel, equipment and tools were used to define marks whose positions were measured with a total station, as well as with the use of photogrammetry using images processing software. The variables involved were quantitatively compared using tables, matrices with scale values and statistical indices to evaluate the differences, similarities, correlation and concordance of the results. Finally, it is demonstrated that photogrammetry can be used as a valid option to obtain measurements for naval applications in Peru, since there are no significant differences in measurements between photogrammetry and total station, in addition to consuming fewer resources and being a method that provides more security to the worker.

Key words: Photogrammetry, total station, comparative study.

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes de la investigación	1
1.1.1 Antecedentes nacionales	2
1.1.2 Antecedentes internacionales	4
1.2. Identificación y descripción del problema de estudio	8
1.3. Formulación del problema	9
1.3.1 Problema principal	9
1.3.2 Problemas secundarios.....	9
1.4. Justificación e importancia	9
1.5. Objetivos	10
1.5.1 Objetivo general.....	10
1.5.2 Objetivos específicos	10
1.6. Hipótesis	10
1.6.1 Hipótesis general	10
1.6.2 Hipótesis específicas	10
1.7. Variables y operacionalización de variables	11
1.8. Metodología de la investigación	12
1.8.1 Unidad de análisis.....	12
1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación.....	12
1.8.3 Diseño de la investigación	13
1.8.4 Fuentes de información.....	13
1.8.5 Población y muestra	13
1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14

1.8.7	Análisis y procesamiento de datos	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL		16
2.1.	Bases teóricas.....	16
2.1.1	Uso de la estación total Leica TS02	16
2.1.2	Representación o caracterización de las formas de un buque	24
2.1.3	Fundamentos de fotogrametría	29
2.1.4	Agisoft Metashape	34
2.1.5	Criterios para la validación del análisis de datos	35
2.2.	Marco conceptual	38
2.2.1	Estadísticos muestrales	39
2.2.2	Dimensiones del casco de una embarcación	39
2.2.3	Recursos.....	40
2.2.4	Matriz de evaluación de riesgos de seguridad	40
2.2.5	Estudio comparativo	40
CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		41
3.1.	Procedimiento para la obtención de medidas del casco de una embarcación usando el método de fotogrametría con un smartphone.....	41
3.1.1	Procesamiento de fotografías con software Metashape y generación de nube de puntos.....	43
3.1.2	Coordenadas de las marcas obtenidas usando fotogrametría.....	44
3.2.	Recursos consumidos y matriz de riesgos	47
3.2.1	Recursos consumidos usando el método de medición con la estación total Leica TS02.....	47
3.2.2	Matriz de evaluación de riesgo con uso de la estación total Leica TS02	48
3.2.3	Recursos consumidos usando el método de medición con fotogrametría	49
3.2.4	Matriz de evaluación de riesgo de seguridad con uso de fotogrametría	50
CAPÍTULO IV RESULTADO, CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		51

4.1.	Cálculo del coeficiente correlacional de Spearman	51
4.2.	Diagrama de Bland Altman.....	53
4.3.	Índice de estabilidad.....	57
4.4.	Comparación de recursos consumidos entre ambos métodos de medición	57
4.5.	Comparación de riesgos asociados entre ambos métodos de medición.....	58
4.6.	Discusión de resultados	58
	CONCLUSIONES	60
	RECOMENDACIONES.....	61
	REFERENCIAS	62
	ANEXO A Matriz de consistencia.....	65
	ANEXO B Diferencias entre las posiciones de las coordenadas correspondientes al mismo eje para cada marca en el casco	67
	ANEXO C Calibración de cámara según informe de procesamiento del software METASHAPE	70
	ANEXO D Nube de puntos del casco generada a partir del procesamiento de medidas por el método de fotogrametría	71
	ANEXO E Superficie del casco generada por alisado en Rhinoceros a partir del procesamiento de la nube de puntos por el método de fotogrametría	73
	ANEXO F Autorización para uso de equipos y software	74
	ANEXO G Solicitud autorizada del uso de las instalaciones de SIMA Callao y de datos..	75
	ANEXO H Cotización de referencia para alquiler de una estación total	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Levantamiento en 3D generado por fotogrametría.....	2
Figura 2 Organigrama del levantamiento de datos en el levantamiento de datos de una superficie usando fotogrametría	3
Figura 3 Superposición de imágenes durante toma de fotos a un modelo de casco	4
Figura 4 Resultado de superficie obtenida en las primeras tomas de lado estribor del yate	5
Figura 5 Nube de puntos dispersa de piezas modeladas.....	6
Figura 6 Modelo pequeño escaneado con aplicación Qlone y smartphone Samsung	6
Figura 7 Configuración de un modelo para levantamiento a escala	7
Figura 8 Embarcación de apoyo logístico utilizada	12
Figura 9 Estación total Leica.....	16
Figura 10 Uso de estación total en la industria naval peruana	17
Figura 11 Vista de las referencias definidas en el bloque del buque para obtener dimensiones generales y el alineamiento	18
Figura 12 Obtención de coordenadas de cada punto colocado a lo largo del casco	20
Figura 13 Vistas de la nube de puntos obtenidos mediante el método de estación total utilizando nube de puntos.....	24
Figura 14 Ejes de referencia para la definición de las formas de un buque.....	24
Figura 15 Muestra de secciones y planos de referencia	26
Figura 16 Secciones transversales en un plano de líneas de forma.....	27
Figura 17 Líneas de agua y finos en un plano de líneas de forma	27
Figura 18 Generación del casco a partir del plano de líneas de forma	29
Figura 19 Triangulación con uno y múltiples puntos usando fotogrametría.....	31
Figura 20 Red de triangulación para levantamiento de control de una superficie.....	32
Figura 21 Efecto de la visualización estereoscópica	32
Figura 22 Estereoscopio analógico	33
Figura 23 Relación estereoscópica de paralaje.....	34

Figura 24 Gráfico de Bland Altman para muestras dispersas.....	36
Figura 25 Impresión de marcas o dianas usadas para codificar y reconocer los puntos en las fotografías capturadas	41
Figura 26 Impresión de marcas o dianas usadas para codificar y reconocer los puntos en las fotografías capturadas	42
Figura 27 Muestra de una parte de las fotografías obtenidas y almacenadas	43
Figura 28 Gráfico de dispersión entre las coordenadas “x” medida con ambos métodos.	51
Figura 29 Gráfico de dispersión entre las coordenadas “y” medida con ambos métodos.	52
Figura 30 Gráfico de dispersión entre las coordenadas “z” medida con ambos métodos.	53
Figura 31 Diagrama de Bland-Altman para medidas en el eje “x”	55
Figura 32 Diagrama de Bland-Altman para medidas en el eje “y”	55
Figura 33 Diagrama de Bland-Altman para medidas en el eje “z”	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....	11
Tabla 2 Coordenadas obtenidas mediante el método de estación total	21
Tabla 3 Porcentaje de tolerancias máximas aceptables en las dimensiones de una embarcación según ISO 8666	38
Tabla 4 Rango de tolerancias dimensionales aceptables según su clase (ISO 13920)	38
Tabla 5 Coordenadas obtenidas mediante el método de fotogrametría posterior a la traslación y rotación de ejes respecto al sistema de referencia usado con la estación total.	44
Tabla 6 Recursos usados para la obtención de medidas usando en método de estación total.	47
Tabla 7 Matriz de evaluación de riesgos asociados a la medición con la estación total Leica TS02.	48
Tabla 8 Recursos usados para la obtención de medidas usando el método de fotogrametría.	49
Tabla 9 Matriz de evaluación de riesgos asociados a la medición por el método de fotogrametría aplicado con cámara de smartphone REDMI 09.	50
Tabla 10 Análisis de recursos consumidos usando la estación total Leica TS02.	57
Tabla 11 Análisis de recursos consumidos usando el método de fotogrametría.	58
Tabla 12 Diferencias entre consumo de recursos para ambos métodos de medición.	59
Tabla 13 Cuadro que muestra la cantidad de actividades que superan el grado de riesgo 7 y la cantidad de actividades con grado “no aceptable”.	59
Tabla A.1 Matriz de consistencia	66
Tabla B.1 Diferencia de posiciones de coordenadas.....	67

PRÓLOGO

La industria naval peruana está conformada en su mayoría por embarcaciones al servicio de la pesca y cabotaje fluvial. Estas embarcaciones fueron con construidas en muchos de los astilleros informales que abundan en el sector. Como consecuencia, las reparaciones, mantenimientos y modificaciones suelen realizarse de manera empírica respaldando sus procedimientos solo en las buenas prácticas.

Es importante tener herramientas para realizar trabajos que generen mayores márgenes de ganancia sin afectar la calidad del resultado, en corto tiempo y que garanticen la seguridad del personal que está involucrado. Es por ello por lo que el tema objeto de estudio, pretende brindar un valioso aporte a las buenas prácticas en la industria naval peruana actual asociados a las técnicas de obtención de medidas en trabajos de reparación e ingeniería inversa.

Para el desarrollar la siguiente investigación se tiene la siguiente forma:

Capítulo I: En este capítulo se describen los antecedentes nacionales e internacionales en campos de aplicación ajenos al rubro naval. Se plantea la problemática, la justificación, los objetivos, las hipótesis y se definen las variables para la investigación. Se cierra el capítulo mencionando la metodología usada a partir del enfoque, nivel, tipo, diseño de investigación, así como la mención de las técnicas de recolección y procesamiento de los datos registrados.

Capítulo II: A continuación se desarrolló el marco teórico necesario y apropiado al caso de estudio, haciendo mención a los métodos de obtención de medida en la industria naval peruana, al uso de la estación total, los principios de la fotogrametría, los conceptos navales acerca de la caracterización de las formas de un casco, la descripción

de las dimensiones principales de la geometría del buque en la arquitectura naval, una descripción del software Afisoft Metashape y los criterios usados para la validación de los resultados.

Capítulo III: Se explica el desarrollo de la tesis desde la obtención del tamaño de la muestra, la elaboración de cuadros de comparación de recursos consumidos, matrices de identificación de riesgos y el análisis estadístico de las diferencias de las medidas obtenidas con el método de fotogrametría comparadas con las obtenidas con la estación total. Para este último caso se procesaron las imágenes capturadas con el software Agisoft Metashape y se realizó un análisis de correlación y concordancia para evaluar la exactitud.

Capítulo VI: En este último capítulo se discuten los resultados del capítulo III a partir de los criterios descritos en el capítulo II para contrastarlas con las hipótesis planteadas.

Finalmente, como anexo, se muestra la superficie de casco generada a partir de la nube de puntos obtenidos con el método de fotogrametría y que brinda un panorama de las múltiples aplicaciones que se le puede dar a este método.

INTRODUCCIÓN

En la industria naval peruana se realiza gran cantidad de reparaciones y modificaciones. Son comunes los cambios de planchas, refuerzos, alargamientos de embarcaciones, cubicaciones y modificaciones estructurales diversas. Para realizar dichas tareas, se realiza la toma de medidas en campo de la forma de un casco usando equipos que pueden ser desde los más complejos y caros, como el que se realiza con ayuda de una estación total, hasta el uso herramientas más elementales como flexómetro y plomada.

En el Perú, donde la industria naval aún no está desarrollada y en el que gran parte de los astilleros que realizan reparaciones están en la informalidad (Schuler, 2021), es común para la obtención de medidas el uso del flexómetro, plomada, reglas, cuerdas, además de la habilidad y experiencia del personal que realiza la tarea. Dichas herramientas y métodos de medición tienen asociadas una ventaja y desventaja; pero en ocasiones suelen generar mucha incertidumbre e inexactitud si no son usadas correctamente o si no cuentan con un certificado de calibración vigente.

Empresas con más recursos usan equipos modernos, caros, delicados y precisos como una estación total. Este equipo que es usado en el campo de la arquitectura, ingeniería civil y en Geología, posee sensores muy precisos, miras láser y sistema de posicionamiento computarizados; algunos llegan hasta a tener GPS incorporado. Sin embargo, requieren de personal calificado para su manipulación y su costo de alquiler resulta elevado, lo que genera costos elevados y largas jornadas de trabajo para terminar la medición. Estos métodos: El uso de plomada y wincha; y el uso de estación total, más allá de sus ventajas y desventajas de exactitud y costo, también pueden asociar peligros de seguridad cuando la embarcación es de grandes dimensiones y las condiciones de

trabajo no son las adecuadas. Dichos peligros pueden poner en riesgo la vida de los trabajadores.

Es necesario evaluar otros métodos que garanticen la exactitud, la seguridad, reducir costos y tiempos de trabajo. Es por ello por lo que en esta tesis se propone la fotogrametría, que es un conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales se deduce de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones de este, como alternativa.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes de la investigación

La manera más elemental de obtener las medidas del casco de una embarcación es mediante el uso del flexómetro, una regla y una plomada; también puede hacerse uso de una wincha o un distanciómetro. Este proceso es usado hasta la actualidad por astilleros para la construcción o reparación de las embarcaciones. Se marcan las cuadernas a lo largo de la embarcación teniendo en cuenta los codillos, luego se realiza un trazo sobre el suelo o plano base para definir un plano de crujía. Se realiza un desplazamiento a lo largo de las cuadernas y registra la altura y la manga de cada punto con criterio. Esto se repite a lo largo de toda la embarcación para obtenerse una cartilla de trazado con la cual se podría generar las líneas de forma después de un proceso de afinamiento o carenado (Universidad Continental, 2017).

La tecnología láser también permite el uso de equipos scanner de alto costo para capturar las medidas y datos de los objetos con gran precisión en un tiempo relativamente corto. Estos datos pueden ser usados para reconstrucciones digitales y planos tridimensionales útiles en múltiples aplicaciones como la reproducción de modelos a escala. La desventaja en la mayoría de estos equipos se encuentra en el corto alcance de medición.

Los párrafos anteriores mencionaron las formas de obtener medidas en embarcaciones, sin embargo, el desarrollo de esta tesis se basa en los experimentos y conclusiones realizados por diferentes autores en los últimos años, los cuales han logrado aportar al desarrollo de la aplicación de esta tecnología en ramas como la ingeniería civil,

arquitectura; además de algunos estudios fuera del Perú asociándola a la arquitectura naval y a las reparaciones navales. A continuación, se resume los documentos de donde se obtuvo la información:

1.1.1 Antecedentes nacionales

En otras disciplinas de la ingeniería civil, las mediciones obtenidas a partir de estudios geomorfológicos fueron comparadas con precisión utilizando técnicas de fotogrametría, así como métodos tradicionales con uso de estación total; además de comparar el costo y tiempo que implican estas investigaciones. Los métodos utilizados en este estudio son diseño aplicado, investigación aplicada, no experimental y descriptiva de corte.

Con ayuda de datos experimentales obtenidos con puntos de prueba se recopiló información geomorfológica de la ciudad de Ranca, en la región de Ayacucho, utilizando un dron DJI Phantom 4 RTK y una estación completa TOPCON ES-05, y luego procesó los datos obtenidos mediante los softwares Agisoft Photo Scan y Excel, encontrando una diferencia significativa entre ambos métodos en términos de tiempo y costo (Cuenca, 2021).

Figura 1

Levantamiento en 3D generado por fotogrametría



Nota: fuente Cuenca G. Brus (2021)

Otro estudio realizado en el país evaluó la existencia de alguna correlación entre dos equipos: una estación Total Leica TS 06 y un Drone DJI PHANTOM 4RTK, ambos de alta confiabilidad. La metodología aplicada fue de tipo investigación aplicada, de diseño no experimental, de tipo transversal, con nivel descriptivo y enfoque cuantitativo. Se tomó una muestra de datos topográficos con cada equipo para luego ser analizados y llegar a la conclusión de que el levantamiento fotogramétrico con el drone fué más preciso. De igual modo, el tiempo empleado resultó 30.5% menos que el del levantamiento por estación total, así como de menor costo; dejando así un precedente para la toma de decisiones en futuros proyectos de ingeniería relacionados a levantamientos topográficos optimizando tiempos y costos (Benites, 2022).

Figura 2

Organigrama del levantamiento de datos en el levantamiento de datos de una superficie usando fotogrametría



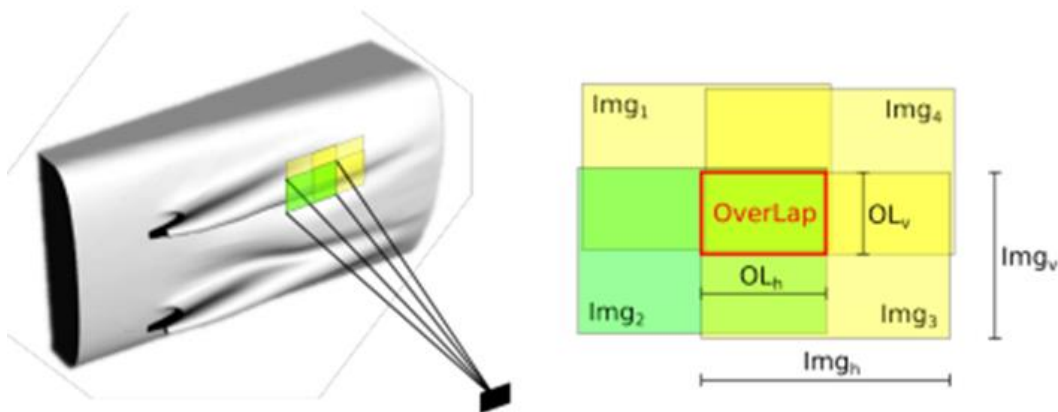
Nota: fuente Benites F. Iván (2022)

1.1.2 Antecedentes internacionales

En el extranjero también se han llevado a cabo estudios sobre técnicas fotogramétricas en aplicaciones navales con el objetivo de construir una representación geométrica de un barco existente (un modelo utilizado para el entrenamiento de navegación botes en Hawa) a partir de mediciones reales de su forma y así experimentar con diversos métodos, modificar el casco (forma del casco, propulsión y dirección) para posibles mejoras, aparte de realizar pruebas experimentales de CFD a diferentes escalas, lo cual no fue una prioridad en este estudio. Los autores utilizaron el modelado fotogramétrico 3D como método principal mediante el uso de equipos simples y económicos con los que obtuvieron resultados de medición muy precisos. Además, utilizaron el software Agisoft Metashape para procesar las imágenes adquiridas y crear una nube de puntos, obteniendo así un mejor modelo con el software Rhinoceros. Finalmente, concluyen que el método de fotogrametría brinda resultados con una precisión aceptable además de ser económico. También se menciona las desventajas de utilizar este método y el cómo minimizarlas (Bielski, Pruszko, Reichel, & Macikowski, 2022).

Figura 3

Superposición de imágenes durante toma de fotos a un modelo de casco



Nota: fuente Bielski et al. (2022)

Otro estudio de la Universidad Politécnica de Cartagena hace uso de la fotogrametría en el casco de un yate para la obtención de las formas de la carena mediante el proceso de ajuste de superficie haciendo uso de Maxsurf y Rhinoceros. Posteriormente

se realizaron cálculos de arquitectura naval, resistencia al avance y estabilidad, concluyendo que la fotogrametría es una opción viable en casos de embarcaciones que no posean planos o tengan planos deficientes. (García, 2022).

Figura 4

Resultado de superficie obtenida en las primeras tomas de lado estribor del yate

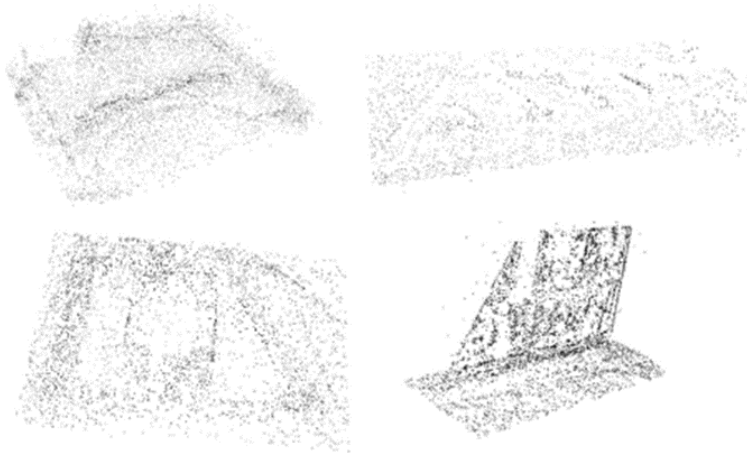


Nota: fuente García (2022)

El uso de esta técnica también ha sido investigado en casos de aplicación industrial con el objetivo de medir con precisión las deformaciones que se producen durante la fabricación de los bloques de un barco, ya que se suelen utilizar métodos de construcción tradicionales lo que conlleva que el control dimensional no cumpla con los requerimientos. El método utilizado por los investigadores es una reconstrucción tridimensional basada en imágenes. Este método requiere sólo imágenes para reconstruir el modelo sólido. Esto también incluye corrección de cámara, procesamiento de imágenes, generación de nubes y mallas para luego comparar las coincidencias de los puntos creando un vector general para minimizar las coincidencias faltantes. Al final, concluyeron que con este vector podrían realizar mejoras o corregir errores, y que esta tecnología podría usarse con precisión para corregirlos en menos tiempo y a gran escala (Yan et al., 2019).

Figura 5

Nube de puntos dispersa de piezas modeladas



Nota: fuente Yan et al. (2019)

Un estudio del laboratorio de reconstrucción de barcos de la universidad de Texas comparó el uso de una aplicación móvil de fotogrametría con el software Agisoft Metashape. Se examinó la calidad de los modelos obtenidos, la complejidad, tiempo, costo y los requisitos del equipo para estudiar las ventajas y desventajas de cada programa. Los resultados demostraron que Agisoft Metashape sigue siendo el software preferido por su precisión a pesar del bajo costo y accesibilidad de la aplicación móvil Qlone (Lewis & Oswald, 2019)

Figura 6

Modelo pequeño escaneado con aplicación Qlone y smartphone Samsung

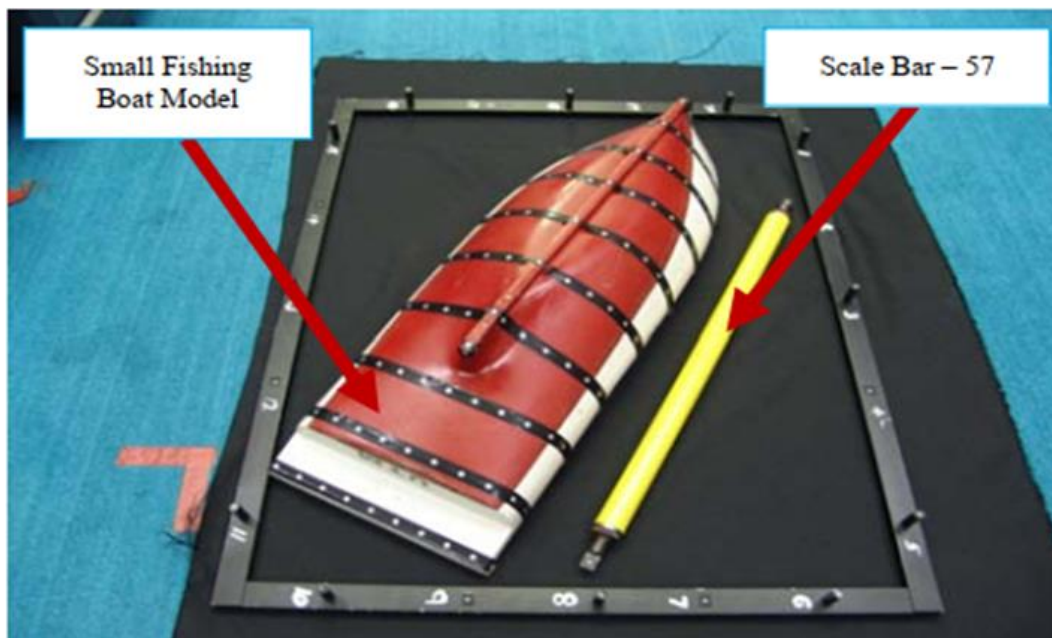


Nota: fuente Lewis & Oswald. (2019)

Uno de los primeros estudios dirigido al ámbito naval fue validar el de validación del método fotogramétrico como herramienta de prueba para así obtener la forma de dos modelos de estudio. En este trabajo se usó la fotogrametría de corto alcance para la obtención de un modelo de barco pesquero pequeño con una eslora de 0,71 m y la evaluación del método. Luego, una vez verificado el método, se realizaron estudios más completos a un modelo más grande de 2,5 m de largo, todo ello utilizando el software PhotoModeler Pro5, así se obtuvieron curvas de nivel para dos modelos. Finalmente, luego de comparar los resultados con las medidas reales de los modelos, se evidenció que las medidas estaban cercanas en las dimensiones principales además de las zonas de la sección media, sin embargo, en las zonas de proa y popa se notaba una disparidad debido al cambio brusco de la forma del casco, la mala iluminación y el uso de flash en lugar de otras fuentes de luz. Aun así, se recomienda el método fotométrico como método válido de prueba y estudio después de comparar sus resultados generales con los cálculos hidrostáticos obtenidos del modelo real (Yasser, Aizat, & Omar, 2012).

Figura 7

Configuración de un modelo para levantamiento a escala



Nota: fuente Yasser et al. (2012)

1.2. Identificación y descripción del problema de estudio

En la industria naval peruana se realiza gran cantidad de reparaciones y modificaciones. Son comunes los cambios de planchas, refuerzos, alargamientos de embarcaciones, cubicaciones y modificaciones estructurales diversas. Para realizar dichas tareas, se realiza la toma de medidas en campo de la forma de un casco usando equipos que pueden ser desde los más complejos y caros, como el que se realiza con ayuda de una estación total, hasta el uso herramientas más elementales como flexómetro y plomada.

En el Perú, donde la industria naval aún no está desarrollada y en el que gran parte de los astilleros que realizan reparaciones están en la informalidad (Schuler, 2021), es común para la obtención de medidas el uso del flexómetro, plomada, reglas, cuerdas, además de la habilidad y experiencia del personal que realiza la tarea. Dichas herramientas y métodos de medición tienen asociadas una ventaja y desventaja; pero en ocasiones suelen generar mucha incertidumbre e inexactitud si no son usadas correctamente o si no cuentan con un certificado de calibración vigente.

Empresas con más recursos usan equipos modernos, caros, delicados y precisos como una estación total. Este equipo que es usado en el campo de la arquitectura, ingeniería civil y en Geología, posee sensores muy precisos, miras láser y sistema de posicionamiento computarizados; algunos llegan hasta a tener GPS incorporado. Sin embargo, requieren de personal calificado para su manipulación y su costo de alquiler resulta elevado, lo que genera costos elevados y largas jornadas de trabajo para terminar la medición. Estos métodos: El uso de plomada y wincha; y el uso de estación total, más allá de sus ventajas y desventajas de exactitud y costo, también pueden asociar peligros de seguridad cuando la embarcación es de grandes dimensiones y las condiciones de trabajo no son las adecuadas. Dichos peligros pueden poner en riesgo la vida de los trabajadores.

Es necesario evaluar otros métodos que garanticen la exactitud, la seguridad, reducir costos y tiempos de trabajo. Es por ello por lo que en esta tesis se propone la

fotogrametría, que es un conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales se deduce de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones de este, como alternativa.

1.3. Formulación del problema

1.3.1 Problema principal

¿Se puede considerar a la fotogrametría como una alternativa de medición válida en comparación al uso de una estación total para el proceso de obtención de medidas de un casco en la industria naval peruana actual?

1.3.2 Problemas secundarios

- ¿Qué tan exacto es el uso de la fotogrametría como método de obtención de medidas de la forma de un casco en la industria naval peruana actual haciendo uso de un smartphone?
- ¿Cuál es la diferencia del consumo de costo y tiempo del método de fotogrametría en la obtención de medidas de la forma de un casco en comparación al uso de una estación total?
- ¿El método de fotogrametría puede disminuir los riesgos de seguridad asociados al proceso de obtención de medidas de un casco en la industria naval peruana actual?

1.4. Justificación e importancia

Debido a la problemática antes descrita, es necesario evaluar la técnica de fotogrametría como una opción de metodología válida en la obtención de datos dentro de la industria naval peruana actual.

Además, es necesaria la reducción de los riesgos de seguridad asociados a los trabajos de toma de medida en astilleros y metalmecánicas, donde a veces no es posible acondicionar las zonas de trabajo o sus adyacentes, pudiendo resultar en accidentes que pueden conllevar a la muerte.

Otro factor importante por el que se realiza este estudio es verificar la reducción del gasto de recursos y la simplicidad de la técnica, la cual podría permitir que no solo grandes empresas puedan usarla como opción de método de trabajo, sino también personas,

aficionados, empresas pequeñas y hasta estudiantes de ingeniería que tengan que realizar estudios de ingeniería inversa o la reproducción de modelos a escala para simulaciones variadas.

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Estudiar comparativamente el uso del método de fotogrametría aplicado con un smartphone respecto al uso de una estación total a partir de una muestra de medidas de un casco obtenidas de una embarcación de 20 de eslora.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar la exactitud de las medidas obtenidas con método de fotogrametría usando un smartphone respecto al uso de una estación total.
- Comparar el consumo de los recursos como dinero, personal y tiempo del método de fotogrametría respecto al uso de una estación total.
- Comparar y evaluar los riesgos de seguridad asociados al proceso de obtención de medidas del casco de una embarcación de 20m usando fotogrametría respecto al uso de una estación total.

1.6. Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

El método de fotogrametría aplicado con un smartphone puede usarse como una alternativa válida de medición comparada con el uso de una estación total debido a las ventajas asociadas al procedimiento.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Las diferencias o errores obtenidas del levantamiento de medidas del casco de una embarcación de 20m de eslora haciendo uso de la fotogrametría con un smartphone y una estación total, son insignificantes.

- El uso de la fotogrametría en el proceso de levantamiento de medidas del casco de una embarcación de 20m de eslora consume menos recursos en comparación a la obtención de medidas usando una estación total.
- El método de fotogrametría en comparación al uso de una estación total reduce los riesgos de seguridad asociados al levantamiento de medidas del casco en una embarcación de 20m de eslora

1.7. Variables y operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
V. Dependiente: Y1: Estudio comparativo	Observación de dos o más cosas para analizar diferencias o similitudes. (Reyes, 2009)	Comparar las dimensiones del casco con estación total y fotogrametría usando indicadores cuantitativos.	<ul style="list-style-type: none"> • Exactitud del método de Fotogrametría respecto al método con estación total. • Consumo de recursos. • Seguridad del procedimiento de toma de medidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis estadísticos (correlación y concordancia) • Tiempo usado. • Personal requerido • Costos del proceso • Grado del riesgo de seguridad.
V. Independiente: X1: Medición con el método de fotogrametría.	Definir dimensiones y forma de un objeto mediante fotografías. (Wolf & Ghilani, 2016)	Levantar medidas del casco con fotos y estación total.	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de calibración de la cámara. • Intensidad de iluminación del ambiente. • Cantidad de marcas o targets colocados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de calibración. • Condiciones ambientales. • Tamaño mínimo de muestra.
X2: Medición con estación total.	Medición del casco usando estación total y fotogrametría (nivel y orientación). (Leica Geosystems, 2009)	Obtener medidas con puntos de estación total y cámaras fotográficas.	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel del piso en cada estación. • Incertidumbre de la medición. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel en cada cambio de estación. • Especificaciones técnicas y calibración.

1.8. Metodología de la investigación

1.8.1 Unidad de análisis

El objeto estudiado serán las dimensiones de la posición de cada marca ubicada en el casco de una embarcación pasajera de apoyo logístico de 20m de eslora, manga de 4.5m, 2.1m de puntal y de 10Tn de desplazamiento a un calado de 1.0m; cuya función es la de transportar pasajeros y avituallamiento.

Figura 8

Embarcación de apoyo logístico utilizada



1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación

El tipo de investigación es aplicada porque busca comparar métodos de medición para proporcionar una solución práctica a la industria naval peruana. La investigación se enfoca en la evaluación de la fotogrametría como una alternativa viable al uso de una estación total para medir las dimensiones de embarcaciones, con el objetivo de mejorar la eficiencia y seguridad en la toma de medidas. Los resultados se aplicarán directamente en el contexto de la ingeniería naval peruana, lo que caracteriza la investigación como aplicada.

El enfoque de investigación es cuantitativo porque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a través de instrumentos de medición electrónicos, como la estación total y la fotogrametría con un smartphone. Se busca comparar la precisión de ambos métodos mediante el uso de estadísticas, evaluando la concordancia y correlación de las medidas obtenidas. Este enfoque permite realizar un análisis objetivo

de las diferencias entre las dos técnicas de medición, centrándose en aspectos cuantificables como la exactitud, el tiempo y los recursos utilizados en la toma de dimensiones de la embarcación.

El nivel de investigación es correlacional. Se busca identificar la relación entre dos métodos de medición (fotogrametría con un smartphone y estación total) en términos de precisión, consumo de recursos y seguridad. Este tipo de estudio busca establecer si existe una correlación significativa entre las variables cuantificadas, como el nivel de exactitud en las mediciones y la eficiencia de cada método, sin buscar establecer relaciones de causa-efecto directas.

1.8.3 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es experimental. La investigación realiza un experimento controlado donde se aplican ambos métodos (fotogrametría y estación total) a una misma embarcación de 20 metros para obtener medidas. Se analizan y comparan los resultados obtenidos bajo condiciones controladas, lo que caracteriza al diseño como experimental, ya que implica la manipulación de variables (los métodos de medición) y la observación de sus efectos sobre las medidas obtenidas.

1.8.4 Fuentes de información

Las fuentes de información usadas fueron manuales de usuario (de la estación total Leica TS02, así como del software Agisoft Metashape), tesis sobre casos previos, libros y artículos científicos en versiones físicas como digitales.

1.8.5 Población y muestra

Se imprimieron 120 marcas o targets (población) que fueron generados en el software Agisoft Metashape, cada una con un código que es capaz de ser reconocido por el software durante el procesamiento de imágenes. Dos marcas se descartaron por sufrir daños durante la toma de medidas y al no ser reconocidas.

Los resultados que se obtienen con las marcas son longitudes, por lo tanto, son valores cuantitativos. El margen de error relativo que se considera obtener es de 1% y la

probabilidad de éxito o fracaso para nuestro estudio es de 50%. Entonces, el cálculo para la selección de la muestra corresponde al de una población finita con una confianza del 95%.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + (Z^2 \cdot p \cdot q)}$$

Donde:

N: Tamaño de la población.

Z: Parámetro asignado al nivel de confianza (para 95%, Z=1.96).

e: Margen de error en porcentaje.

p: Probabilidad de éxito.

q: Probabilidad de fracaso.

Aplicado al presente estudio, el tamaño de la muestra mínima que se debe considerar es de 116.57. Sin embargo, se usará la muestra poblacional completa al tener un valor cercano al mínimo de muestra calculado requerido.

1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica: Observación directa

- Observación de las dimensiones de la embarcación utilizando dos métodos distintos: estación total y fotogrametría con smartphone.

Instrumentos de recolección de datos:

- **Estación total:** Instrumento electrónico usado para medir ángulos y distancias con alta precisión, empleado para obtener las dimensiones exactas de la embarcación.
- **Cámara fotográfica:** Utilizada junto con un smartphone para capturar imágenes de la embarcación desde diferentes ángulos.
- **Software Agisoft Metashape:** Programa utilizado para procesar las imágenes obtenidas y generar modelos tridimensionales mediante fotogrametría, permitiendo la medición precisa de las dimensiones del casco.

1.8.7 Análisis y procesamiento de datos

- Comparación cuantitativa de las medidas obtenidas por la estación total y el método fotogramétrico, evaluando la precisión, similitudes y diferencias.
- Análisis estadístico utilizando índices de correlación y concordancia para determinar la consistencia entre ambos métodos de medición.
- Procesamiento de imágenes mediante el software Agisoft Metashape para obtener modelos tridimensionales a partir de las fotografías capturadas.
- Organización y clasificación de los datos recolectados, incluyendo tiempos de medición, precisión, y consumo de recursos, para compararlos entre ambos métodos.
- Generación de gráficos y tablas que representen las diferencias en precisión, costos y eficiencia de los dos métodos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

2.1.1 Uso de la estación total Leica TS02

La estación total es el instrumento usado más común en trabajos de mapeo y medición en actividades de construcción de todo tipo de infraestructuras debido a la versatilidad que brinda al combinar las funciones de un teodolito para medición de ángulos y un láser para la medición de longitudes. Es capaz de medir con alta precisión la ubicación relativa de cualquier punto discreto en el espacio que se encuentre en su rango de visión.

Para la estación Leica TS02, la precisión de medida en una distancia máxima de 500m sin uso de prisma es de (2mm+2ppm) según el estándar ISO-17123-4, lo cual lo vuelve un instrumento muy fiable.

Figura 9

Estación total Leica



Nota: fuente Leica Geosystems. (2009)

Para realizar mediciones con una estación total, se debe posicionar el equipo en un sistema de coordenadas definido por lo menos tres puntos dispuestos alrededor del objeto

a medir y que a su vez permitirán señalar la ubicación de la estación total respecto a los otros puntos de referencia. Una de las aplicaciones que resulta útil es el estacionamiento libre, el cual permite trabajar con las geometrías conocidas de los bloques de un buque para facilitar la alineación del buque respecto al sistema coordinado del barco.

Figura 10

Uso de estación total en la industria naval peruana

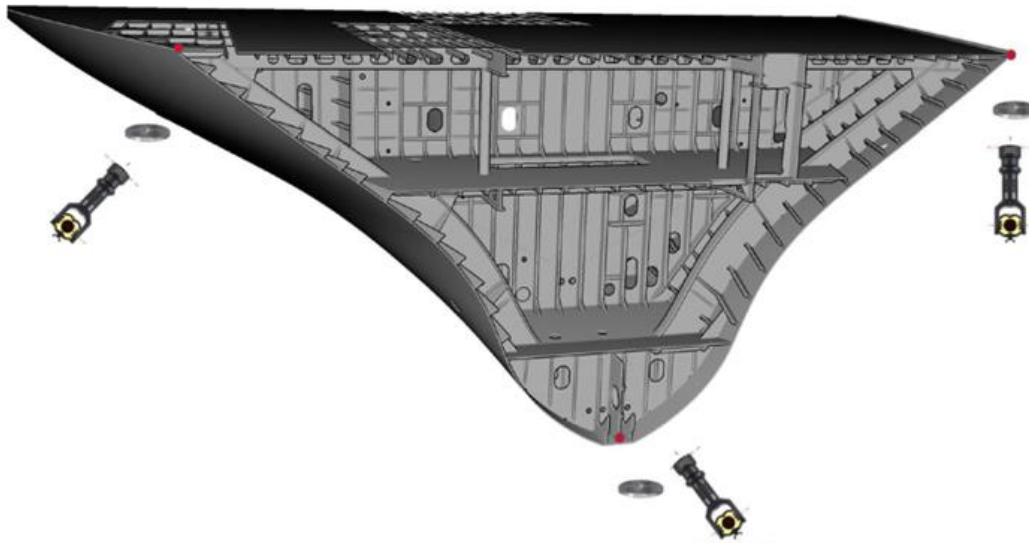


Otra ventaja que brinda este equipo es la medición repetitiva, cuando se requiere reajustar la alineación a lo largo del tiempo. En vez de empezar nuevamente y tener que referenciarse a geometrías conocidas del buque, se puede usar tres objetivos marcados y definidos previamente para estacionarse libremente (método inverso). (Berglund, et al., 2021)

La obtención de medidas se realizó en las instalaciones de SIMA CALLAO, dentro del patio de ensamble norte el día 12/12/2022 a las 15:00 horas. Se escogió esa fecha y horario debido a que se dieron las condiciones apropiadas para la toma de medidas mediante el método de fotogrametría.

Figura 11

Vista de las referencias definidas en el bloque del buque para obtener dimensiones generales y el alineamiento



Nota: fuente Berglund et al (2021)

El manual de usuario de Agisoft Metashape no recomienda realizar la captura de fotografías a una hora en la que haya excesiva iluminación, neblina, oscuridad; porque dichas condiciones contribuyen a obtener fotografías que no se pueden procesar correctamente además de perjudicar el análisis. Las medidas tomadas con el método de estación total se realizaron la misma fecha, posterior a la obtención de datos mediante fotogrametría.

La embarcación se ubicó sobre bloques de concreto y cuñas de madera con apoyo del taller de maniobristas, de modo que permita un barrido de fotos de acuerdo con lo recomendado en el manual de usuario de Metashape. Se procuró posicionar la embarcación con la menor escora y trimado posible con ayuda de un inclinómetro.

En la planificación para la toma de medidas, se estimó la impresión de ciento veinte (120) stickers los cuales también se mencionarán como dianas, marcas o targets. Estas marcas fueron obtenidas del software Metashape y posteriormente se pegaron a lo largo del casco de lado estribor de la embarcación. Se consideró la simetría en la embarcación desde el plano de crujía, entonces es suficiente tomar medidas en una sola banda del casco para obtener la superficie de toda la embarcación. De estos ciento veinte puntos, se

seleccionó una muestra de marcas con sus coordenadas para evaluar la exactitud del método de fotogrametría en comparación al método de estación total.

Previamente a la realización del trabajo se identificaron los peligros y riesgos asociados a las actividades a realizarse durante la obtención de medidas, en el siguiente ítem se muestra la matriz IPERC para ambos métodos.

2.1.1.1 Procedimiento para caracterizar el casco de una embarcación usando la estación total Leica TS02

Para iniciar con el levantamiento de medidas se siguió la siguiente secuencia:

- a) Luego de identificar la zona de trabajo y los peligros se procede a pegar las dianas en zonas específicas del casco. Se ubican en las cuadernas, las cuales pueden ser identificadas por el relieve generado al soldar las planchas de casco al refuerzo transversal. La mayor cantidad de dianas se ubicó en la zona de proa debido a que dicha superficie tiene características más complejas.
- b) En el patio de ensamble norte, reconoce la zona donde serán ubicados los puntos que servirán de estaciones y desde los cuales se debe observar la mayor cantidad de dianas a medida que se desplace de estación en estación. En este estudio se define cinco puntos de referencia hacia el lado estribor de la embarcación lo que en topografía se conoce como una poligonal abierta.
- c) El equipo de estación total registró y guardó en su memoria las cinco estaciones de la poligonal y escogió dianas en proa y popa para definir el sentido de las direcciones en la embarcación; así los datos que se obtienen para cada diana estarán definidos en base a esa orientación.
- d) Se escoge el método invertido a medida que se cambia de estación. Este método de topografía basado en la triangulación permite que, al trasladarse entre estaciones, se recupere el mismo sistema de referencia a partir de volver a referenciarse con por lo menos otras dos estaciones.

- e) Se levantaron las medidas de todas las dianas colocadas en el casco en orden. Dichas medidas fueron almacenadas en el equipo, convertidas a coordenadas cartesianas y exportadas a una tabla Excel.
- f) De acuerdo con el manual de usuario de la estación Total Leica TS02, la tolerancia de las medidas obtenidas con este equipo tiene un valor de (2mm +2pmm), con lo que se puede garantizar la exactitud de las medidas reales tomadas a lo largo de la embarcación. Estos datos se tomarán como el patrón de referencia real a ser comparado con las medidas obtenidas con el método de fotogrametría. (Leica Geosystems, 2009).

Figura 12

Obtención de coordenadas de cada punto colocado a lo largo del casco



2.1.1.2 Coordenadas (x, y, z) generadas usando la estación total Leica TS02

Los datos de la Tabla 2. corresponden a las coordenadas de cada marca (target o diana) colocada en el casco de la embarcación, las cuales al inicio no están orientadas, pero después de traslaciones y rotaciones terminan orientadas de la siguiente manera: Coordenada “x” – al sentido longitudinal, coordenada “y” – al sentido transversal y coordenada “z” en el sentido de las alturas. El sistema de referencia de la nube obtenida

no se encuentra contenida en algun plano de referencia de la embarcación, incluso se encuentra rotado. La marca 119 se definió como la referencia de coordenadas para comparar medidas (punto 0,0,0).

Tabla 2

Coordenadas obtenidas mediante el método de estación total

SECUENCIA	MARCA	ESTACIÓN TOTAL			
		Orden	Diana #	x(mm)	y(mm)
1	1	1	19369.9	-66.4	1548.9
2	2	2	19237.3	-10.5	1301.8
3	3	3	19069.7	-71.7	991.0
4	4	4	18895.0	-155.7	677.6
5	5	5	18646.6	-160.7	409.2
6	6	6	18662.3	-76.8	647.3
7	7	7	18669.9	-256.7	1002.2
8	8	8	18675.2	-243.3	1257.9
9	9	9	18677.2	-628.0	1507.6
10	10	10	18186.8	-959.8	1582.7
11	11	11	18180.3	-813.7	1379.9
12	12	12	18177.2	-87.0	1208.0
13	13	13	18186.9	-116.6	621.4
14	14	14	18159.8	-246.9	367.7
15	15	15	18152.1	-425.8	180.9
16	16	16	18147.5	-531.4	-15.4
17	17	17	18149.6	-838.4	-226.7
18	18	18	17892.5	-955.8	-445.7
19	19	19	17648.3	-1012.6	-393.2
20	20	20	17648.1	-67.1	-202.9
21	21	21	17518.0	-57.3	-569.0
22	24	24	17646.9	-250.2	-38.7
23	25	25	17658.5	-196.0	171.9
24	26	26	17662.7	-354.7	401.7
25	27	27	17677.0	-477.9	584.0
26	28	28	17685.2	-683.1	873.2
27	29	29	17690.2	-884.7	1158.5
28	30	30	17697.9	-1031.2	1376.2
29	31	31	17143.7	-60.9	-627.7
30	32	32	17133.7	-198.9	-506.9
31	33	33	17149.3	-85.6	-203.6
32	34	34	17159.5	-278.9	-8.7
33	35	35	17160.4	-365.4	89.0
34	36	36	17161.4	-445.6	200.5
35	37	37	17161.3	-521.3	306.9
36	38	38	17175.3	-677.9	541.0
37	39	39	17198.3	-865.4	835.1
38	40	40	17189.5	-1074.0	1136.6
39	41	41	16648.7	-150.3	-527.6

40	42	16664.3	-170.9	-261.9
41	43	16665.5	-431.6	-68.6
42	44	16668.6	-534.8	21.7
43	45	16676.2	-642.6	163.0
44	46	16672.2	-713.4	262.3
45	47	16680.1	-862.8	503.8
46	48	16677.7	-1051.9	809.2
47	49	16678.1	-1231.9	1106.2
48	50	15663.7	-90.2	-566.9
49	51	15649.1	-170.0	-438.4
50	52	15662.5	-431.0	-275.7
51	53	15670.4	-743.2	-140.2
52	54	15662.3	-845.2	-75.9
53	55	15672.5	-994.7	88.7
54	56	15675.9	-1055.1	179.5
55	57	15685.5	-1214.8	500.9
56	58	15689.8	-1341.2	754.3
57	59	15698.7	-1467.5	1020.9
58	60	15702.7	-1618.0	1333.9
59	61	15161.3	-963.7	-118.6
60	62	15171.9	-1118.3	33.0
61	63	15180.9	-1191.1	138.8
62	64	15195.2	-1345.7	502.8
63	65	15197.3	-1446.3	722.5
64	66	14686.9	-1070.2	-160.6
65	67	14687.3	-1240.4	10.3
66	68	14691.9	-1296.3	100.3
67	69	14687.5	-1377.4	306.8
68	70	14688.7	-1459.9	515.9
69	71	14693.7	-1532.3	710.3
70	72	14698.0	-1651.9	1024.6
71	73	14697.0	-1754.6	1295.3
72	74	13680.9	-1217.8	-242.9
73	75	13687.0	-1396.6	-63.9
74	76	13688.5	-1451.1	28.1
75	77	13690.2	-1564.3	377.8
76	78	13698.5	-1659.7	685.0
77	79	13694.2	-1770.2	1037.9
78	80	13699.8	-1841.6	1270.2
79	81	12722.8	-1334.8	-298.5
80	82	12702.0	-1507.2	-129.0
81	83	12700.0	-1561.2	-35.2
82	84	12707.5	-1671.2	365.8
83	85	12699.3	-1753.6	666.2
84	86	12701.8	-1835.2	959.2
85	87	12698.9	-1912.2	1245.7
86	88	10700.4	-1546.9	-290.5
87	89	10699.3	-1678.5	-119.8
88	90	10703.4	-1727.5	70.7

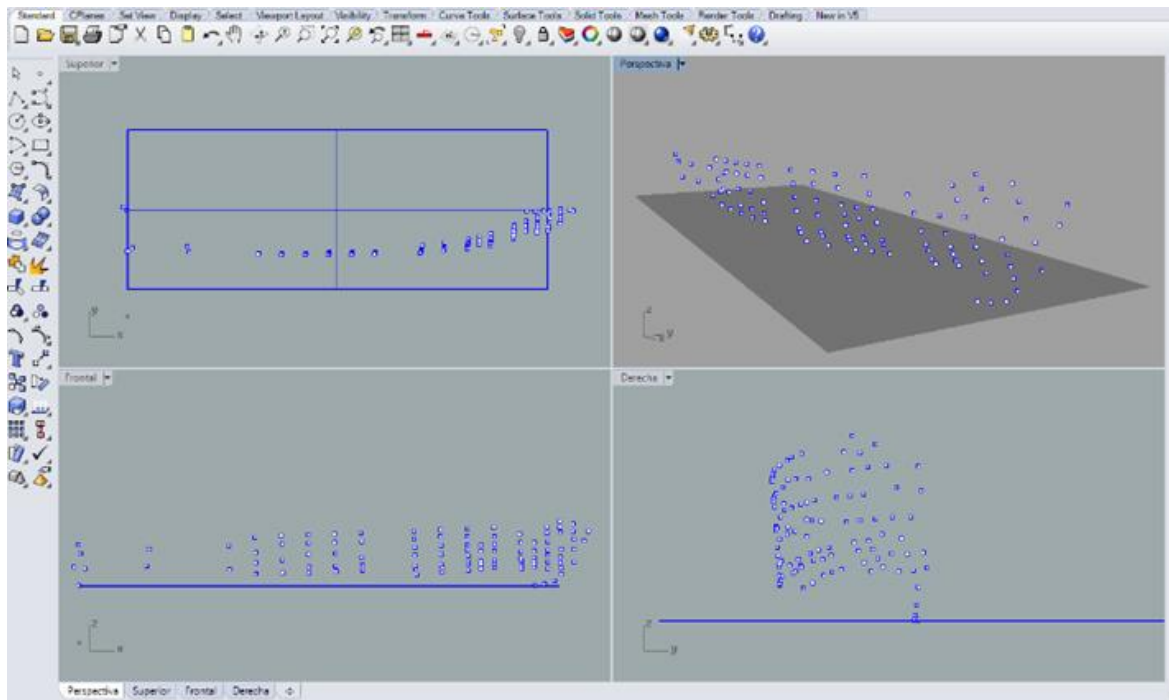
89	91	10701.4	-1799.0	354.3
90	92	10711.8	-1944.7	941.4
91	93	10703.1	-2020.7	1245.9
92	94	9715.3	-1703.1	-138.2
93	95	9716.2	-1755.0	65.4
94	96	9711.1	-1870.9	529.9
95	97	9713.2	-1974.0	939.9
96	98	9718.4	-2047.3	1229.4
97	99	8714.8	-1722.8	-141.1
98	100	8708.8	-1774.8	66.6
99	101	8711.3	-1893.4	532.2
100	102	8719.2	-1994.8	938.0
101	103	8717.9	-2067.8	1232.5
102	104	7709.7	-1743.7	-130.2
103	105	7716.7	-1865.5	352.7
104	106	7712.1	-2010.6	936.2
105	107	7713.8	-2085.7	1237.5
106	108	6703.9	-1753.7	-104.6
107	109	6715.8	-1847.5	283.2
108	110	6718.0	-1945.4	654.3
109	111	6717.5	-2096.5	1232.5
110	112	5714.5	-1789.3	69.2
111	113	5724.6	-2021.2	938.2
112	114	2730.5	-1774.4	270.3
113	115	2730.0	-1974.4	929.1
114	116	264.9	-1695.9	351.7
115	117	133.6	-1896.5	906.1
116	118	62.9	-2010.3	1208.7
117	119	0.0	0.0	0.0
118	120	-163.0	-11.6	709.3

2.1.1.3 Obtención de nube de puntos

Los puntos guardados fueron exportados a formato Excel, con lo cual se obtiene una nube de puntos que permite tener una idea de la superficie de la embarcación y que, de ser suficientes, podrían ayudar a generar las formas de la embarcación.

Figura 13

Vistas de la nube de puntos obtenidos mediante el método de estación total utilizando nube de puntos



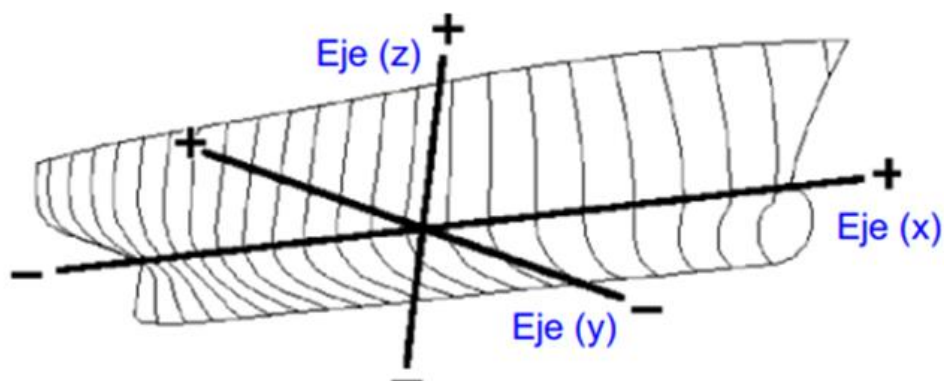
2.1.2 Representación o caracterización de las formas de un buque

2.1.2.1 Ejes de referencia en arquitectura naval

Las formas asociadas a un buque se representan en un plano cartesiano, con tres ejes ortogonales entre sí. La ubicación del origen de coordenadas y el sentido (signo) en el que se extienden las dimensiones dependerá del tipo de tarea que se esté realizando.

Figura 14

Ejes de referencia para la definición de las formas de un buque



Nota: fuente Manual de usuario Maxsurf Modeler versión 20 (2013)

El origen de los ejes se ubica en el plano simétrico de crujía y dependiendo de la tarea a realizar, se puede ubicar en cualquier punto a lo largo de la extensión longitudinal del buque ya sea en la proa, popa o la sección media. Para casos prácticos de cálculo se define en la sección media (centro de la extensión longitudinal de buque).

- Hacia el sentido " $+x$ " se extiende la proa del buque y hacia " $-x$ " se extiende la popa.
- Hacia el sentido " $+y$ " se extiende la manga estribor del buque y hacia " $-y$ " la manga babor.
- Hacia el sentido " $+z$ " se incrementa la altura del buque desde la quilla hasta la cubierta.

El sentido y signo de las dimensiones en los ejes " x " o " y " puede variar de acuerdo con el criterio del diseñador o proyectista. (Bentley Systems, 2013).

2.1.2.2 Plano de línea de forma

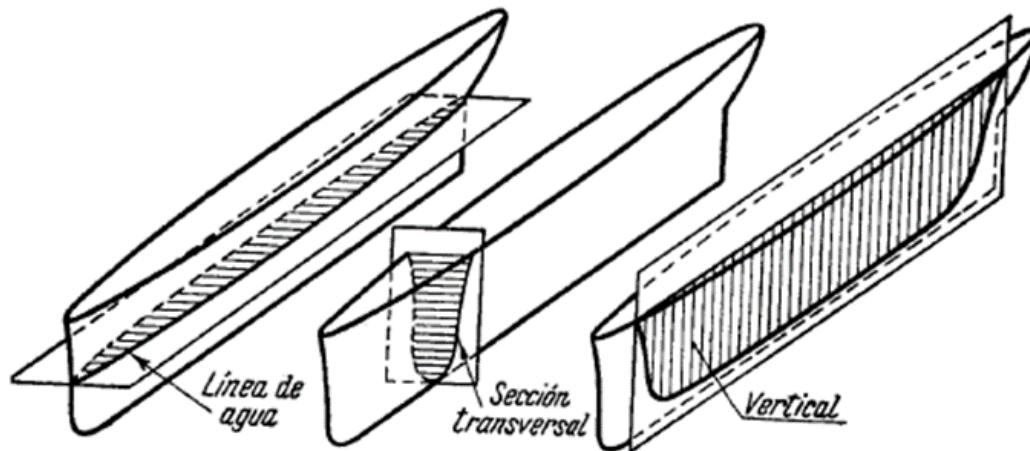
La presentación convencional de forma tridimensional de la superficie de un casco en un buque es el plano de líneas o dibujo de líneas. Esta muestra las principales curvas y contornos en tres vistas en tres vistas ortográficas tomadas a lo largo de los ejes principales de un barco.

- **Vista de planta, plano base o plano de líneas de flotación:** Plano que pasa por la quilla o línea base, en ella se registra las coordenadas verticales de todas las proyecciones de planos de flotación a lo largo del puntal del casco del buque.
- **Vista de secciones transversales o plano transversal:** Sobre este plano se proyectan ortogonalmente las secciones transversales del casco en sentido longitudinal (a lo largo de toda la eslora).

Vista longitudinal o plano diametral o plano de crujía: En este plano se proyectan ortogonalmente todos los cortes longitudinales a lo largo de la semi manga del buque, estas líneas de corte se conocen como finos. Existe simetría en el casco a través de este plano.

Figura 15

Muestra de secciones y planos de referencia



Nota: fuente Mandelli (1986)

Por convención, en el plano de cuerpo se proyectan los contornos de proa y popa por separado, disponiendo las dos vistas longitudinales resultantes simétricamente a través de una línea centra. La selección de una posición longitudinal para dividir el buque en proa y popa es arbitraria. Para la mayoría de los barcos, es hecha desde la sección media del barco, a la mitad entre las perpendiculares de proa y popa. Para otras formas de casco puede estar al centro de la línea de flotación en la posición de máxima manga, etc.; pero debe elegirse para disminuir los cruces de contornos en la vista de plano de cuerpo (la eliminación de los cruces no es necesariamente posible; por ejemplo, la parte más anchas del casco y la parte más profunda a menudo no estarán en la misma posición longitudinal).

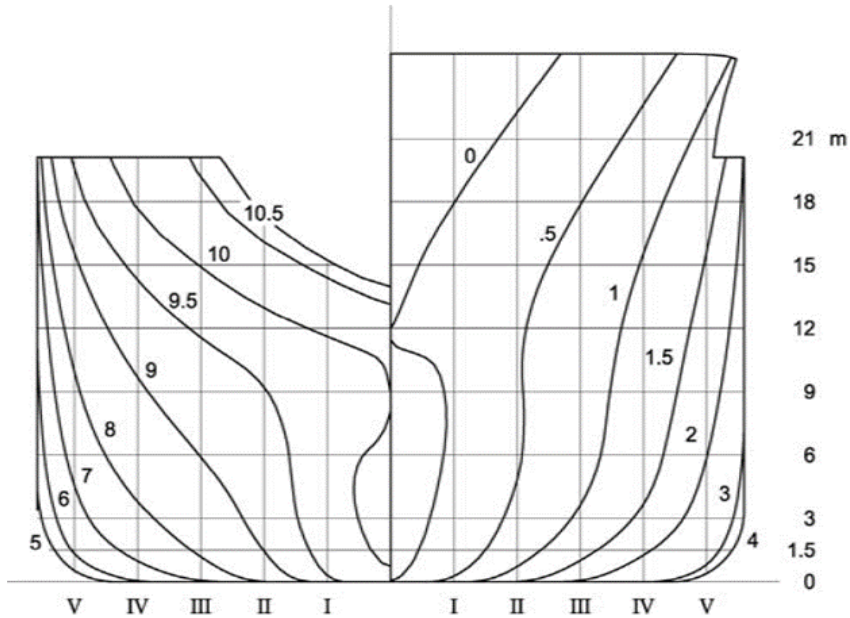
Las líneas que se muestra en el plano de línea de formas son generalmente las mismas en las tres vistas y consisten en lo siguiente:

- **Curvas principales:** Típicamente líneas límite para la superficie o superficies principales del casco; por ejemplo, línea de corte, cubierta lateral, perfil de proa, alefriz, contornos de espejo de popa, codillos (si presentan). Estos son típicamente curvas 3D no planares
- **Secciones de la superficie de casco con familia de planos paralelos a los planos principales:** planos transversales, resultan en estaciones o secciones;

planos verticales paralelos al plano central, dando como resultado líneas de fino o finos; planos horizontales, resultando en líneas de flotación.

Figura 16

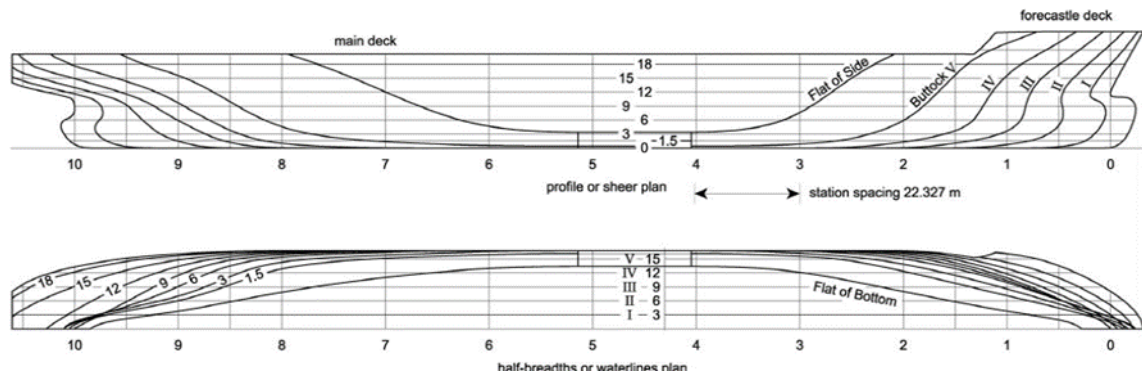
Secciones transversales en un plano de líneas de forma



Nota: fuente Halmin (1988)

Figura 17

Líneas de agua y finos en un plano de líneas de forma



Nota: fuente Halmin (1988)

Todas estas secciones se pueden clasificar como contornos, ya que son curvas de coordenadas "x", "y" o "z" constantes, respectivamente.

Las superficies representadas en el plano de líneas pueden ser del exterior del casco, del interior del casco (fuera de las cuadernas) o del interior de las cuadernas. La elección puede depender del material del casco previsto y del método de construcción. El

interior del casco es la opción habitual para la construcción de metal; de lo contrario, lo más común fuera del casco.

Existe una redundancia importante en el plano de líneas. En principio dos vistas cualesquiera son suficientes para definir una curva tridimensional. Los contornos en cualquiera de las tres vistas definen en principio la superficie. Al momento de dibujar un plano de líneas, se requiere mucho cuidado para que las tres vistas sean consistentes entre sí, dentro de una exactitud dentro de la tolerancia (Halmin, 1988).

2.1.2.3 Carenado de la gráfica de líneas

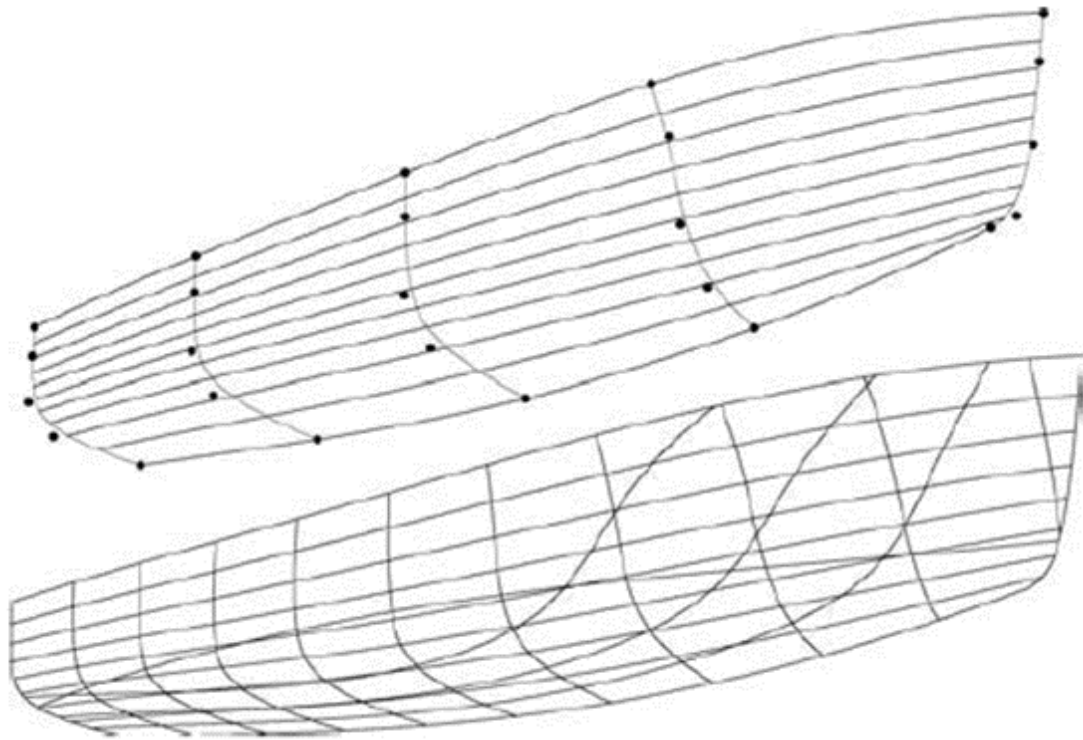
Antes del uso de las computadoras, para la definición de la superficie del casco y carenado, los planos de líneas se desarrollaron a través de procedimientos de dibujo. Aunque los métodos computarizados modernos aportan ventajas significativas, el trazado de líneas sigue siendo una práctica generalizada y, por supuesto, tiene sus firmes adeptos que sienten que es un proceso más intuitivo, creativo o artístico.

El punto de partida para el carenado de líneas puede variar considerablemente. Es común comenzar con detalles como eslora, manga, puntal, calado y desplazamiento. En este caso es usual desarrollar una curva de áreas que tengan la longitud de la eslora de flotación, el desplazamiento y el centro longitudinal de flotación escogidos, y luego dibujar el conjunto de secciones, cada una de las cuales tiene aproximadamente el área sumergida correcta para su posición longitudinal x . Por cualquiera de estos medios, se desarrolla una aproximación más o menos aproximada a las líneas previstas. Luego, las líneas son redefinidas en un proceso iterativo de limpieza gráfica, trabajando con las tres vistas. Los objetivos son:

- Traer las tres vistas en completa concordancia entre si
- Hacer que, en cada vista, las líneas sean satisfactoriamente curvas.
- Cumplir objetivos hidrostáticos como desplazamiento y centro longitudinal de flotación.
- Lograr estética visual en la apariencia de la embarcación (Halmin, 1988).

Figura 18

Generación del casco a partir del plano de líneas de forma



Nota: fuente Halmin (1988)

2.1.3 Fundamentos de fotogrametría

2.1.3.1 Definición y ventajas

Diversos autores coinciden en que la fotogrametría es un método de captura de información remota fundamentado en técnicas fotointerpretación. Esta técnica ha sido usada para el procesamiento de fotografías aéreas con el fin de generar mapas.

Entre todas las definiciones encontradas la más apropiada para el estudio de la tesis es la siguiente:

Es la técnica que tiene por objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición espacial de un objeto cualquiera usando esencialmente medidas obtenidas a partir de una o varias fotografías (Wolf & Ghilani, 2016).

Entre algunas ventajas a este método alternativo para obtención de medidas se tienen:

- Se logra conseguir información objetiva completa y detallada del objeto estudiado.

- La rapidez del método permite que datos obtenidos en el registro sean generados al instante.
- Los recursos usados en el desarrollo de este método son relativamente económicos y de fácil uso (no se requiere personal especializado para usar dichos recursos).
- El proceso de obtención de fotografías es independiente al procesamiento de datos para la obtención de información, sin afectar al objeto estudiado.
- Puede ser usado en diversos campos de estudio, así como en aplicaciones de industria.

2.1.3.2 Principios básicos

El principio básico utilizado en fotogrametría es la triangulación y la visión estereoscópica. Al tomar fotografías desde al menos dos ubicaciones diferentes o durante una secuencia de fotografías traslapadas entre ellas, se puede generar una visión estereoscópica desde cada cámara hasta puntos del objeto. Estas líneas de visión se cruzan matemáticamente para producir coordenadas tridimensionales de los puntos de interés. La triangulación, en asociación con la paralaje estereoscópico, es también el principio usado por el teodolito para definir coordenadas entre puntos observados y medir la distancia entre ellos. Existen similitudes y diferencias entre el método fotogramétrico y el uso de un teodolito. Para el mejor entendimiento se definen los conceptos básicos.

a. Triangulación

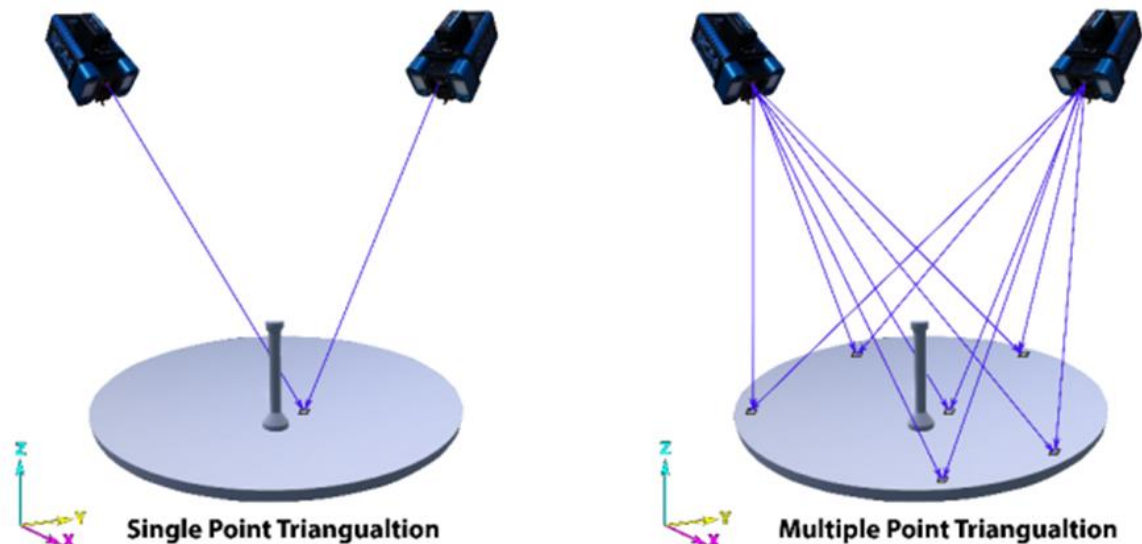
Es el proceso que usa la fotogrametría mediante el cual, haciendo uso de líneas de intersección, puede ubicar un punto en un espacio tridimensional. Esto es posible conociendo la orientación de la cámara en el espacio a partir de todas las imágenes almacenadas. Antes de esto, debe calibrarse la cámara para que los errores puedan eliminarse.

La triangulación no es usada solamente en la fotogrametría, este método que usa principios matemáticos es usado desde años por los teodolitos para obtener medidas de coordenadas tridimensionales. La matemática involucrada con la triangulación usa líneas

que convergen en el espacio para obtención de medidas y reconocimiento de puntos. La diferencia entre la triangulación usada con teodolitos y la fotogrametría es que la segunda puede triangular múltiples puntos simultáneamente (Geodetic Services, Inc., 2017).

Figura 19

Triangulación con uno y múltiples puntos usando fotogrametría



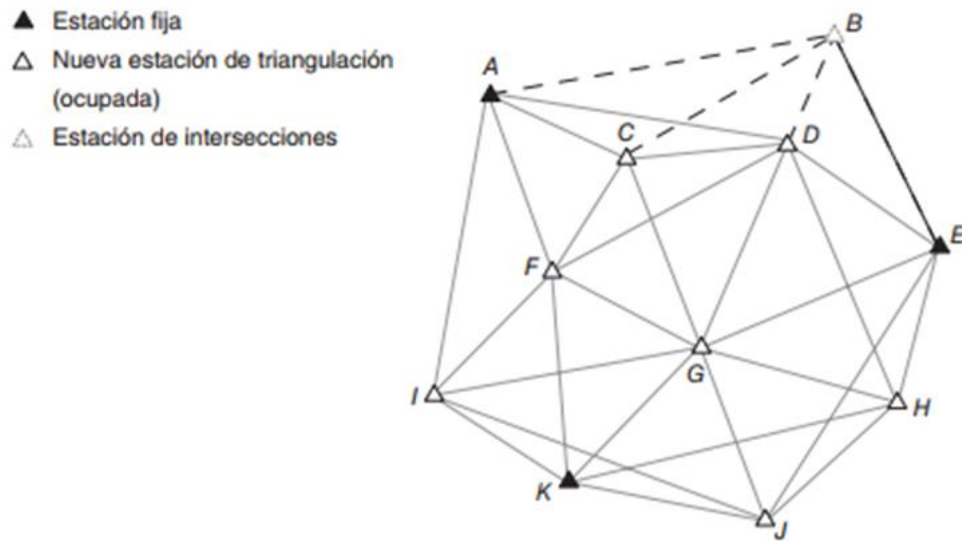
Nota: Fuente Basics of photogrammetry, Geodetic services inc. (2017)

El nombre de este método proviene del uso de triángulos para la medición de ángulos horizontales y un número de líneas base que permiten que después de cálculos trigonométricos, se obtenga la ubicación de los vértices (también llamadas estaciones). El uso de triángulos en mayor cantidad genera figuras más complejas las cuales reciben el nombre de “cadenas de cuadriláteros”.

La triangulación tiene en cuenta diversas condiciones de cierre, así como comprobaciones inherentes, las que permiten identificar errores obtenidos al momento de tomar datos de campo y comprobar la posición de los puntos por cálculos independientes en el caso de la comprobación de cálculos; esto hace que se incremente la precisión y exactitud de las medidas.

Figura 20

Red de triangulación para levantamiento de control de una superficie



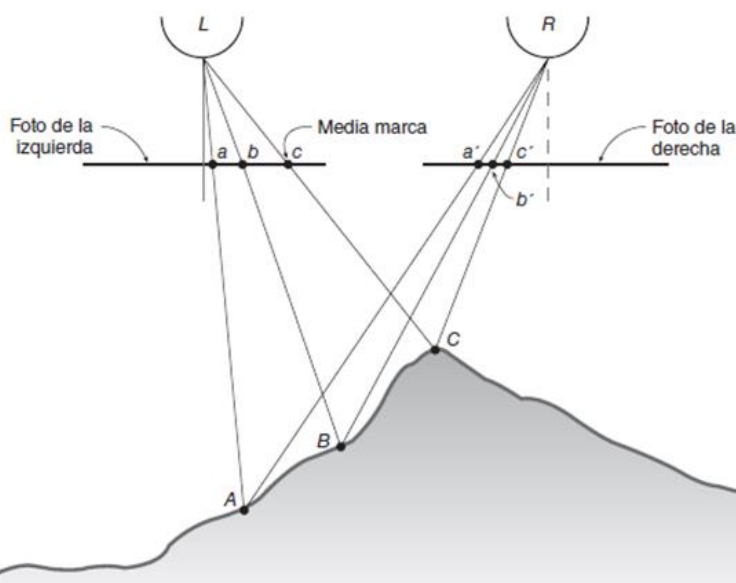
Nota: fuente Topografía, P. Wolf, C. Ghilani, Editorial. Alfaomega 14 Ed.

b. Visualización estereoscópica

Es la forma de percibir los objetos de forma tridimensional mediante la vista. Este proceso necesita de la visión binocular, es decir, que requiere el uso de ambos ojos y es producto de la representación mental cuando cada ojo observa imágenes en distintas perspectivas de un mismo objeto.

Figura 21

Efecto de la visualización estereoscópica

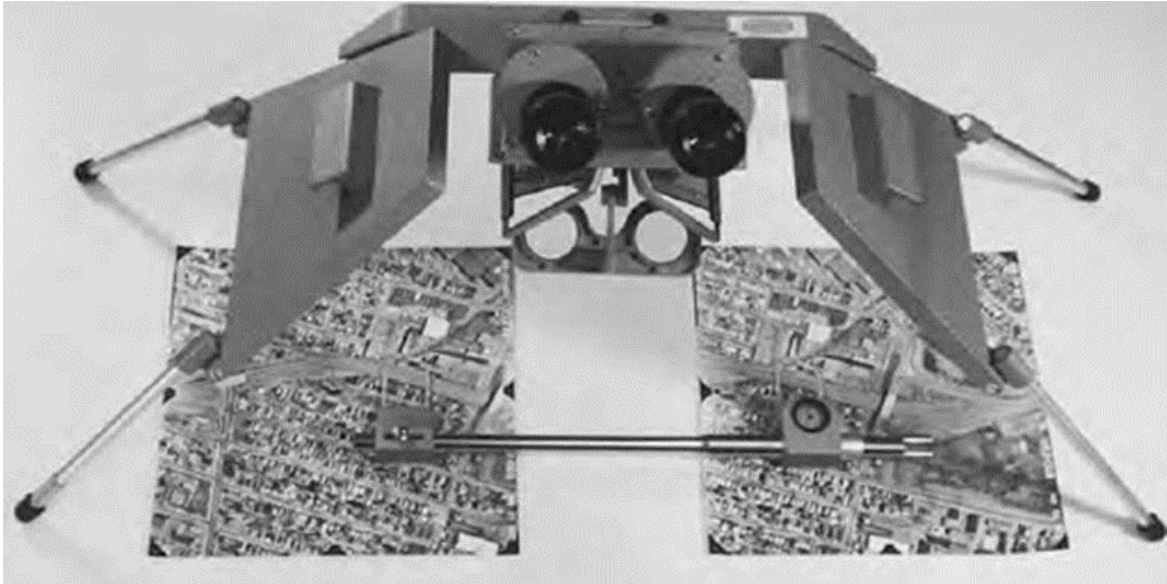


Nota: fuente Topografía, P. Wolf, C. Ghilani, Editorial. Alfaomega 14 Ed.

Existen equipos que reciben el nombre de estereoscopios, los cuales generan el efecto de visión estereoscópica haciendo uso de fotografías tomadas con un porcentaje mínimo de traslape ente ellas (Wolf & Ghilani, 2016).

Figura 22

Estereoscopio analógico



Nota: fuente Topografía, P. Wolf, C. Ghilani, Editorial. Alfaomega 14 Ed.

c. Paralaje estereoscópica

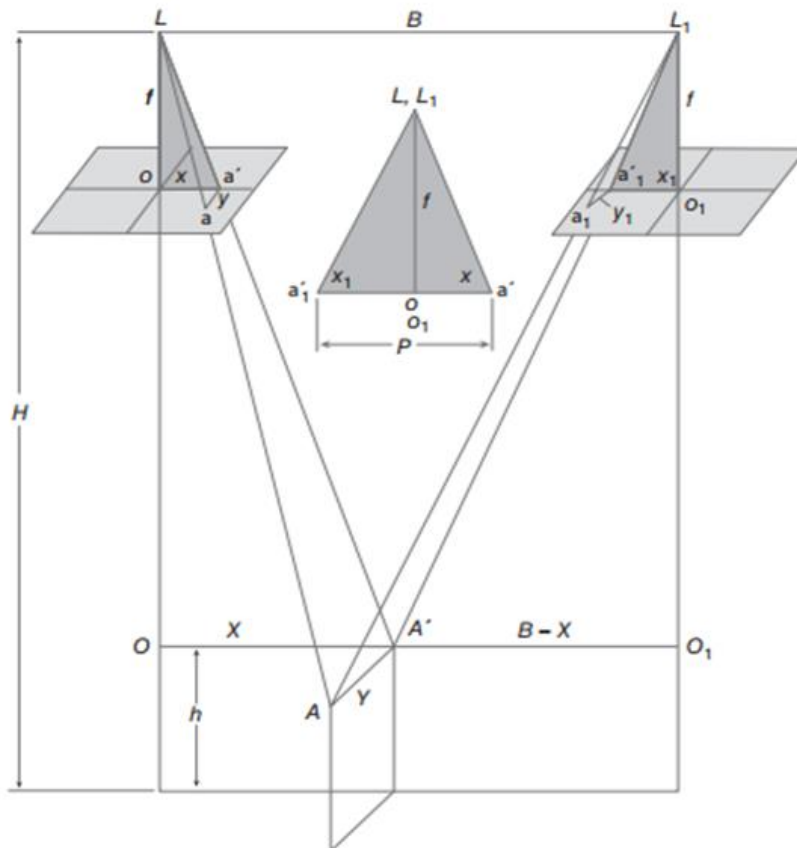
Efecto visual del cambio de posición de un objeto respecto a un plano de referencia, a causa del desplazamiento del punto de observación (cámara). Ejemplo de lo antes mencionado sucede cuando se observa a través de una cámara durante el vuelo de un avión para registrar información de la superficie de la tierra. La paralaje de un punto es resultado de su altura respecto al plano focal del cámara generado a lo largo de la dirección del vuelo, lo que permite un medio para calcular la elevación de dicho punto a partir de la semejanza de triángulos y con ello, las coordenadas topográficas de los puntos observados.

En la imagen mostrada a continuación se observa dos puntos de observación L y L_1 (también llamados estaciones) contenidos en un mismo plano desde los que se capturaron dos imágenes de un relieve de manera secuencial y superpuesta. Se pueden obtener las coordenadas $(X; Y)$ a partir del análisis de semejanza entre los triángulos

generados con la distancia focal de la cámara “f”, la longitud entre estaciones “B”, la paralaje de la cámara “p”, la altura a la que se encuentran las estaciones “H”, la elevación del punto sobre el mismo plano de referencia y de las medidas del triángulo generado con los puntos del objeto que se están observando (Wolf & Ghilani, 2016).

Figura 23

Relación estereoscópica de paralaje



Nota: fuente Topografía, P. Wolf, C. Ghilani, Editorial. Alfaomega 14 Ed.

De dicha relación se obtienen los siguientes resultados:

$$X = \frac{B}{p} x$$

$$Y = \frac{B}{p} y$$

2.1.4 Agisoft Metashape

De acuerdo con lo descrito en la página de Metashape, es un software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos

espaciales en 3D para su uso en aplicaciones GIS (Sistemas de Información Geográfica), documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas. El uso correcto de la técnica de fotogrametría con el apoyo de un computador trae como resultado un procesamiento inteligente de una gran cantidad de datos con resultados precisos y de calidad.

Puede triangular varios tipos de imágenes ya sean aéreas o de corto alcance y la capacidad de calibrarse automáticamente con varios tipos de lentes de cámara. Además, genera nubes de puntos densos para editarlos posteriormente y texturizados fotorealistas (Metashape, 2024).

2.1.5 Criterios para la validación del análisis de datos

Para validar los datos relacionados con las medidas, se analizará las muestras para identificar si existe correlación, es decir si existe una relación lineal entre los dos métodos de medición. Asimismo, evaluará la concordancia, es decir el grado de acuerdo o proximidad entre dos mediciones. La concordancia y algunos criterios adicionales permitirá concluir si un método de medición usando fotogrametría puede considerarse intercambiable con el de estación total.

Para el cálculo de los recursos usados con ambos métodos se hará uso de un cuadro simple comparativo que permitirá observar cuál de los métodos consumió más recursos como dinero, tiempo, mano de obra, etc.

Para evaluar la seguridad de ambos procesos se construirá una matriz de identificación y evaluación de riesgos la cual permitirá comparar en base a una escala de valoraciones, cuál de los procesos expone al trabajador a más peligros.

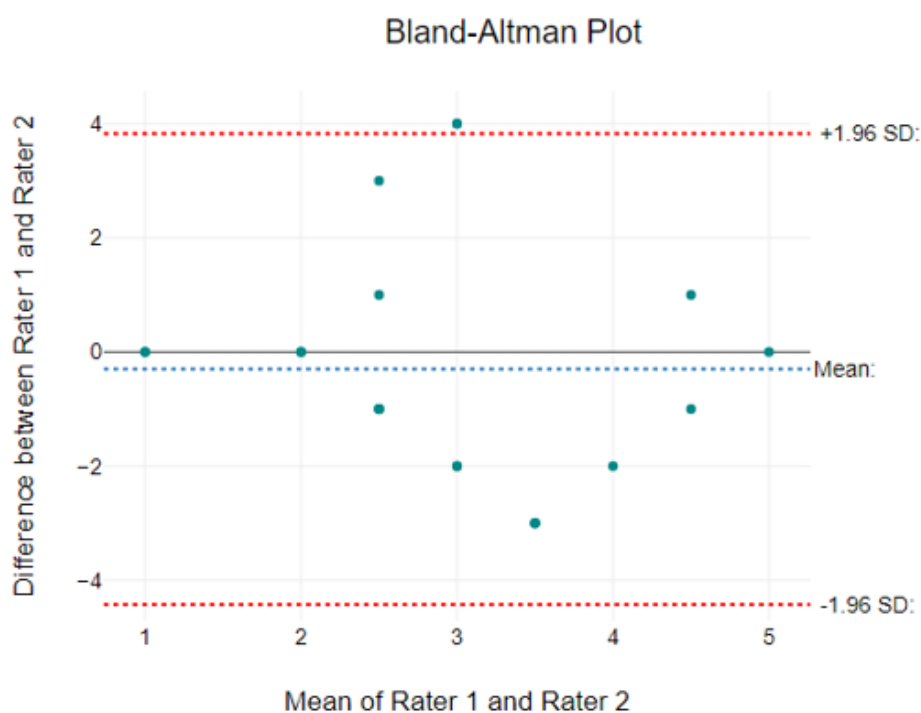
2.1.5.1 Diagrama de Bland - Altman

Herramienta estadística de comparación visual que fue usada en un principio en el campo de la medicina. Permite evaluar la concordancia de dos métodos de medición que registran valores de la misma naturaleza con distintos equipos sin que el tipo de distribución sea impedimento para encontrar un resultado. Consiste en un diagrama de dispersión de la media de las diferencias entre los dos métodos de medición versus la diferencia de

medidas obtenidas con ambos métodos. Se trazan líneas conocidas como límites de concordancia del 95%, las cuales están definidas desde la media de las diferencias (error sistemático), hasta una longitud de 1.96 veces la desviación estándar sobre y debajo de dicho error sistemático. El método de Bland Altman deja en el criterio del investigador si los resultados y diferencias encontradas pueden ser causal de considerar ambos métodos intercambiables (Bland & Altman, 1986).

Figura 24

Gráfico de Bland Altman para muestras dispersas



Nota: fuente <https://datatab.es/tutorial/bland-altman-plot>

2.1.5.2 Índice de estabilidad (IE)

Informa cuan estable es el proceso calculando el porcentaje de la cantidad de puntos dentro de los límites de concordancia (+/- 1.96σ). De ser al menos 95%, esto sugiere la probabilidad de que cualquier punto de la muestra se encuentre dentro de los sesgos con un 95% de probabilidad, sugiriendo la concordancia. (Gutierrez & De la Vara, 2009)

$$IE = \frac{\text{Cantidad de puntos entre } +/-1.96\sigma}{\text{Cantidad de puntos total}} \times 100$$

2.1.5.3 Coeficiente de Spearman (ρ)

Es una medida no paramétrica que indica la correlación entre dos muestras. Mide el grado de asociación entre dos variables clasificadas entre un rango de +1 y -1, donde:

$(\rho)=+1$ implica una asociación directa perfecta entre las muestras.

$(\rho)=0$ implica que no hay asociación entre las muestras.

$(\rho)=-1$ implica una asociación inversa entre las muestras.

Para el cálculo del coeficiente ρ es independiente de la naturaleza de la distribución de las muestras (Miller & Jane, 2002).

Para su obtención se hace uso del siguiente cálculo:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

D: es la diferencia entre los rangos de las variables correspondientes.

n: número de observaciones.

2.1.5.4 ISO 8666 - Tolerancias

Es una norma internacional que define las características y medidas principales de las embarcaciones de recreo y pequeñas embarcaciones. Esta norma establece los términos y definiciones relacionados a las características principales de las embarcaciones de hasta 24m de eslora.

En el capítulo de tolerancias se establece los márgenes permitidos de variación en las dimensiones y características especificadas en una embarcación para garantizar que las medidas de las embarcaciones sean precisas y consistentes, permitiendo comparaciones fiables entre diferentes modelos y fabricantes.

La Tabla 3 muestra las tolerancias lineales en embarcaciones rígidas, se establece un 1% de tolerancia de las dimensiones nominales respecto a las reales para considerar que la embarcación cumple con los estándares. Estas tolerancias aseguran que las medidas sean precisas, pero también prácticas en la fabricación, permitiendo pequeñas

variaciones que no afecten significativamente el rendimiento o la seguridad de la embarcación. (Organización Internacional de Estandarización, 2016)

Tabla 3

Porcentaje de tolerancias máximas aceptables en las dimensiones de una embarcación según ISO 8666

Datos publicados	Tolerancia ($\pm\%$)
Dimensiones lineales, embarcación rígida	± 1
Dimensiones lineales, botes inflables	± 2.5
Áreas de vela	± 5
Desplazamiento	± 10

Nota: Ciertos datos críticos (por ejemplo, la manga máxima o la masa al ser remolcada) afectarán las tolerancias permitidas. La tolerancia positiva no se aplica en estos casos. Traducido de ISO 8666 (2016)

2.1.5.5 ISO 13920 – Tolerancias generales en construcciones soldadas

Especifica las tolerancias para la soldadura, esta norma esta aplicada a construcciones metálicas soldadas para garantizar la calidad (incluidas embarcaciones), con los requisitos técnicos, la intercambiabilidad y adecuación de piezas soldadas en la industria.

A continuación, en la Tabla 4 se muestran tolerancias constructivas para dimensiones lineales aplicadas a en construcciones navales. (Organización Internacional de Estandarización, 1997)

Tabla 4

Rango de tolerancias dimensionales aceptables según su clase (ISO 13920)

Clase de tolerancia	Rango de tamaños nominales 1, en mm										
	2 a 30	> 30 a 120	> 120 a 400	> 400 a 1000	> 1000 a 2000	> 2000 a 4000	> 4000 a 8000	> 8000 a 12000	> 12000 a 16000	> 16000 a 20000	> 20000
Tolerancia t, en mm											
A		± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8	± 9	± 9
B		± 1	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
C	± 1	± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 15	± 18	± 21	± 24	± 27
D		± 4	± 7	± 9	± 12	± 16	± 21	± 27	± 32	± 36	± 40

Nota: ISO 13920 (1997)

2.2. Marco conceptual

Complementando el fundamento teórico, se agregan definiciones que permitirán la mejor comprensión del análisis

2.2.1 Estadísticos muestrales

Los siguientes conceptos son usados para la investigación objeto de estudio, adicionales a los contrastes estadísticos (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010):

- a) **Media muestral:** También conocido como la media aritmética o promedio, es la cantidad total de la variable (muestra o medida) distribuida a partes iguales entre cada observación. En términos matemáticos, es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n i}{n}$$

- b) **Desviación estándar (σ , S):** Es el promedio de lejanía de los valores obtenidos (lecturas) respecto del promedio. Indica que tan dispersos están los datos de la muestra respecto a la media muestral. A menor valor de la desviación estándar, quiere decir que los valores de la muestra tienen cercanía a la media.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- c) **Significancia:** También conocido como nivel de confianza (α), indica el nivel o grado de fiabilidad en los resultados de un análisis.

2.2.2 Dimensiones del casco de una embarcación

Las dimensiones principales para las formas del casco una embarcación son las siguientes (Babicz, 2015)

- a) **Eslora:** Distancia horizontal desde proa hasta popa desde determinada altura entre cortes perpendiculares transversales.
- b) **Manga:** El ancho moldeado de lado a lado fuera de las cuadernas, pero dentro del revestimiento de la carcasa.
- c) **Puntal:** Es la distancia medida en la mitad de un barco desde la parte superior de la quilla hasta la cubierta continua más alta por el costado.

2.2.3 Recursos

Son los elementos usados de una empresa para poder llevar a cabo las operaciones cotidianas y lograr las metas establecidas. Pueden ser máquinas, programas de computadora, dinero, personas, tiempo (BBVA, 2024).

2.2.4 Matriz de evaluación de riesgos de seguridad

Cuadro o matriz el que se describe las actividades asociadas a un proceso de trabajo, así como los riesgos y peligros asociados a cada actividad con la finalidad de asignarles una escala de valores que permitirá mitigar y controlar los peligros y lesiones en los trabajadores (Ministerio de trabajo y promoción del empleo, 2013)

2.2.5 Estudio comparativo

También llamado análisis comparativo, es el acto de observar dos o más cosas para descubrir sus relaciones o estimar sus diferencias, semejanzas y refutar hipótesis o teorías. (Reyes, 2009)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Procedimiento para la obtención de medidas del casco de una embarcación usando el método de fotogrametría con un smartphone

Se usaron las mismas dianas (marcas codificadas) que se colocaron durante el levantamiento por el método de estación total para comparar la ubicación de los puntos con el método de fotogrametría. No es necesario el uso de muchas dianas para la obtención de medidas del casco ya que con al menos dos dianas se referencia y escala el modelo fotografiado.

En la investigación objeto de estudio, se usa una mayor cantidad de dianas para comparar estadísticamente las medidas con las obtenidas por el método de estación total.

Figura 25

Impresión de marcas o dianas usadas para codificar y reconocer los puntos en las fotografías capturadas



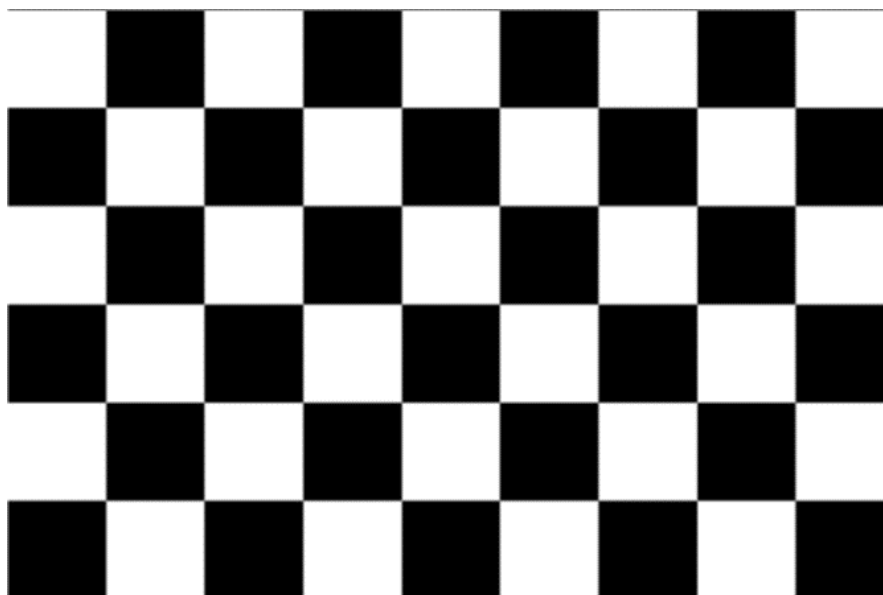
Todo el proceso de captura de fotos fue realizado según las recomendaciones del manual de usuario de Agisoft Metashape versión profesional 1.6. (Agisoft LLC, 2020)

- a) La cámara usada para el estudio pertenece a un REDMI 09 con opción de cámara profesional. La resolución mínima que exige el software Metashape es de 5 Megapíxeles, sin uso de gran angular y con una distancia focal entre 20 a 80 mm.
- b) Se realizó la calibración de la cámara usando el tablero de ajedrez que brinda el software. Previamente se seleccionaron los ajustes de la cámara apropiados a las condiciones de iluminación en las que se encuentra la embarcación: ISO en valor bajo, velocidad de obturador alta, máxima resolución de imagen, archivo de imagen RAW. Los ajustes de la cámara no deben ser cambiados durante todo el proceso.

Los resultados de la calibración de la cámara se muestran en el anexo B.

Figura 26

Impresión de marcas o dianas usadas para codificar y reconocer los puntos en las fotografías capturadas

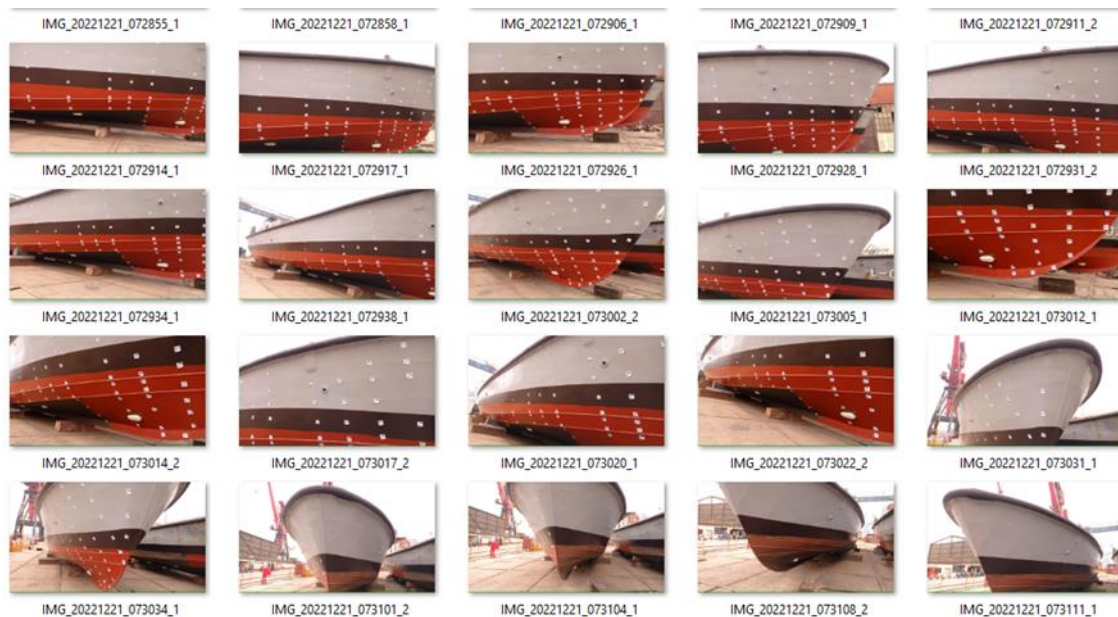


Nota: fuente Agisoft Metashape Versión 1.6

- c) Se realizan fotografías al casco desde un punto del patio procurando que cada imagen contenga la mayor cantidad de dianas foto tras foto (traslape entre fotos mayor al 50%). Se repite la secuencia a medida que se cambia de posición de observación procurando capturar la mayor cantidad de superficie del casco incluidas las dianas.

Figura 27

Muestra de una parte de las fotografías obtenidas y almacenadas



- d) Se registraron y guardaron las imágenes obtenidas para el procesamiento posterior en gabinete usando el software. Las imágenes pueden guardarse en archivo JPG o RAW, esta última es más pesada en comparación con la JPG, pero ambas pueden generar los mismos resultados si el procedimiento se realizó correctamente.

3.1.1 Procesamiento de fotografías con software Metashape y generación de nube de puntos

Las fotografías obtenidas fueron procesadas en el formato JPG. El espacio de trabajo fue configurado con los mismos parámetros con los que se calibró la cámara antes de la toma de fotos. Después de seguir la secuencia de acuerdo con el manual de usuario de Metashape y agregar textura final, se obtiene una nube de puntos densa de toda la superficie que contiene a las marcas pegadas, la nube de puntos generada se puede observar en el anexo C. Las coordenadas de la nube de puntos de las marcas adhesivas se transformaron con traslaciones y rotaciones, y fue escalada respecto a la distancia entre un par de puntos de referencia dando como resultado las coordenadas de la Tabla 5.

En el anexo D se muestra la superficie renderizada generada con las medidas obtenidas con el método de fotogrametría como muestra de una de tantas aplicaciones que

pueden ser aprovechadas. La generación de dicha superficie no es parte del presente estudio.

3.1.2 Coordenadas de las marcas obtenidas usando fotogrametría

Tabla 5

Coordenadas obtenidas mediante el método de fotogrametría posterior a la traslación y rotación de ejes respecto al sistema de referencia usado con la estación total.

SECUENCIA	MARCA	FOTOGRAMETRÍA		
		Orden	Diana #	x(mm) y(mm) z(mm)
1	1	19378.0	-63.7	1554.7
2	2	19229.3	-13.7	1298.6
3	3	19079.2	-63.6	992.1
4	4	18903.1	-147.6	678.4
5	5	18638.1	-167.5	404.1
6	6	18664.3	-71.7	648.4
7	7	18675.9	-247.9	1010.1
8	8	18676.9	-237.5	1266.0
9	9	18672.5	-633.4	1504.7
10	10	18193.4	-955.5	1584.8
11	11	18185.2	-812.2	1379.2
12	12	18188.2	-79.1	1214.9
13	13	18181.4	-124.0	624.1
14	14	18167.0	-244.7	376.4
15	15	18157.2	-424.9	188.0
16	16	18157.0	-528.5	-10.2
17	17	18143.0	-841.3	-234.3
18	18	17891.3	-960.6	-452.0
19	19	17657.0	-1007.5	-390.4
20	20	17641.3	-67.9	-203.1
21	21	17517.4	-64.1	-571.9
22	24	17639.6	-253.2	-45.8
23	25	17656.7	-202.8	164.0
24	26	17671.1	-351.9	410.7
25	27	17683.0	-471.8	594.0
26	28	17682.9	-687.2	873.2
27	29	17687.2	-886.2	1164.3
28	30	17697.9	-1028.2	1384.1
29	31	17147.5	-52.1	-617.9
30	32	17140.0	-193.6	-503.8
31	33	17151.7	-84.1	-196.8
32	34	17164.6	-269.3	-0.1
33	35	17154.1	-373.5	85.8
34	36	17165.7	-438.1	206.3
35	37	17170.2	-513.9	312.6
36	38	17172.5	-685.7	538.4
37	39	17204.3	-863.7	837.8

38	40	17179.9	-1083.3	1132.3
39	41	16652.4	-147.2	-526.3
40	42	16668.6	-168.6	-255.8
41	43	16672.7	-428.2	-69.9
42	44	16667.6	-535.4	17.6
43	45	16669.6	-643.9	153.6
44	46	16681.8	-709.9	270.3
45	47	16683.3	-856.7	511.7
46	48	16687.2	-1044.8	810.7
47	49	16673.7	-1232.1	1103.3
48	50	15661.0	-92.8	-567.9
49	51	15646.1	-179.7	-443.8
50	52	15672.1	-426.7	-268.6
51	53	15679.6	-737.6	-136.2
52	54	15662.9	-841.5	-71.4
53	55	15663.3	-996.3	84.0
54	56	15685.0	-1045.8	183.0
55	57	15681.0	-1214.9	492.5
56	58	15692.2	-1335.3	762.6
57	59	15702.3	-1461.1	1021.0
58	60	15705.1	-1611.0	1335.7
59	61	15164.3	-963.5	-108.9
60	62	15169.9	-1124.9	31.1
61	63	15186.2	-1187.5	139.1
62	64	15187.2	-1348.0	496.4
63	65	15204.0	-1438.8	728.8
64	66	14689.0	-1063.7	-154.8
65	67	14684.7	-1249.2	5.7
66	68	14700.7	-1286.5	105.9
67	69	14686.9	-1377.6	304.6
68	70	14695.1	-1455.7	519.0
69	71	14687.5	-1532.9	702.1
70	72	14694.0	-1652.7	1021.3
71	73	14706.6	-1748.6	1299.3
72	74	13686.6	-1213.3	-240.0
73	75	13690.1	-1395.3	-56.8
74	76	13693.9	-1446.2	28.2
75	77	13683.3	-1566.7	372.2
76	78	13705.4	-1657.3	692.0
77	79	13700.3	-1763.7	1038.7
78	80	13700.0	-1837.3	1274.4
79	81	12728.4	-1328.0	-290.4
80	82	12706.8	-1506.8	-123.9
81	83	12701.3	-1557.3	-31.0
82	84	12702.2	-1681.0	360.9
83	85	12690.4	-1758.3	660.0
84	86	12706.6	-1834.7	962.8
85	87	12705.1	-1909.5	1247.1
86	88	10708.6	-1545.2	-289.6

87	89	10697.6	-1681.3	-123.6
88	90	10711.7	-1718.5	71.1
89	91	10709.5	-1783.7	354.7
90	92	10702.4	-1950.7	936.0
91	93	10704.0	-2019.0	1255.6
92	94	9722.6	-1700.4	-132.9
93	95	9716.7	-1748.1	72.4
94	96	9703.0	-1873.9	525.2
95	97	9721.6	-1965.2	941.8
96	98	9725.2	-2043.7	1236.7
97	99	8707.2	-1723.9	-150.3
98	100	8711.7	-1767.2	75.8
99	101	8702.0	-1902.6	531.7
100	102	8717.1	-1999.4	933.6
101	103	8723.4	-2062.2	1239.3
102	104	7710.1	-1738.3	-125.1
103	105	7726.5	-1859.2	358.4
104	106	7719.5	-2004.4	941.6
105	107	7712.5	-2096.0	1228.2
106	108	6713.7	-1748.6	-94.8
107	109	6712.4	-1852.1	273.6
108	110	6724.9	-1940.8	655.0
109	111	6725.2	-2090.8	1238.7
110	112	5709.0	-1792.7	62.5
111	113	5716.8	-2024.1	933.0
112	114	2739.3	-1772.5	275.2
113	115	2732.4	-1968.9	931.8
114	116	274.1	-1689.2	359.1
115	117	134.4	-1893.3	915.0
116	118	68.0	-2007.6	1216.7
117	119	-3.0	-7.1	-7.5
118	120	-159.4	-10.1	719.2

La Tabla 5 es resultado de la rotación y traslación de las coordenadas de los targets (dianas) pegados al casco respecto a las coordenadas del sistema de referencia de la estación total. Esta superposición se realiza con la data obtenida posterior al procesamiento de las fotos con software Metashape haciendo uso del software Rhinoceros. Previamente se escala la nube de puntos obtenida a partir de una distancia referencial entre dos dianas medidas con estación total y se superpone sobre la nube de puntos obtenidos con la estación total.

Cada coordenada de las dianas de este cuadro es el análogo correspondiente de la tabla de coordenadas con estación total. Los valores de esta tabla serán considerados

como medidas nominales, mientras que los valores de la tabla con estación total se considerarán reales debido a la exactitud del método de medición

3.2. Recursos consumidos y matriz de riesgos

3.2.1 Recursos consumidos usando el método de medición con la estación total Leica TS02

Los equipos y recursos usados durante el levantamiento de medidas con estación total se muestran la Tabla 6. El tiempo empleado se registra en las últimas filas. Los valores de los precios tienen como fuente una cotización simple de una empresa dedicada al alquiler de equipos de estación total, la información de referencia utilizada respecto a costos y recursos se encuentra en la cotización del anexo G. Los precios de herramientas básicas fueron extraídos del catálogo de la web de una tienda local.

Tabla 6

Recursos usados para la obtención de medidas usando en método de estación total.

ITEM	Cantidad	Precio unitario (S/.)
Estación Total Leica TS02	01	S/.115 por día
Personal calificado para toma de medidas	01	S/.195.5 por día
Ayudante	01	S/. 69 por día
Personal para procesar datos	01	S/.80 por día
Flexómetro	01	S/.15
Dianas o Marcas impresas	---	S/.10
Adhesivo	01	S/.5
Escalera	01	S/.20 por día
Tizas, lapiceros y tablas para registro	---	S/. 10
Licencias de software	---	---
Tiempo empleado en campo	3 horas	
Tiempo empleado en gabinete	8 horas	

3.2.2 Matriz de evaluación de riesgo con uso de la estación total Leica TS02

Tabla 7

Matriz de evaluación de riesgos asociados a la medición con la estación total Leica TS02.

IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES					IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS				EVALUACIÓN INICIAL			
Actividad	Puestos de trabajos relacionados	Tarea	Ubicación (Dentro Lugar de trabajo, fuera del lugar de trabajo)	Tipo de actividad (Rutinaria, No Rutinaria, Emergencia)	Detalle del peligro	Riesgo		Relacionado con	Probabilidad (P)	Severidad (S)	Grado de riesgo	Grado de aceptación
						Evento o exposición peligroso	Lesión y deterioro a la salud de las personas				R = P x S	
Obtención de medidas del casco de una embarcación usando el método de estación total.	Ingenieros del área de calidad	Verificar la zona de trabajo alrededor de la embarcación	Ensamble norte	Rutinario	Altos niveles de ruido en las actividades de producción	Exposición a ruido	Hipoacusia	Salud	4	2	8	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Traslado y desplazamiento con estación total en el patio de ensamble norte	Ensamble norte	Rutinario	Exposición a caída de objetos durante el desplazamiento.	Exposición a caída de objetos	Lesiones (golpes, cortes, fracturas)	Seguridad	4	10	40	No aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Traslado y desplazamiento con estación total en el patio de ensamble norte	Ensamble norte	Rutinario	Radiación solar	Exposición a la piel a radiación ultravioleta	Lesiones a la piel a largo plazo	Salud	4	4	16	No aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Traslado y desplazamiento con estación total en el patio de ensamble norte	Ensamble norte	Rutinario	Contacto con materiales, filosos o punzo cortantes, durante el desplazamiento.	Contacto con materiales, filosos o punzo cortantes.	Lesiones (golpes, cortes, fracturas)	Seguridad	4	3	12	No aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Desplazamiento alrededor de la embarcación para marcado de cuadernas	Ensamble norte	No rutinario	Objetos desordenados alrededor de la embarcación.	Tropiezo con objetos o golpes con alguna estructura de la embarcación	Golpes, fracturas, contusiones	Seguridad	3	3	9	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Desplazamiento alrededor de la embarcación para marcado de cuadernas	Ensamble norte	No rutinario	Exposición a posturas no ergonómicas, durante la actividad.	Enfermedades disergonómicas	Lumbalgias, hernias discales	Salud	2	2	4	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Desplazamiento alrededor de la embarcación para colocación de dianas adhesivas	Ensamble norte	No rutinario	Exposición a proyección de materiales, objetos, piezas metálicas.	Exposición a proyección de materiales, objetos, piezas metálicas.	Cáncer a la piel o Lesiones a la piel y ojos	Seguridad	2	2	4	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Desplazamiento alrededor de la embarcación para colocación de dianas adhesivas	Ensamble norte	No rutinario	Uso de escaleras para el pegado de dianas.	Caída de alturas mayores a 1.80m	Golpes, fracturas, contusiones	Seguridad	4	4	16	No aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Uso de laser de la estación total para obtención de medidas del casco	Ensamble norte	No rutinario	Exposición a luz laser	Exposición de los ojos al laser	Lesiones a la vista o ceguera	Salud	2	4	8	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Verificar avances de trabajos y entrega de documento	Astillero	Rutinario	Las pistas y veredas de las instalaciones de SIMA-CALLAO se encuentran deterioradas	Caídas al mismo nivel.	Lesiones	Seguridad	3	3	9	Aceptable

La Tabla 7 muestra una matriz de evaluación de identificación de peligros y evaluación de riesgos que describe las tareas involucradas durante el proceso de medición con la estación total. Estas tareas fueron valoradas de acuerdo con el instructivo de seguridad del SIMA el cual sigue los lineamientos de la ley 29783 “Ley de seguridad y salud en el trabajo”.

3.2.3 Recursos consumidos usando el método de medición con fotogrametría

Los equipos y recursos usados durante el levantamiento de medidas con el método de fotogrametría se muestran la Tabla 8. El costo del Smartphone se ha omitido al ser un equipo de fácil acceso y uso común, además, el tiempo empleado en gabinete incluye la generación de la superficie.

Tabla 8

Recursos usados para la obtención de medidas usando el método de fotogrametría.

ITEM	Cantidad	Precio unitario (S/.)
Smartphone REDMI 09	01	S/.0 (*)
Personal para toma de medidas	01	S/. 80 por día
Personal para procesamiento de datos	01	S/. 80 por día
Flexómetro	01	S/.15
Escalera	01	S/.20 por día
Tizas, lapiceros y tablas para registro	---	S/. 10
Licencias de software	---	---
Tiempo empleado en campo	0.5 hora	---
Tiempo empleado en gabinete	8 horas (**)	---

3.2.4 Matriz de evaluación de riesgo de seguridad con uso de fotogrametría

Tabla 9

Matriz de evaluación de riesgos asociados a la medición por el método de fotogrametría aplicado con cámara de smartphone REDMI 09.

IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES					IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS				EVALUACIÓN INICIAL			
Actividad	Puestos de trabajos relacionados	Tarea	Ubicación (Dentro Lugar de trabajo, fuera del lugar de trabajo)	Tipo de actividad (Rutinaria, No Rutinaria, Emergencia)	Detalle del peligro	Riesgo		Relacionado con	Probabilidad (P)	Severidad (S)	Grado de riesgo	Grado de aceptación
						Evento o exposición peligroso	Lesión y deterioro a la salud de las personas				R= P x S	
Obtención de medidas del casco de una embarcación usando el método de fotogrametría	Ingenieros del área de calidad	Traslado y desplazamiento con cámara a través del patio de ensamble norte	Ensamble norte	Rutinario	Altos niveles de ruido en las actividades de producción	Exposición a ruido	Hipoacusia	Salud	4	2	8	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Traslado y desplazamiento con cámara a través del patio de ensamble norte	Ensamble norte	Rutinario	Exposición a caída de objetos durante el desplazamiento.	Exposición a caída de objetos	Lesiones (golpes, cortes, fracturas)	Seguridad	3	3	9	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Traslado y desplazamiento con cámara a través del patio de ensamble norte	Ensamble norte	Rutinario	Radiación solar	Exposición de la piel a radiación ultravioleta	Lesiones a la piel a largo plazo	Salud	4	4	16	No aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Traslado y desplazamiento con cámara a través del patio de ensamble norte	Ensamble norte	Rutinario	Contacto con materiales, filosos o punzo cortantes, durante el desplazamiento.	Contacto con materiales, filosos o punzo cortantes.	Lesiones (golpes, cortes, fracturas)	Seguridad	4	3	12	No aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Desplazamiento alrededor de la embarcación para marcado de cuadernas	Ensamble norte	No rutinario	Exposición a posturas no ergonómicas, durante la actividad.	Enfermedades disergonómicas	Lumbalgias, hernias discales	Salud	2	2	4	Aceptable
	Ingenieros del área de calidad	Verificar avances de trabajos y entrega de documentos.	Astillero	Rutinario	Las pistas y veredas de las instalaciones de SIMA-CALLAO se encuentran deterioradas	Caidas al mismo nivel.	Lesiones	Seguridad	3	3	9	Aceptable

CAPÍTULO IV

RESULTADO, CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

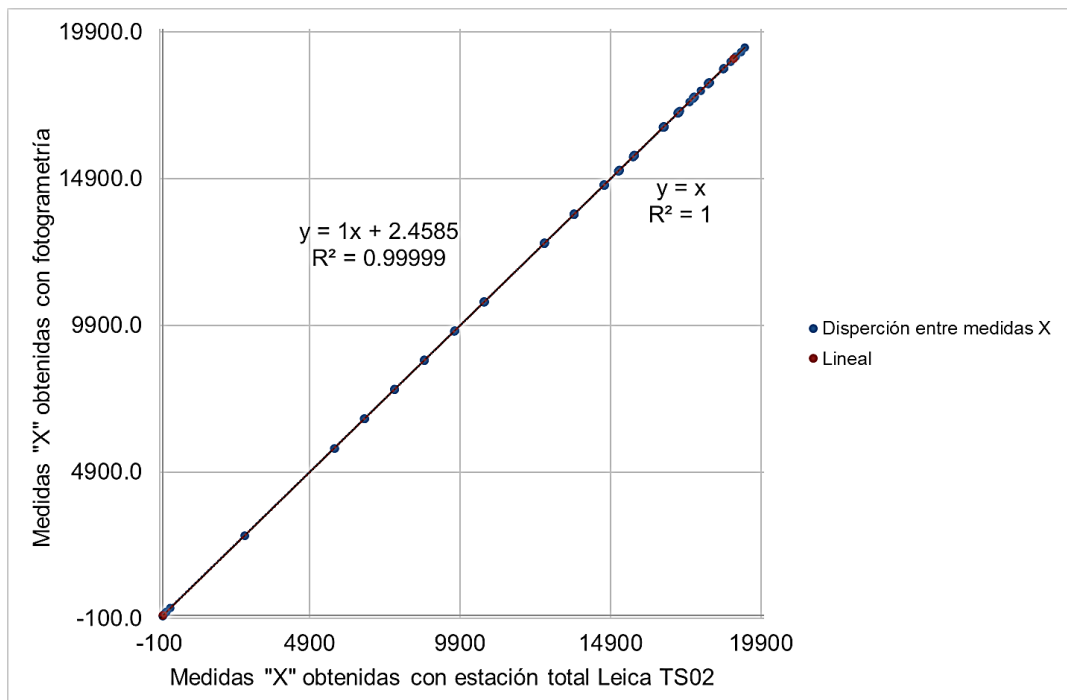
4.1. Cálculo del coeficiente correlacional de Spearman

La naturaleza de la distribución se verificó usando la prueba Kolmogorov – Smirnov, obteniéndose una distribución no normal. Esta prueba garantiza el correcto uso del cálculo rho para evaluar la correlación y el uso del gráfico Bland – Altman para concordancia. Se realizó el cálculo del coeficiente rho a las matrices conformadas por las medidas x, y, z con ayuda del software SSPS en su versión de prueba con los siguientes resultados:

- Para las coordenadas de “x”:

Figura 28

Gráfico de dispersión entre las coordenadas “x” medida con ambos métodos

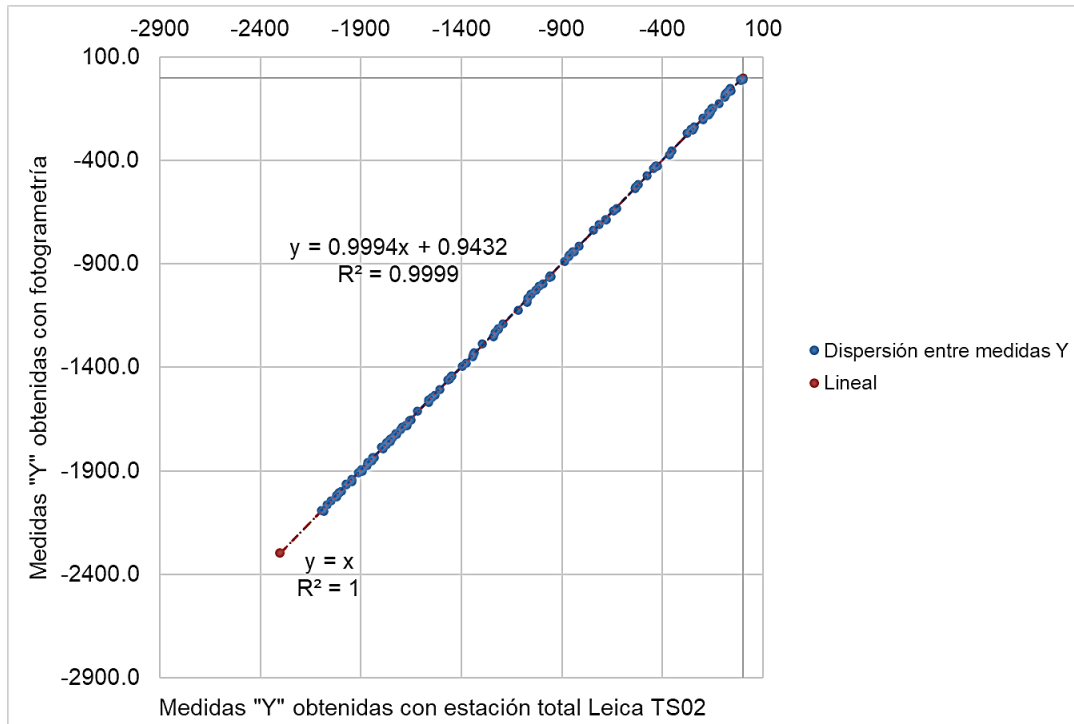


El coeficiente rho es 0.9999, lo que permite considerar una correlación lineal fuerte entre las medidas obtenidas con el método de fotogrametría y el de estación total.

- Para las coordenadas de “y”:

Figura 29

Gráfico de dispersión entre las coordenadas “y” medida con ambos métodos

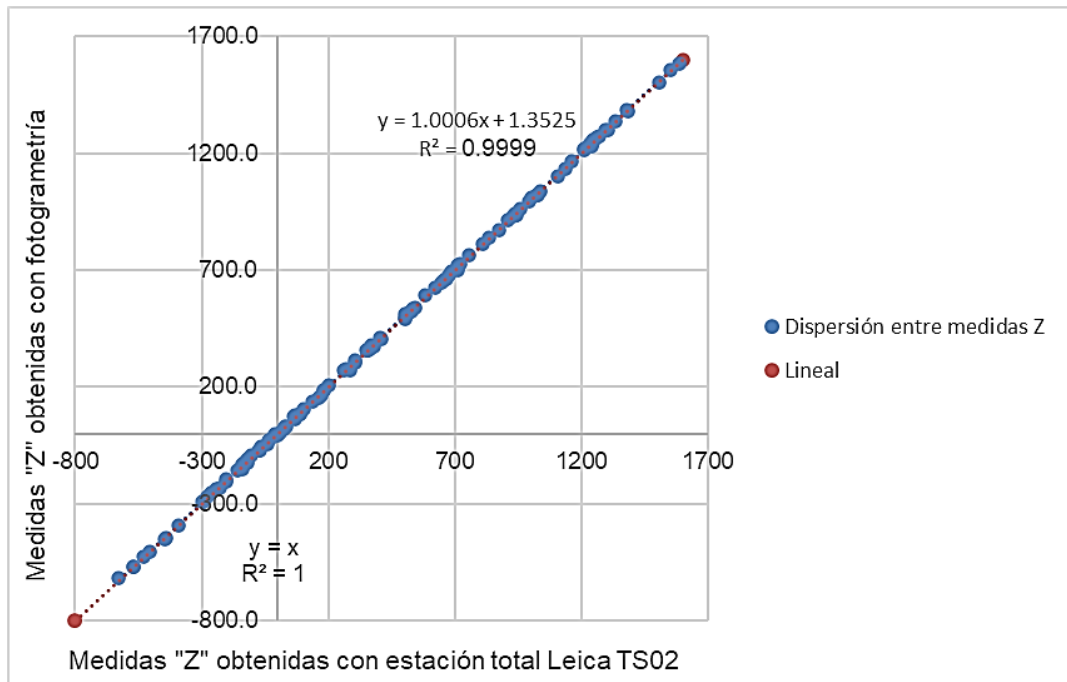


El coeficiente rho es 0.9999, lo que permite considerar una correlación lineal fuerte entre las medidas obtenidas con el método de fotogrametría y el de estación total.

- Para las coordenadas de “z”:

Figura 30

Gráfico de dispersión entre las coordenadas “z” medida con ambos métodos



El coeficiente rho es 0.9999, lo que permite considerar una correlación lineal fuerte entre las medidas obtenidas con el método de fotogrametría y el de estación total.

4.2. Diagrama de Bland Altman

- Para las coordenadas de “x”:

En la Figura 30 se muestra la dispersión de las diferencias entre las medidas de las posiciones longitudinales obtenidas con ambos métodos. La media de las diferencias es 1.902mm, la desviación estándar es 5.902mm y los límites de concordancia son -9.66mm y 13.47mm.

La media de las diferencias obtenidas permite suponer diferencias insignificantes entre ambos métodos de medición dentro de un intervalo de concordancia que contiene a casi la totalidad de puntos de muestra.

- Para las coordenadas de “y”:

En la Figura 31 se muestra la dispersión de las diferencias entre las medidas de las posiciones longitudinales obtenidas con ambos métodos. La media de las diferencias es

1.631mm, la desviación estándar es 5.359mm y los límites de concordancia son -8.874mm y 12.135mm.

La media de las diferencias obtenidas permite suponer diferencias insignificantes entre ambos métodos de medición dentro de un intervalo de concordancia que contiene a casi la totalidad de puntos de muestra.

- Para las coordenadas de “z”:

En la Figura 32 se muestra la dispersión de las diferencias entre las medidas de las posiciones longitudinales obtenidas con ambos métodos. La media de las diferencias es 1.623mm, la desviación estándar es 5.570mm y los límites de concordancia son -9.295mm y 12.541mm.

La media de las diferencias obtenidas permite suponer diferencias insignificantes entre ambos métodos de medición dentro de un intervalo de concordancia que contiene a casi la totalidad de puntos de muestra.

En las siguientes páginas se presentan las figuras 31, 32 y 33.

Figura 31

Diagrama de Bland-Altman para medidas en el eje "x"

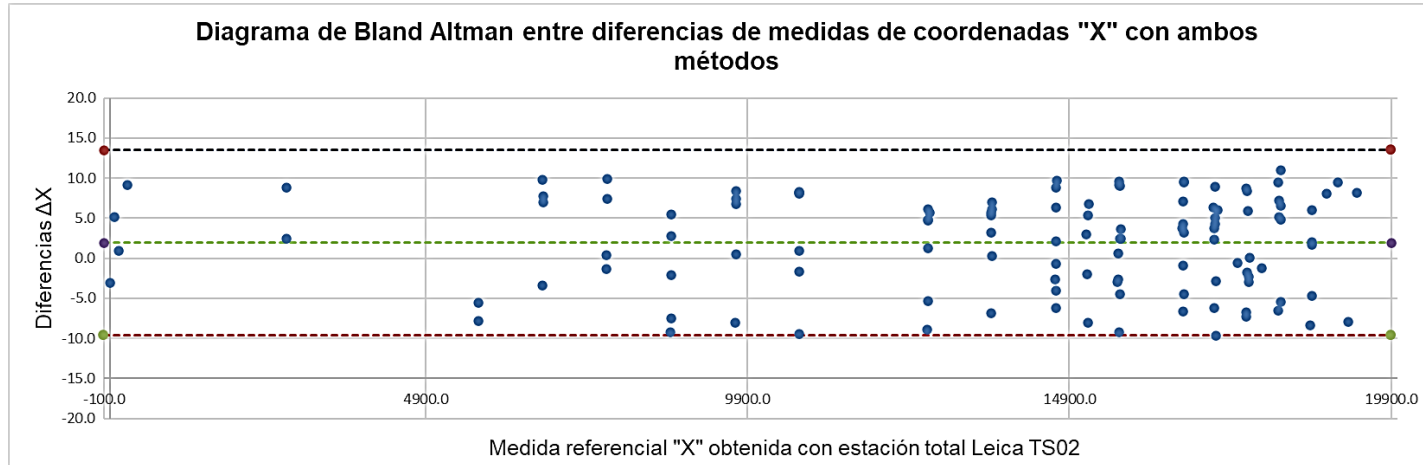


Figura 32

Diagrama de Bland-Altman para medidas en el eje "y"

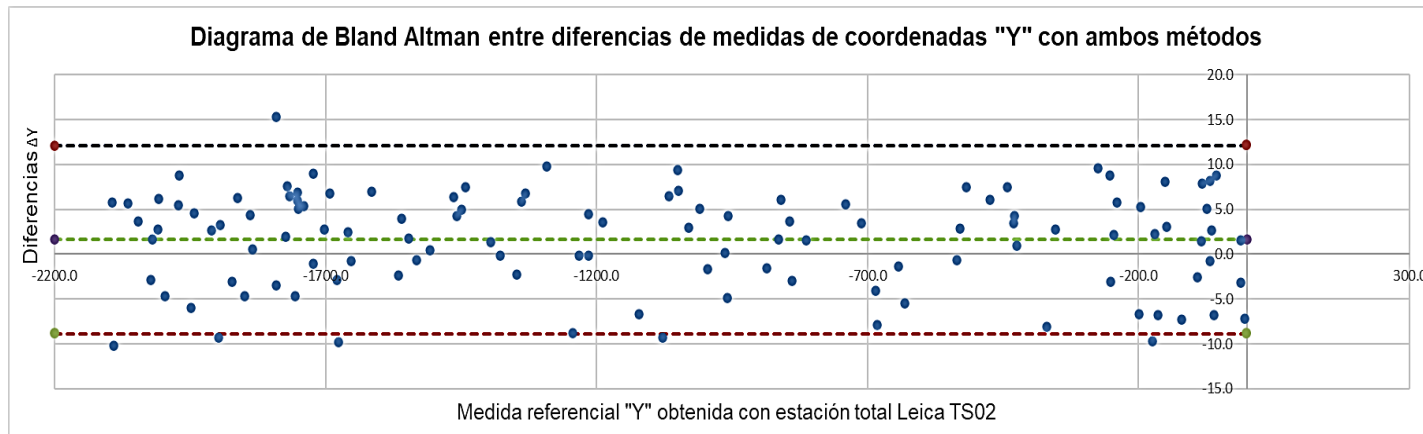
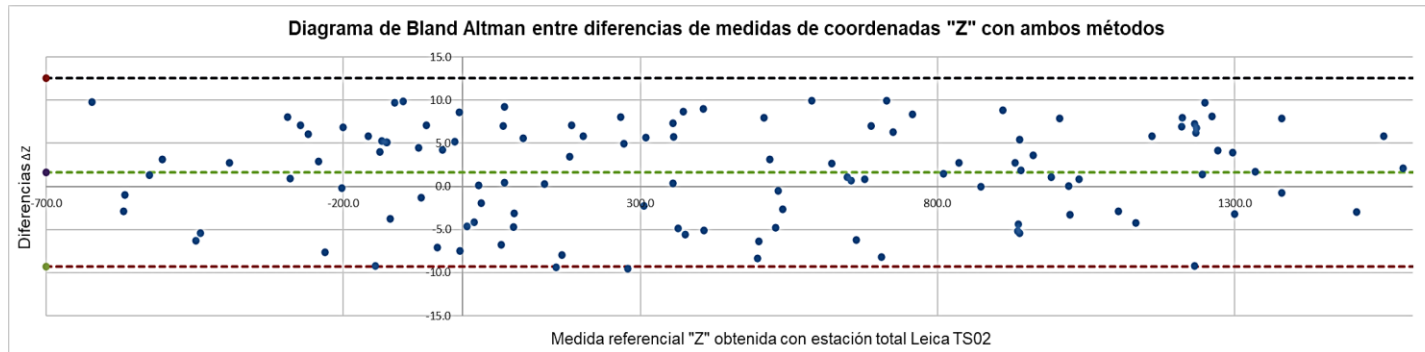


Figura 33

Diagrama de Bland-Altman para medidas en el eje "z"



4.3. Índice de estabilidad

- Para las coordenadas de “x”:

La cantidad de puntos dentro del intervalo de concordancia son 118 de 118, por lo tanto, el índice de estabilidad es 100%.

- Para las coordenadas de “y”:

La cantidad de puntos dentro del intervalo de concordancia son 112 de 118, por lo tanto, el índice de estabilidad es 95%.

- Para las coordenadas de “z”:

La cantidad de puntos dentro del intervalo de concordancia son 116 de 118, por lo tanto, el índice de estabilidad es 98%.

4.4. Comparación de recursos consumidos entre ambos métodos de medición

Tabla 10

Análisis de recursos consumidos usando la estación total Leica TS02.

ITEM	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Tiempo	Subtotal (S/.)
Estación Total Leica TS02	1	S/.115 por día	1 día	S/.115.00
Personal calificado para toma de medidas	1	S/.195.5 por día	3 horas	S/.195.50
Ayudante	1	S/.69 por día	3 horas	S/.69.00
Personal para procesar datos.	1	S/.80 por día	8 horas	S/.80.00
Flexómetro	1	S/.15.00	-	S/.15.00
Dianas o Marcas impresas	---	S/.10.00	-	S/.10.00
Adhesivo	1	S/.5.00	-	S/.5.00
Escalera	1	S/.20.00	-	S/.20.00
Tizas, lapiceros y tablas para registro	---	S/.10	-	S/.10.00
Licencias de software	---	-	-	
Dinero total consumido				S/.519.00
Tiempo total consumido				11 horas
Cantidad de personal requerido				3

Tabla 11*Análisis de recursos consumidos usando el método de fotogrametría.*

ITEM	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Tiempo	Subtotal (S/.)
Smartphone REDMI 09	1	S/.0 por día	1 día	S/.0.00
Personal para toma de medidas	1	S/. 80 por día	0.5 hora	S/.80.00
Personal para procesar datos.	1	S/.80 por hora	8 horas	S/.80.00
Flexómetro	1	S/10.00	-	S/.15.00
Escalera	1	S/.20.00	-	S/.20.00
Tizas, lapiceros y tablas para registro	-	S/10.00	-	S/.10.00
Licencias de software	-	-	-	
Dinero total consumido				S/.205.00
Tiempo total consumido				8.5 horas
Cantidad de personal requerido				2

4.5. Comparación de riesgos asociados entre ambos métodos de medición

En las Tablas 10 y 11 se registraron las actividades realizadas y los riesgos asociados con cada método de medición. Se observa que la toma de medidas con estación total posee más potencial de riesgos en comparación al uso de la fotogrametría. No se consideró la mitigación de los riesgos para evaluar la condición natural de cada procedimiento en caso de no tomar acción para reducirlos. La matriz fue elaborada de acuerdo con los formatos de Identificación de peligros y evaluación de riesgos laborales RM-050-2013-TR.

4.6. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en las con el coeficiente de Spearman demuestran que hay una relación lineal directa entre las mediciones que se obtienen con el método de estación total y el de fotogrametría con un smartphone. El diagrama de Bland – Altman y el coeficiente de estabilidad muestran que existe concordancia entre ambos métodos de medición con una confianza de al menos 95%. Finalmente, las tolerancias planteadas por la ISO 13929 con una clase D permiten una diferencia longitud de 4mm de longitud en construcciones soldadas, lo que para nuestras aplicaciones es aceptable puesto que las medias de las diferencias de acuerdo con el gráfico de Bland – Altman no exceden dicha medida.

En la Tabla 12 se muestra un resumen de los recursos totales consumidos, observándose que el método de fotogrametría consume 39.49% de lo gastado de usarse el método con estación total, los costos son más elevados por el precio de alquiler de la estación y el pago por personal especializado durante su jornada.

De igual modo, el tiempo es el 72.27% del tiempo consumido por el método de estación total, el tiempo se incrementa porque el proceso implica cambiar de estación y ajustar el visor en cada diana para continuar tomando medidas.

Fueron necesarias dos personas durante la obtención de medidas con fotogrametría en comparación a las tres personas que trabajaron con la estación total.

Tabla 12

Diferencias entre consumo de recursos para ambos métodos de medición.

	Estación total	Fotogrametría
Dinero (S/.)	519	205
Tiempo (hrs)	11	8.5
Personal	3	2

Para valorar los riesgos de seguridad entre ambos métodos se elaboró la Tabla 13, la cual muestra la cantidad de actividades que superan el grado de riesgo 7 y la cantidad de actividades con riesgos que no pueden aceptarse; se observa que el método de fotogrametría muestra valores más bajos en comparación al uso de estación total.

Tabla 13

Cuadro que muestra la cantidad de actividades que superan el grado de riesgo 7 y la cantidad de actividades con grado "no aceptable".

	Método con estación Total	Fotogrametría
Cantidad de actividades con grado de riesgo mayor o igual a 8.	8	5
Cantidad de actividades con riesgos que no se pueden aceptar.	4	2

CONCLUSIONES

El método de fotogrametría aplicado con un smartphone para la obtención de medidas del casco de una embarcación de apoyo logístico de 20m de eslora resulta ser un método de medición que tiene ventajas a causa de los valores con errores bajos que son permisibles en la aplicación estudiada, los pocos recursos que consume y los pocos riesgos de seguridad asociados al procedimiento.

1. Se comprobó con una significancia estadística del 95% usando el gráfico de Bland – Altman y el índice de estabilidad, que no existe diferencias significativas entre las mediciones obtenidas con el método de fotogrametría con un smartphone respecto al método de posicionamiento con estación total. Entonces se puede considerar a las medidas obtenidas lo suficientemente cercanas a los valores obtenidos con el método de estación total y considerarlos concordantes para el propósito deseado.
2. El método de fotogrametría consumió menos recursos durante el proceso de medición del casco de la embarcación de apoyo logístico de 20m de eslora. Consumió un 39.49% de dinero, 72.27% de tiempo y una persona menos en comparación al método con estación total.
3. La matriz de riesgos de seguridad asociadas al método de fotogrametría aplicado con un smartphone en comparación al método de estación total registró menos cantidad de actividades con grados de riesgo mayor a 7 y con riesgo de “no aceptable”. Se entiende entonces que el método asocia menos riesgos de seguridad.

RECOMENDACIONES

No seguir las pautas brindadas por la compañía Agisoft Metashape referente a la calibración, así como al proceso de captura de imágenes, trae resultados desfavorables, por lo que es importante la capacitación del personal que aplica el método.

1. Se puede disminuir las inexactitudes del método de fotogrametría haciendo uso de un equipo de mayor calidad o gama como el uso de una cámara profesional, ya que poseen mayor margen de escala de parámetros durante la etapa de calibración y toma de fotografías.
2. Utilizar el método de fotogrametría con un smartphone para la obtención de medidas generales de forma rápida (levantamiento rápido de medidas) porque no consume demasiados recursos y los resultados obtenidos son aceptables para cuestiones de estimaciones rápidas. No obstante, con el uso de un equipo de mayor calidad puede obtenerse medidas mucho más cercanas a las reales.
3. Para el presente estudio, el uso de fotogrametría con un smartphone en la obtención de medidas resultó más seguro en comparación del uso de la estación total. Sin embargo, ello no debe evadir el proceso de inspección de campo y mitigación de riesgos antes de realizar la toma de medidas ya que las condiciones de seguridad pueden ser distintas en otros estudios.

REFERENCIAS

- Agisoft LLC. (2020). Manual de usuario de Agisoft Metashape versión español.
- Babicz, J. (2015). *Encyclopedia of Ship Technology* (Segunda ed.). Helsinki, Finlandia: Wartsila Corporation.
- BBVA. (2024). *BBVA - ¿Cuáles son los recursos de una empresa?* Obtenido de <https://www.bbva.mx/empresas/educacion-financiera/recursos-de-una-empresa.html#:~:text=Los%20recursos%20de%20una%20empresa%20son%20to dos%20los%20elementos%20necesarios,de%20computadora%2C%20dinero%20o%20personas.>
- Benites, I. (2022). *Evaluación de la correlación del drón y la estación total de la FIC-UNP*. Universidad Nacional de Piura, Piura.
- Bentley Systems. (2013). Maxsurf Modeler version 20.
- Berglund, J., Berlin, R., Hellsberg, J.-E., Kavaliauskas, J., Lahtinen, H., Sutnikas, A., & Wedel, M. (2021). Guidelines for 3D documentation of ship block geometry - A process description. *ECOPRODIGI*.
- Bielski, P., Pruszko, H., Reichel, M., & Macikowski, Z. (2022). Highly efficient reverse engineering process based on photogrammetry and NURBS in digitalisation of ship hull models. *Elsevier*.
- Bland, J., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement.
- Cuenca, B. (2021). *Análisis comparativo técnico-económico entre el levantamiento topográfico aerofotogramétrico usando drones y el método tradicional con estación total*. Universidad Privada del Centro, Huancayo.

- García, S. (2022). *Modelado de una embarcación de recreo usando fotogrametría: Cálculos de arquitectura naval*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Geodetic Services, Inc. (2017). Basics of Photogrammetry. United States. Retrieved from <https://www.geodetic.com/basics-of-photogrammetry/#:~:text=Photogrammetry%20uses%20the%20basic%20principle,the%20pictures%20in%20the%20set>.
- Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma* (6° ed.). México: Mc Graw Hill.
- Halmin, N. (1988). *Principles of Naval Architecture* (Vol. 1). New Jersey, United States: SNAME.
- Henze, F. (2015). *Digitale Bildverarbeitung für die automatisierte Auswertung in der Architekturphotogrammetrie*. Universidad Técnica de Bradenburgo Cottbus-Senftenberg., Alemania.
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2010). Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición "Aspectos generales sobre la validación de métodos". Santiago, Chile.
- Leica Geosystems. (2009). Manual de empleo TS02/TS06/TS09. Heerbrugg, Suiza: Leica Geosystems.
- Lewis, M., & Oswald, C. (2019). Can an inexpensive phone app compare to other methods when it comes to 3D digitalization of ship models. *Recording and Modelling "A Tool for Modern Applications and CH Recording" (Volume XLII-2/W10)*.
- Mandelli, A. (1986). *Elementos de Arquitectura Naval*. Buenos Aires: Alsina.
- Metashape. (2024). *Acerca de Metashape*. Obtenido de <https://www.metashape-la.com/>
- Miller, J., & Jane, M. (2002). *Estadística y Quimiometría para Química Analítica* (cuarta ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Ministerio de trabajo y promoción del empleo. (2013). Resolución ministerial 050-2013- TR. Lima, Perú.

- Nave, J., & Federico, N. (2023). Técnicas estadísticas utilizadas en la comparación. *Ciencia, Tecnología y Salud, Vol. 10*.
- Organización Internacional de Estandarización. (1997). ISO 13920 - Tolerancias generales en construcciones soldadas - Dimensiones de longitud y ángulos. Bruselas, Bélgica: ISO.
- Organización Internacional de Estandarización. (2016). ISO 8666 - Small Craft - Principal Data. Switzerland: ISO.
- Perez, J. (2001). *Apuntes de Fotogrametría II*. Mérida, España: Universidad de Extremadura.
- Reyes, R. (2009). *Diccionario crítico de ciencias sociales*. Madrid: Plaza y Valdés.
- Santo, M. (2005). *Proceso de medición: Análisis y comunicación de datos experimentales*. Rio Cuarto: Universidad Nacional de Rio Cuarto.
- Schuler, J. (2021). Construcción naval de bajo bordo en el Perú: Periodo 2010-2016. *UNMSM*.
- UNE-EN ISO 139 . (1996). ISO 13920.
- Universidad Continental. (2017). *Topografía I - Guía de trabajo*. Lima.
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Topografía* (14 ed.). United States: Alfaomega.
- Yan, W. (2019). A non-contact measurement method of ship block using image-based 3D reconstruction technology. *Elsevier*.
- Yasser, A., Aizat, J., & Omar, Y. (2012). Boat Survey Using Photogrammetry Method. *International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.)*.

ANEXO A Matriz de consistencia

En este anexo se presenta la matriz de consistencia.

Tabla A.1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Se puede considerar a la fotogrametría como una alternativa de medición válida en comparación al uso de una estación total para el proceso de obtención de medidas de un casco en la industria naval peruana actual?	Estudiar comparativamente el uso del método de fotogrametría aplicado con un smartphone respecto al uso de una estación total a partir de una muestra de medidas de un casco obtenidas de una embarcación de 20 de eslora.	El método de fotogrametría aplicado con un smartphone puede usarse como una alternativa válida de medición comparada con el uso de una estación total debido a las ventajas asociadas al procedimiento.	V. Dep: Estudio comparativo	<ul style="list-style-type: none"> Exactitud del método de Fotogrametría respecto al método con estación total. Consumo de recursos. Seguridad del procedimiento de toma de medidas. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis estadísticos (correlación y concordancia) Tiempo usado. Personal requerido Costos del proceso Grado del riesgo de seguridad. 	<p>Tipo y nivel de Investigación: Tipo aplicada</p> <p>Nivel correlacional</p> <p>Unidad de análisis: Dimensiones de la posición de cada marca ubicada en el casco de una embarcación pasajera de apoyo logístico de 20m de eslora</p>
Específicos:	Específicos:	Específicos:	V. Ind:			
<ol style="list-style-type: none"> ¿Qué tan exacto es el uso de la fotogrametría como método de obtención de medidas de la forma de un casco en la industria naval peruana actual haciendo uso de un smartphone? ¿Cuál es la diferencia del consumo de costo y tiempo del método de fotogrametría en la obtención de medidas de la forma de un casco en comparación al uso de una estación total? ¿El método de fotogrametría puede disminuir los riesgos de seguridad asociados al proceso de obtención de medidas de un casco en la industria naval peruana actual? 	<ol style="list-style-type: none"> Evaluar la exactitud de las medidas obtenidas con método de fotogrametría usando un smartphone respecto al uso de una estación total. Comparar el consumo de los recursos como dinero, personal y tiempo del método de fotogrametría respecto al uso de una estación total. Comparar y evaluar los riesgos de seguridad asociados al proceso de obtención de medidas del casco de una embarcación de 20m usando fotogrametría respecto al uso de una estación total. 	<ol style="list-style-type: none"> Las diferencias o errores obtenidas del levantamiento de medidas del casco de una embarcación de 20m de eslora haciendo uso de la fotogrametría con un smartphone y una estación total, son insignificantes. El uso de la fotogrametría en el proceso de levantamiento de medidas del casco de una embarcación de 20m de eslora consume menos recursos en comparación a la obtención de medidas usando una estación total. El método de fotogrametría en comparación al uso de una estación total reduce los riesgos de seguridad asociados al levantamiento de medidas del casco en una embarcación de 20m de eslora.. 	<ul style="list-style-type: none"> Medición con el método de fotogrametría Medición con estación total 	<ul style="list-style-type: none"> Grado de calibración de la cámara. Intensidad de iluminación del ambiente. Cantidad de marcas o targets colocados. Nivel del piso en cada estación. Incertidumbre de la medición. 	<ul style="list-style-type: none"> Parámetros de calibración. Condiciones ambientales. Tamaño mínimo de muestra. Nivel en cada cambio de estación. Especificaciones técnicas y calibración. 	<p>Procesamiento de datos: Comparación de la a estación total y la fotogrametría mediante el Agisoft Metashape</p>

**ANEXO B Diferencias entre las posiciones de las coordenadas
correspondientes al mismo eje para cada marca en el casco**

Tabla B.1

Diferencia de posiciones de coordenadas

SECUENCIA	PUNTO	DIFERENCIAS FINALES		
Orden	Diana #	DIF Δx	DIF Δy	DIF Δz
1	1	8.2	2.6	5.8
2	2	-8.0	-3.2	-3.2
3	3	9.5	8.2	1.1
4	4	8.1	8.1	0.8
5	5	-8.4	-6.8	-5.1
6	6	2.0	5.1	1.1
7	7	6.0	8.8	7.9
8	8	1.6	5.8	8.1
9	9	-4.7	-5.5	-2.9
10	10	6.5	4.3	2.1
11	11	4.9	1.5	-0.7
12	12	11.0	7.8	6.9
13	13	-5.5	-7.3	2.7
14	14	7.2	2.2	8.7
15	15	5.1	0.9	7.1
16	16	9.5	2.9	5.2
17	17	-6.5	-3.0	-7.6
18	18	-1.2	-4.8	-6.3
19	19	8.7	5.1	2.8
20	20	-6.8	-0.7	-0.2
21	21	-0.5	-6.8	-2.9
22	24	-7.3	-3.0	-7.1
23	25	-1.8	-6.7	-7.9
24	26	8.4	2.8	9.0
25	27	5.9	6.0	10.0
26	28	-2.3	-4.1	0.0
27	29	-3.0	-1.5	5.8
28	30	0.0	2.9	7.9
29	31	3.8	8.8	9.8
30	32	6.3	5.3	3.1
31	33	2.3	1.5	6.8
32	34	5.0	9.6	8.6
33	35	-6.3	-8.1	-3.2
34	36	4.3	7.5	5.8
35	37	8.9	7.5	5.7
36	38	-2.8	-7.9	-2.6

37	39	6.0	1.7	2.7
38	40	-9.6	-9.3	-4.3
39	41	3.8	3.1	1.3
40	42	4.3	2.3	6.1
41	43	7.1	3.5	-1.3
42	44	-0.9	-0.6	-4.1
43	45	-6.6	-1.3	-9.4
44	46	9.6	3.5	8.0
45	47	3.2	6.1	7.9
46	48	9.4	7.1	1.5
47	49	-4.5	-0.2	-2.9
48	50	-2.6	-2.6	-1.0
49	51	-2.9	-9.7	-5.4
50	52	9.6	4.3	7.1
51	53	9.2	5.5	4.0
52	54	0.6	3.7	4.5
53	55	-9.2	-1.7	-4.7
54	56	9.1	9.4	3.5
55	57	-4.5	-0.1	-8.4
56	58	2.4	5.9	8.3
57	59	3.6	6.4	0.1
58	60	2.4	7.0	1.8
59	61	3.0	0.1	9.7
60	62	-2.0	-6.7	-1.9
61	63	5.3	3.6	0.3
62	64	-8.0	-2.3	-6.4
63	65	6.7	7.5	6.3
64	66	2.1	6.5	5.8
65	67	-2.6	-8.8	-4.6
66	68	8.8	9.8	5.6
67	69	-0.7	-0.2	-2.2
68	70	6.3	4.2	3.1
69	71	-6.3	-0.6	-8.2
70	72	-4.0	-0.7	-3.3
71	73	9.6	6.0	4.0
72	74	5.7	4.5	2.9
73	75	3.2	1.3	7.1
74	76	5.4	4.9	0.1
75	77	-6.9	-2.4	-5.6
76	78	6.9	2.5	7.0
77	79	6.1	6.5	0.8
78	80	0.2	4.4	4.2
79	81	5.6	6.8	8.1
80	82	4.7	0.4	5.1

81	83	1.3	3.9	4.2
82	84	-5.3	-9.8	-4.9
83	85	-9.0	-4.7	-6.2
84	86	4.8	0.6	3.6
85	87	6.1	2.6	1.4
86	88	8.2	1.8	0.9
87	89	-1.7	-2.8	-3.8
88	90	8.3	9.0	0.4
89	91	8.1	15.3	0.4
90	92	-9.4	-6.0	-5.4
91	93	0.9	1.7	9.7
92	94	7.4	2.8	5.3
93	95	0.5	6.9	7.0
94	96	-8.1	-3.0	-4.7
95	97	8.4	8.8	1.9
96	98	6.8	3.6	7.3
97	99	-7.6	-1.1	-9.2
98	100	2.8	7.6	9.2
99	101	-9.2	-9.3	-0.5
100	102	-2.1	-4.7	-4.4
101	103	5.4	5.6	6.8
102	104	0.4	5.4	5.1
103	105	9.9	6.3	5.7
104	106	7.4	6.2	5.4
105	107	-1.3	-10.2	-9.3
106	108	9.8	5.1	9.8
107	109	-3.4	-4.7	-9.6
108	110	6.9	4.6	0.7
109	111	7.7	5.8	6.2
110	112	-5.6	-3.5	-6.7
111	113	-7.8	-2.9	-5.2
112	114	8.8	2.0	4.9
113	115	2.4	5.5	2.7
114	116	9.2	6.8	7.4
115	117	0.9	3.2	8.9
116	118	5.1	2.7	8.0
117	119	-3.0	-7.1	-7.5
118	120	3.7	1.5	9.9

ANEXO C Calibración de cámara según informe de procesamiento del software METASHAPE

Calibración de cámara

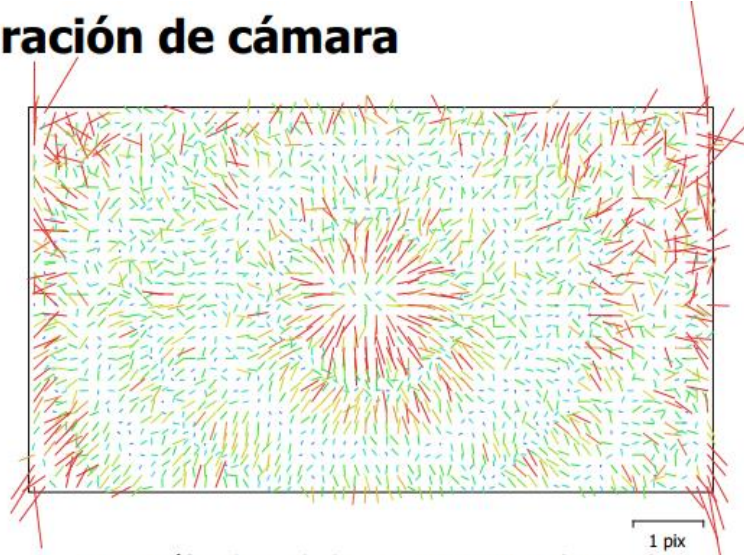


Fig. 2. Gráfico de residuales para M2003J15SC (4.74mm).

M2003J15SC (4.74mm)

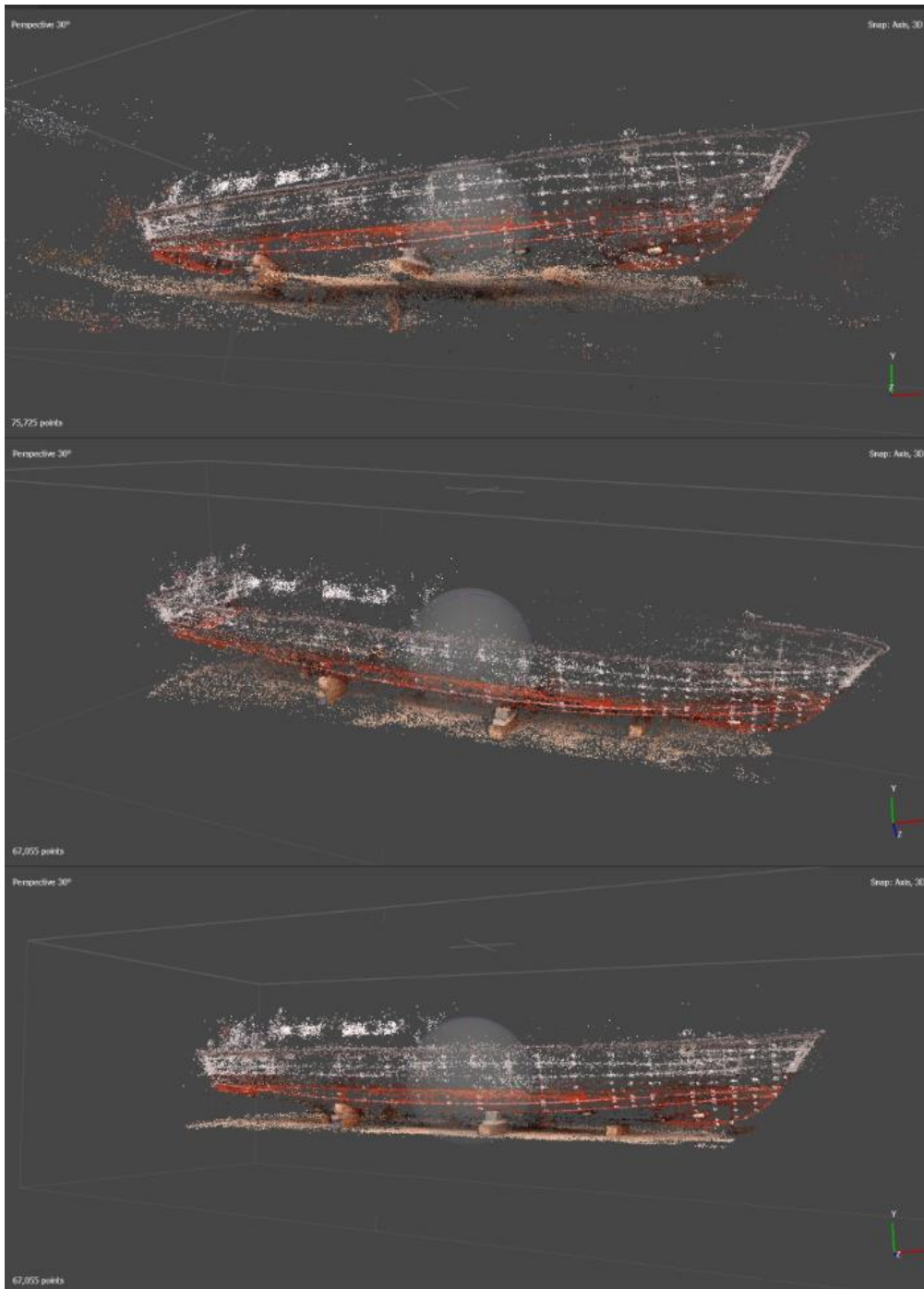
101 imágenes, precalibrada

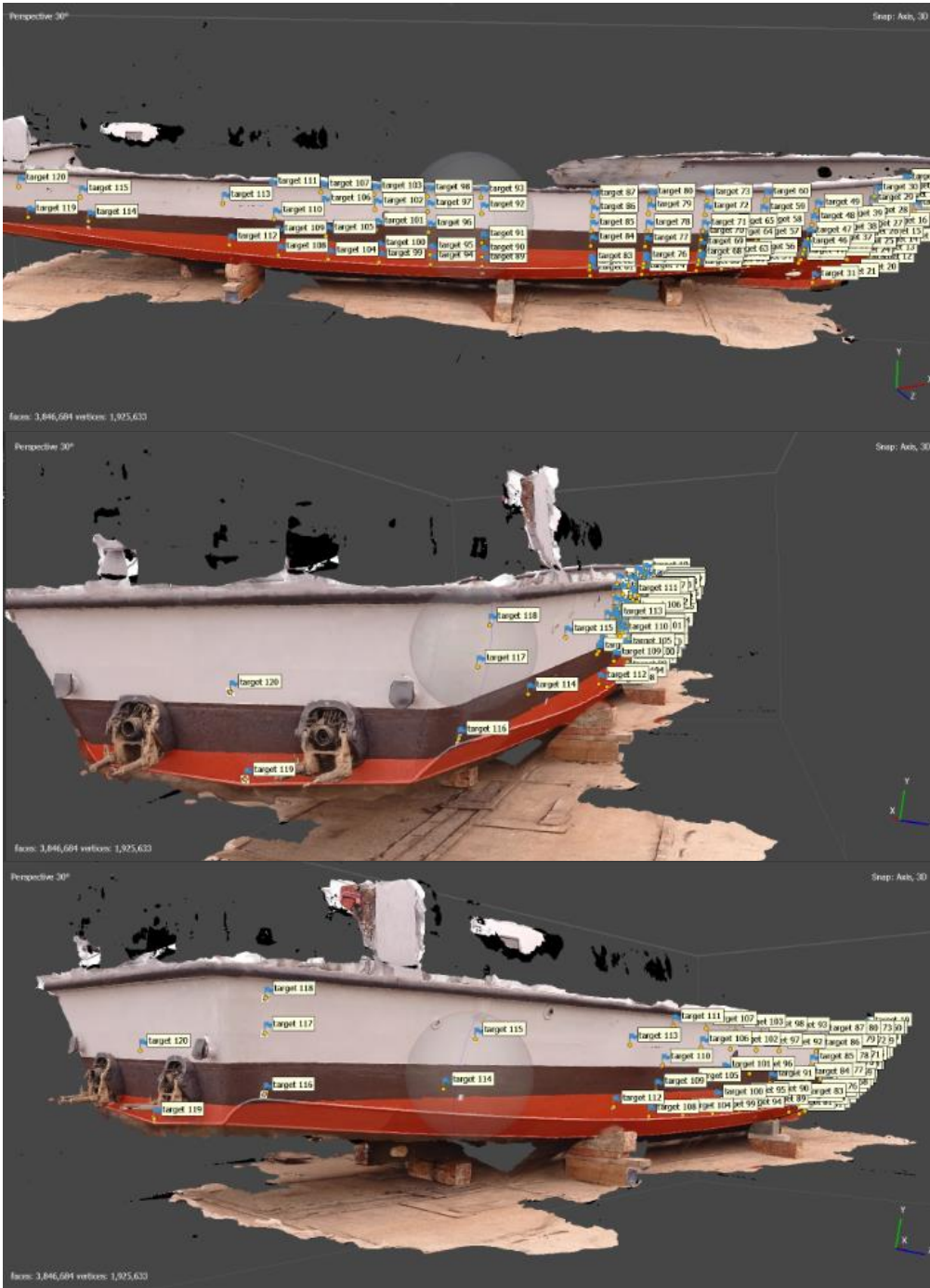
Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4000 x 2250	4.74 mm	1.6 x 1.6 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
B1	-1.09698									
B2	0.58687									
K4	1.8428									
F	2993.39	0.12	1.00	0.08	0.04	-0.14	0.12	-0.07	0.07	-0.04
Cx	-3.7699	0.2		1.00	-0.01	-0.10	0.11	-0.12	0.87	0.05
Cy	2.55169	0.16			1.00	0.14	-0.18	0.19	0.00	0.71
K1	0.0839301	0.00025				1.00	-0.97	0.92	-0.08	0.04
K2	0.156617	0.0011					1.00	-0.99	0.10	-0.09
K3	-1.43992	0.0014						1.00	-0.10	0.10
P1	0.000351318	2e-05							1.00	0.02
P2	0.00032332	1.4e-05								1.00

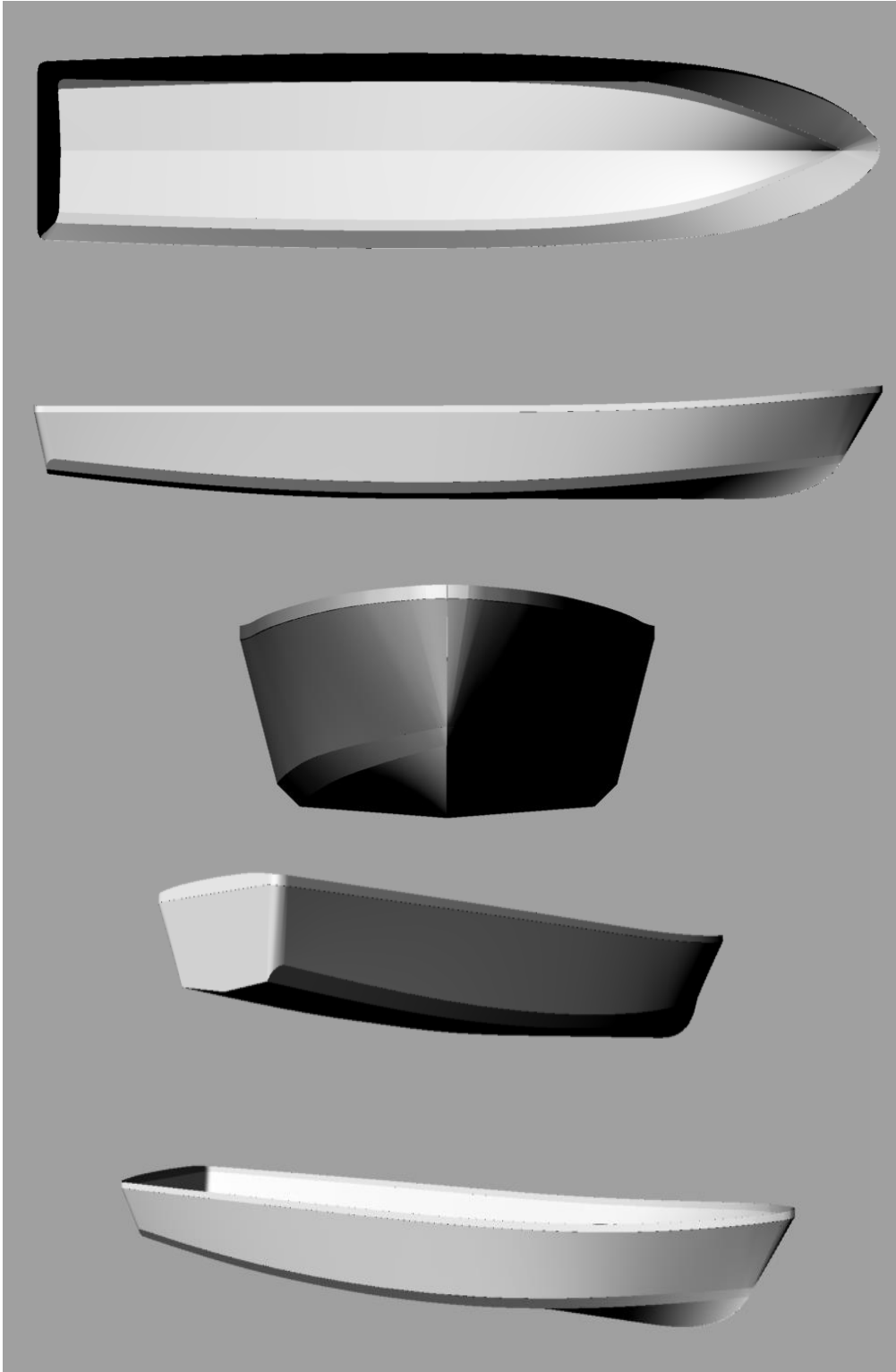
Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

ANEXO D Nube de puntos del casco generada a partir del procesamiento de medidas por el método de fotogrametría





ANEXO E Superficie del casco generada por alisado en Rhinoceros a partir del procesamiento de la nube de puntos por el método de fotogrametría



ANEXO F Autorización para uso de equipos y software

AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE EQUIPOS DEL AREA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD CON FINES DE ESTUDIO

Yo, Fernando Ramirez Pereyra, jefe de la División de Aseguramiento de la Calidad de SIMA CALLAO.

A través de este escrito, otorgo autorización para usar la estación total Leica TS02 y una computadora con acceso a softwares con fines de estudio al Sr. Rolfe Dieter Nájjar Terrones, Inspector de Calidad en la División de Aseguramiento con PR. 5334.

Se emite este documento para los fines convenientes dentro del marco del estudio realizado para la tesis con nombre: "Estudio comparativo de dos técnicas para la caracterización y parametrización de las medidas del casco de una embarcación de apoyo logístico usando fotogrametría y el método de posicionamiento tradicional."

Callao, 06 de noviembre del 2022



Capitán de Fragata (R)
Fernando RAMIREZ Pereyra
Intendente de Aseguramiento de la Calidad
SIMA - CALLAO

ANEXO G Solicitud autorizada del uso de las instalaciones de SIMA Callao y de datos

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"
"AÑO DEL BICENTENARIO DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA DEL PERÚ"

MARINA DE GUERRA DEL PERÚ S.I.A. - CALLAO	
RECIBIDO	
21 NOV. 2022	
Nota:	Firma:
Código / Nombre:	6129

Callao, 21 de noviembre de 2022

Carta S/N

Señores:
Servicios Industriales de la Marina S.A - CALLAO
Presente,-

Es grato dirigirme a ustedes para saludarlos cordialmente y a la vez presentarme como trabajador del SIMA CALLAO del Departamento de Control y Aseguramiento de la Calidad, como Ing. Inspector de la Intendencia de Aseguramiento de la Calidad.

Por estar en el proceso de titulación de mi especialidad en Ingeniería Naval y con la finalidad de presentar mi tesis "Caracterización y parametrización del casco en una embarcación pasajera usando técnicas de posicionamiento por coordenadas mediante uso de estación total y fotogrametría"; solicito la autorización correspondiente y formal para hacer uso de las instalaciones del SIMA CALLAO y; así mismo, poder usar algunos datos que iré recopilando para posteriormente ser usados en cálculos y registrarlos en la redacción de mi investigación.

Sin otro en particular y en espera de la atención a la presente, me suscribo de ustedes.

Atentamente,



Ing. Rolfe Najar Terrones
Cel: 976494774
Correo: rnajar@simacom.pe
Correo: rnajar@uni.pe

Ingeniero Naval
Rolfe NAJAR Terrones
Analista de Aseguramiento de Calidad
SIMA - CALLAO

ANEXO H Cotización de referencia para alquiler de una estación total



CotizacionTOPOX

1 mensaje

Willy Omar Mori Salazar <omori@topox-peru.com>
Para: "najar@gmail.com" <najar@gmail.com>
Cc: kpostigo@topox-peru.com

Estimado ,

Te remito la cotización requerida:

Concepto	cant	# dias	Costo (S/)
01. Control topográfico			9867
Topógrafo	1	26	5083
Ayudante	1	26	1794
Equipos: Estación Total	1	26	2990
02. Viáticos			140
Movilización y Desmovilización	1	2	140
03. Seguro SCTR, EPPs	1	-	368
04. Materiales	1	-	115
05. Alimentación	2	26	676
Costo Total sin IGV.			11166

consideramos que el equipo se queda en obra todos los días cargando las baterías y el cliente nos da la seguridad en obra

Saludos,



Omar Mori Salazar
Gerente General
Tel: 992571241/952826999 - omori@topox-peru.com

Topox Asociados S.A.C
Calle Ortega y Gasset N°183 Dpto102, Urb. La Calera de la Merced - Surquillo - Lima

Tel.: (01) 271-8606 www.topox-peru.com/