

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA**  
SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA  
CONCEPCION

**MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO DE  
NUBE DE PUNTOS**

**EDUARDO MUÑOZ ARAVENA**

**2025**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE  
CONCEPCIÓN**

**“REY BALDUINO DE BÉLGICA”**

**MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO DE NUBE DE  
PUNTOS**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CONSTRUCTOR**

**Alumno: Eduardo Álvaro Muñoz Aravena**

**Profesor guía: Sr. Sergio Hernández Aravena.**

**2025**



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción):  Memoria o trabajo de título  Tesis de Postgrado

Título del trabajo: MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LEVANTAMIENTO DE NUBE DE PUNTOS

Nombre del candidato(a): Eduardo Álvaro Muñoz Aravena

Carrera / Grado: Ingeniería en Construcción con licenciatura en Ingeniería

Campus: Concepción Departamento: Construcción

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Sergio Hernández Aravena, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses  12 meses  2 años  3 años  5 años  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

---

---

---

### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 11 diciembre 2025 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 02/12/2025 Firma: 

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

## **DEDICATORIA**

Dar gracias a mis padres por siempre estar ahí apoyando mis ideas a que la imaginación no tuviera límites, por los valores enseñados en todos estos años, la constancia y perseverancia a querer lograr lo que me propongo. Un agradecimiento especial a mi polola que fue la que me ha apoyado durante estos años de universidad. Al igual quiero dar gracias a mis profesores ya que durante estos años de carrera me brindaron de la mejor manera sus conocimientos, impulsando siempre a dar lo mejor de nosotros como estudiantes y como personas.

En fin, mis padres siempre han sido un pilar fundamental en el apoyo, que yo lograra ser persistente en lo que quiero, responsable con lo que hago y respetuoso con mi alrededor; muchos valores que destaco de mi persona. Gracias a esas enseñanzas que me han dado todos estos años soy la persona que llega 30 minutos antes a clases, que nunca tuviera inasistencia en el colegio, liceo y universidad.

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un manual de procedimientos para el levantamiento y procesamiento de nubes de puntos mediante escaneo láser 3D, adaptable a equipos de diversas marcas y modelos. Este manual busca estandarizar y optimizar cada etapa del proceso, desde la planificación hasta el post-procesamiento, garantizando resultados precisos, eficientes y seguros para proyectos de ingeniería, construcción y arquitectura.

La propuesta fue validada en un caso de estudio realizado en la planta industrial CMPC Maule, donde se documentó la línea de procesamiento de una chipeadora de madera. Este levantamiento permitió generar un modelo tridimensional detallado, útil para tareas de diseño, mantenimiento y optimización de procesos.

Los resultados obtenidos demuestran que el manual propuesto no solo mejora la calidad y precisión de los levantamientos, sino que también fomenta la transferencia de conocimientos y la adopción de tecnologías avanzadas, posicionándose como una herramienta versátil y efectiva para profesionales en diversas disciplinas.

# INDICE

INDICE DE FIGURAS O IMÁGENES.....	7
I. SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS .....	8
II. INTRODUCCIÓN.....	12
III. JUSTIFICACIÓN .....	15
IV. OBJETIVOS.....	17
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO .....	19
1.1 Conceptos básicos. ....	20
1.1.1 Introducción al levantamiento de nube de puntos .....	20
1.1.2 Definición de nube de puntos .....	21
1.1.3 Tecnologías de levantamiento 3D.....	22
1.1.4 ¿Para qué sirve una nube de puntos? .....	25
1.1.5 Formatos de archivo .....	26
1.1.6 Aplicaciones de las nubes de puntos .....	27
1.2 Importancia de generar un manual de procedimiento. ....	27
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA .....	29
2.1 Definición de Objetivos y Alcance del Manual.....	30
2.2 Investigación y Recolección de Información .....	31
2.3 Diseño y Estructuración del Manual .....	32
2.4 Validación y Revisión .....	33
CAPITULO 3: MANUAL DE PROCEDIMIENTO .....	34

3.2	Requerimientos previos.....	36
3.2.1	Equipos y Materiales Necesarios.....	36
3.2.2	Consideraciones Iniciales.....	37
3.3	Procedimiento .....	38
3.3.1	Planificación Previa .....	38
3.3.2	Configuración del Equipo.....	41
3.3.3	Ejecución del levantamiento .....	42
3.3.4	Post-Procesamiento de datos .....	44
3.4	Manejo de los datos y almacenamiento .....	46
3.5	Recomendaciones .....	47
3.5.1	Recomendaciones de Seguridad.....	47
3.5.2	Recomendaciones en el proceso .....	48
CAPITULO 4: ESTUDIO DE CASO .....		55
3.1	Descripción del Proyecto.....	56
3.2	Metodología Aplicada.....	57
CAPÍTULO 5: CONCLUSION .....		69
CAPÍTULO 6: REFERENCIAS .....		72
CAPÍTULO 7: ANEXOS .....		75

## INDICE DE FIGURAS O IMÁGENES

Ilustración 1 Ejemplificación nube de puntos .....	21
Ilustración 2 Alineación nube de puntos, software Leica Cyclone Register.....	40
Ilustración 3 Muestra posicionamiento de estaciones 1 .....	59
Ilustración 4 Muestra posicionamiento de estaciones 2 .....	60
Ilustración 5 Escáner en posición.....	61
Ilustración 6 Verificación de calidad del levantamiento .....	62
Ilustración 7 Fotografías del área .....	63
Ilustración 8 Alineación de las estaciones.....	64
Ilustración 9 Maqueta final 1 .....	66
Ilustración 10 Maqueta final 2 .....	66

# I. SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

1. **BLK360** – Escáner láser 3D de la marca Leica Geosystems.
2. **LiDAR** – Light Detection and Ranging (Detección y Rango de Luz): Tecnología de escaneo láser 3D.
3. **BIM** – Building Information Modeling (Modelado de Información de Construcción): Representación digital de características físicas y funcionales de un edificio.
4. **3D** – Tres Dimensiones: Espacio tridimensional que se utiliza para representar el entorno físico.
5. **E57** – Formato de archivo para almacenar nubes de puntos generadas por escáneres 3D.

6. **RCS/RCP** – Autodesk ReCap Scan (Formato de archivo utilizado para almacenar nubes de puntos en Autodesk Recap).

7. **LAS** – Laser File Format (Formato estándar para almacenar datos de nubes de puntos en topografía y geología).

8. **CSV** – Comma-Separated Values (Valores Separados por Comas): Formato de archivo utilizado para almacenar datos tabulares.

9. **GPS** – Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global): Tecnología utilizada para determinar la ubicación geográfica de puntos.

10. **PPP** – Planificación Previa al Levantamiento: Estrategia de preparación antes de realizar el levantamiento de nubes de puntos.

11. **PPE** – Personal Protective Equipment (Equipo de Protección Personal): Equipos utilizados para proteger la salud y seguridad de los operadores en el trabajo de campo.

12. **EPP** – Equipo de Protección Personal: Sinónimo de PPE (en español).
13. **CAD** – Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computadora): Software utilizado para crear representaciones digitales de objetos y estructuras.
14. **FOV** – Field of View (Campo de Visión): Ángulo de visión del escáner láser para capturar datos.
15. **RGB** – Red, Green, Blue (Rojo, Verde, Azul): Sistema de color utilizado para capturar información visual (imágenes) junto con los datos de la nube de puntos.
16. **PPT** – PowerPoint (Software utilizado para presentaciones de proyectos).
17. **VRS** – Virtual Reference Station (Estación de Referencia Virtual): Técnica utilizada para mejorar la precisión en el levantamiento utilizando GNSS.

18. **UAV** – Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo No Tripulado): Drones utilizados en levantamientos topográficos y captura de imágenes.

19. **GNSS** – Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite): Sistema utilizado para obtener coordenadas precisas.

20. **GIS** – Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica): Sistema utilizado para capturar, almacenar y analizar datos geográficos.

## II. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción e ingeniería, la precisión y la eficiencia son factores clave para garantizar la calidad de los proyectos y la optimización de recursos. Las tecnologías de escaneo láser 3D han emergido como herramientas revolucionarias que permiten capturar datos tridimensionales de manera rápida y precisa, transformando la forma en que se abordan las etapas de diseño, ejecución y mantenimiento de proyectos. Estas tecnologías, que abarcan equipos de diversas marcas y modelos, generan nubes de puntos detalladas que reflejan con exactitud la geometría y disposición de los elementos en un espacio determinado.

El levantamiento de nubes de puntos se ha convertido en una práctica indispensable para profesionales de diversas áreas, como la arquitectura, la ingeniería civil, la minería y la conservación patrimonial. Este método permite obtener modelos digitales que no solo facilitan la visualización y documentación de estructuras, sino que también potencian el análisis y la toma de decisiones fundamentadas. Sin embargo, la implementación eficaz de estas tecnologías requiere de procedimientos bien definidos que aseguren la calidad de los datos obtenidos, así como la seguridad y eficiencia durante su captura y procesamiento.

El presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un manual de procedimientos aplicable al levantamiento y procesamiento de nubes de puntos utilizando cualquier equipo de escaneo 3D disponible en el mercado, proporcionando una guía técnica y práctica que estandarice los pasos necesarios para obtener resultados consistentes y de alta precisión. Este manual abarca desde la planificación previa hasta el post-procesamiento de datos, destacando las mejores prácticas y consideraciones técnicas que permiten maximizar el potencial de cualquier tecnología de escaneo tridimensional, independientemente de la marca o modelo del equipo utilizado.

Uno de los aspectos más destacados de este trabajo es la integración de un caso de estudio real en una planta industrial, donde se aplican y validan los procedimientos descritos en el manual. Esta experiencia práctica no solo permite evaluar la efectividad de la metodología propuesta, sino que también pone de manifiesto los desafíos y oportunidades que presenta el uso de tecnologías de escaneo láser en escenarios reales. Asimismo, el desarrollo de un formato de checklist como parte del manual facilita el seguimiento y control de cada etapa del proceso, asegurando que todos los pasos sean ejecutados de manera correcta y eficiente.

La importancia de este trabajo radica en su contribución a la estandarización de procesos en un campo donde la tecnología avanza rápidamente. Contar con un manual

estructurado y adaptable a distintos equipos mejora la calidad y precisión de los levantamientos, reduce el tiempo y los recursos invertidos, y minimiza los errores y riesgos asociados. Además, fomenta la transferencia de conocimiento, facilitando la capacitación de nuevos usuarios y promoviendo la adopción de estas tecnologías en proyectos de diversa índole.

En conclusión, este trabajo busca posicionarse como una referencia para la estandarización de levantamientos de nubes de puntos, integrando las mejores prácticas y lecciones aprendidas en un documento claro, aplicable y funcional. A través de este esfuerzo, se espera contribuir al avance de la industria, promoviendo el uso eficiente y responsable de herramientas tecnológicas en proyectos de ingeniería, arquitectura y minería, independientemente del equipo de escaneo utilizado.

### III. JUSTIFICACIÓN

La creciente exigencia de **precisión, trazabilidad y eficiencia** en los proyectos de ingeniería, arquitectura y construcción ha impulsado la adopción de **tecnologías de captura tridimensional**, como los escáneres láser 3D (LiDAR) y la fotogrametría digital. Estas herramientas permiten obtener representaciones altamente detalladas del entorno físico mediante **nubes de puntos**, contribuyendo a un modelado geométrico más fiable y al desarrollo de entornos BIM (Building Information Modeling) integrados (Roca et al., 2020; Grussenmeyer & Landes, 2019).

Sin embargo, la diversidad de equipos, protocolos y softwares disponibles en el mercado ha generado una **fragmentación metodológica** que dificulta la interoperabilidad entre proyectos y disciplinas (Tenorio Zamarripa, 2015). Esta situación evidencia la necesidad de una **estandarización operativa**, donde los procedimientos de levantamiento, registro y procesamiento de nubes de puntos sean reproducibles, verificables y adaptables a distintas marcas y modelos de equipos.

El presente trabajo aborda dicha problemática mediante la elaboración de un **Manual de Procedimientos para Levantamiento y Procesamiento de Nubes de Puntos**,

orientado a **establecer directrices unificadas** para la planificación, ejecución, postprocesamiento y gestión de datos. Este enfoque busca no solo optimizar los recursos humanos y técnicos, sino también mejorar la calidad y consistencia de los resultados, alineándose con los principios de **gestión de calidad y digitalización de la construcción** (ISO 19650, 2018; BIMForum Chile, 2023).

Además, el manual incorpora consideraciones críticas relativas a la **seguridad operacional, mantenimiento de equipos y gestión de la información digital**, aspectos que resultan esenciales para garantizar la sostenibilidad y durabilidad del proceso de captura tridimensional (BuildBIM, 2024). De este modo, se convierte en una herramienta que favorece tanto la **transferencia de conocimiento técnico** como la integración eficiente de nuevas tecnologías en la industria.

En conclusión, la creación de un procedimiento estandarizado para levantamientos con escáneres 3D representa una contribución significativa a la modernización del sector. Su aplicación práctica permite **reducir tiempos de levantamiento, minimizar errores geométricos, aumentar la precisión métrica y fortalecer la interoperabilidad de datos**, consolidando así una metodología replicable y escalable en diferentes contextos industriales y constructivos (BIMnD, 2022; Acero Estudio, 2023).

## **IV. OBJETIVOS**

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar un manual de procedimientos estandarizados para la realización de levantamientos y procesamiento de nubes de puntos, adaptable a equipos de escaneo láser 3D de diversas marcas y modelos, que garantice precisión y eficiencia en proyectos de ingeniería, construcción y arquitectura.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Definir los pasos esenciales para la planificación, configuración y ejecución de levantamientos de nubes de puntos, aplicables a diversos equipos de escaneo 3D.

2. Establecer lineamientos para el procesamiento, análisis y organización de los datos obtenidos, asegurando su compatibilidad y optimización.
  
3. Proponer medidas de seguridad y mantenimiento para garantizar la protección del equipo y del personal durante las actividades de campo.
  
4. Validar la eficacia del manual mediante su aplicación en un caso de estudio real, asegurando su utilidad y adaptabilidad.

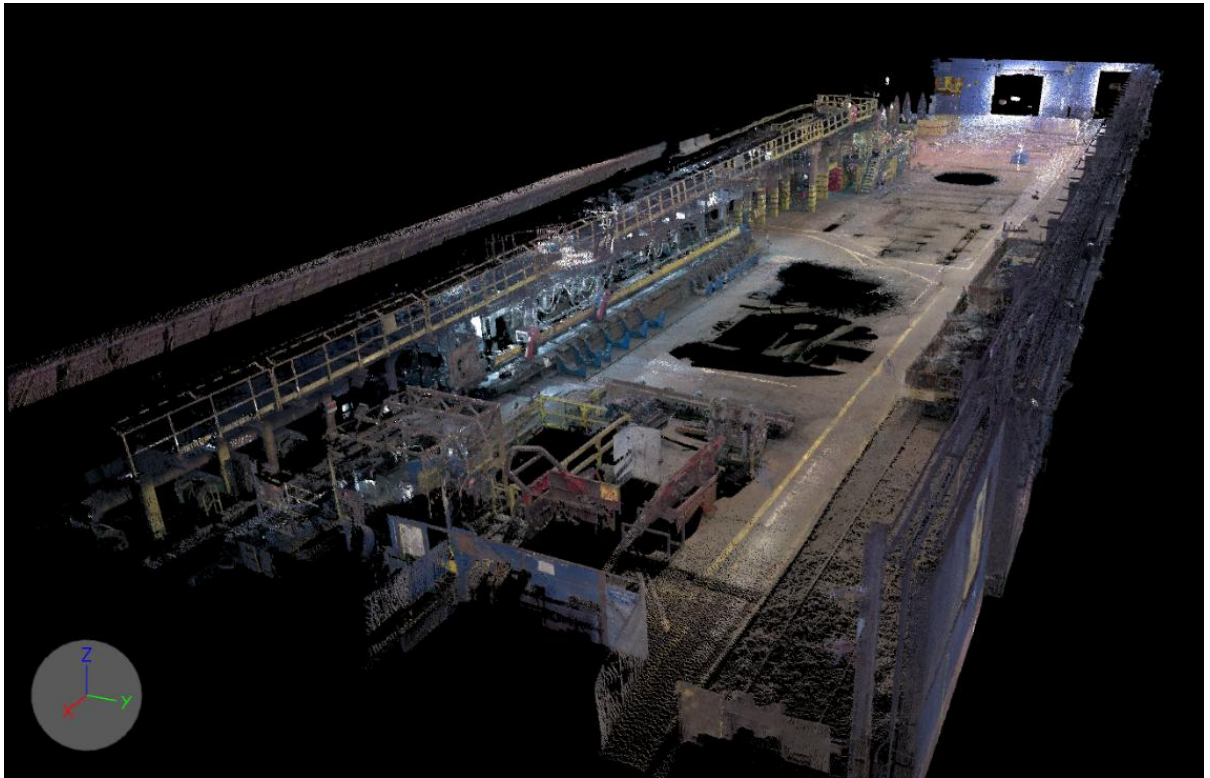
# **CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO**

## 1.1 Conceptos básicos.

### 1.1.1 Introducción al levantamiento de nube de puntos

El levantamiento mediante nubes de puntos es una técnica de captura tridimensional empleada para documentar con precisión la geometría de objetos, espacios y estructuras. Su uso se ha consolidado en sectores como la ingeniería, arquitectura, minería, manufactura y conservación patrimonial debido a su capacidad para generar modelos 3D de alta densidad y exactitud (Roca et al., 2020; Grussenmeyer & Landes, 2019).

Esta técnica se basa en dos tecnologías principales: escaneo láser terrestre (TLS/LiDAR) y fotogrametría digital, las cuales permiten capturar datos geométricos y visuales del entorno, generando un conjunto de puntos 3D que representan fielmente la realidad física. La incorporación de estas tecnologías en plataformas digitales como BIM fortalece la coordinación multidisciplinaria y la toma de decisiones fundamentadas. Definición de nube de puntos



*Ilustración 1 Ejemplificación nube de puntos*

### 1.1.2 Definición de nube de puntos

Una nube de puntos corresponde a un conjunto de coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) que describen la superficie externa de un objeto, estructura o entorno. Cada punto puede contener atributos adicionales, como color (RGB), intensidad del láser o clasificación geométrica.

Las nubes de puntos se emplean para:

- Generar modelos BIM y gemelos digitales.
- Documentar levantamientos *as-built*.
- Realizar inspecciones, detección de interferencias y análisis dimensional.
- Representar estructuras de gran envergadura o geometrías complejas (Alianza BIM, 2023).

### 1.1.3 Tecnologías de levantamiento 3D

Las dos principales tecnologías para la captura tridimensional son:

#### **A. Escaneo láser 3D (TLS/LiDAR).**

El escaneo láser terrestre es un procedimiento activo basado en la emisión de pulsos láser. Cada pulso se refleja en la superficie del objeto y retorna al sensor, calculando su distancia mediante el tiempo de viaje. El proceso permite registrar millones de puntos por segundo con precisión milimétrica, lo que lo convierte en una de las fuentes métricas más confiables disponibles (Acero Estudio, 2023).

Características técnicas:

- Sensor activo.
- Alta precisión métrica.
- Óptimo para estructuras industriales, minería, plantas, túneles y complejidad geométrica.
- Independiente de la iluminación del entorno.

## **B. Fotogrametría digital (SfM).**

La fotogrametría reconstruye modelos 3D mediante la triangulación de múltiples imágenes con traslape. Los algoritmos identifican puntos homólogos y estiman su posición espacial (Luhmann et al., 2019; Westoby et al., 2012).

- Características técnicas:
- Sensor pasivo dependiente de iluminación.
- Proporciona alta resolución visual y texturas realistas.
- Ideal en zonas de difícil acceso o con UAV (Colomina & Molina, 2014).
- Ampliamente utilizada en arquitectura, patrimonio y levantamientos aéreos.

### C. Comparación técnica LiDAR vs Fotogrametría.

<b>Criterio</b>	<b>LiDAR (Escáner láser 3D)</b>	<b>Fotogrametría digital</b>
Tipo de sensor	Activo	Pasivo
Precisión métrica	Muy alta (mm)	Media-alta (cm)
Textura visual	Limitada	Excelente
Iluminación requerida	No	Sí
Cobertura	Áreas complejas o interiores	Exteriores, aéreos, UAV
Velocidad	Alta	Depende del procesamiento
Aplicaciones	Industria, minería, plantas	Arquitectura, patrimonio, UAV

Las tecnologías se consideran complementarias, ya que LiDAR aporta exactitud métrica y fotogrametría aporta riqueza visual.

#### 1.1.4 ¿Para qué sirve una nube de puntos?

Las principales aplicaciones son:

Modelos BIM y gemelos digitales para diseño, construcción y operación.

- Documentación as-built en infraestructuras existentes.
- Topografía y modelado del terreno.
- Inspección de plantas industriales, revisión de interferencias y mediciones precisas.
- Restauración y conservación patrimonial (BIMnD, 2022).

### 1.1.5 Formatos de archivo

Los formatos más utilizados para almacenar nubes de puntos son:

<b>Formato</b>	<b>Descripción</b>	<b>Usos recomendados</b>
<b>E57</b>	Formato estándar ISO para intercambio de datos LiDAR con geometría, RGB e intensidad.	Interoperabilidad entre softwares; archivo maestro.
<b>LAS / LAZ</b>	Formato topográfico con clasificación y georreferencia.	Drones LiDAR, topografía aérea, GIS.
<b>RCS / RCP</b>	Formatos nativos de Autodesk ReCap.	Proyectos BIM (AutoCAD y Revit).
<b>PTS / XYZ</b>	Nubes simplificadas tipo texto.	Procesos intermedios o compatibilidad universal.
<b>PLY</b>	Modelo con textura y color.	Patrimonio, visualización 3D, fotogrametría.

### 1.1.6 Aplicaciones de las nubes de puntos

Las nubes de puntos se integran en:

- **Arquitectura y construcción:** modelación BIM, evaluación estructural.
- **Ingeniería industrial:** documentación de plantas, rediseño, eficiencia operacional.
- **Minería:** análisis de taludes, mapeo de instalaciones.
- **Infraestructura pública:** carreteras, puentes, túneles.
- **Patrimonio y arqueología:** restauración digital.

### 1.2 Importancia de generar un manual de procedimiento.

La estandarización de los procesos de levantamiento es esencial para garantizar:

- **Consistencia en la calidad de los datos.**
- **Reducción de errores operativos.**
- **Optimización de recursos y tiempos.**

- **Compatibilidad e interoperabilidad entre softwares y equipos.**
- **Mejores prácticas de seguridad y mantenimiento.**

Como ejemplo internacional, el **INEGI** establece protocolos para control de calidad en nubes LiDAR aéreas que garantizan precisión y completitud de datos (Tenorio Zamarripa, 2015). Asimismo, los estándares BIM como **ISO 19650** requieren flujos de información organizados y verificables.

El manual desarrollado en este trabajo se alinea con estos principios, ofreciendo una guía clara, adaptable y verificable que mejora la captura tridimensional, validada en el caso de estudio realizado en la planta CMPC Maule.

## **CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA**

## **2.1 Definición de Objetivos y Alcance del Manual**

### **Paso 1.1: Determinación del objetivo principal**

El primer paso es definir el propósito del manual, que es establecer un procedimiento estandarizado para la captura de nubes de puntos con el uso de equipos de escaneo láser y fotogrametría. Esto incluye garantizar precisión, consistencia y aplicabilidad en diferentes sectores.

### **Paso 1.2: Delimitación del alcance**

Establecer el alcance de la metodología, asegurando que cubra diferentes tipos de levantamientos (interiores, exteriores, industriales, topográficos, etc.) y sea aplicable a cualquier equipo montado en trípode, sin importar marca o modelo.

## **2.2 Investigación y Recolección de Información**

### **Paso 2.1: Revisión de tecnologías existentes**

Investigar las diferentes tecnologías de escaneo láser y fotogrametría, así como los procedimientos y estándares existentes en la industria para asegurar que el manual se base en mejores prácticas.

### **Paso 2.2: Identificación de requisitos y consideraciones clave**

Recopilar información sobre los requisitos técnicos, normativas locales e internacionales, y consideraciones prácticas de seguridad y operación para la captura precisa de nubes de puntos.

### **Paso 2.3: Consulta con expertos**

Realizar entrevistas a expertos en el área de escaneo 3D y fotogrametría para validar las mejores prácticas y detectar posibles puntos críticos en los procesos de levantamiento.

## **2.3 Diseño y Estructuración del Manual**

Paso 3.1: Establecimiento de la estructura del manual

Definir la estructura del documento, que incluirá:

- Introducción al levantamiento de nubes de puntos
- Descripción de equipos y tecnologías utilizados
- Procedimiento paso a paso del proceso de levantamiento
- Consideraciones técnicas y de seguridad
- Buenas prácticas y recomendaciones
- Procedimientos de post-procesamiento y entrega de datos

Paso 3.2: Redacción clara y técnica

Redactar el contenido del manual de manera clara y precisa, utilizando un lenguaje

técnico accesible, pero sin sacrificar la exactitud del procedimiento. Asegurarse de que el manual sea comprensible para profesionales con diferentes niveles de experiencia.

## **2.4 Validación y Revisión**

### **Paso 4.1: Revisión interna**

Realizar una revisión interna del manual, donde los miembros del equipo de desarrollo validen la exactitud de los procedimientos y la claridad del contenido.

### **Paso 4.2: Pruebas prácticas**

Llevar a cabo pruebas piloto con equipos de escaneo para aplicar los procedimientos del manual y verificar su efectividad en situaciones reales. Identificar posibles ajustes o mejoras necesarias.

### **Paso 4.3: Consulta con expertos externos**

Presentar el manual a expertos externos en escaneo 3D y fotogrametría para obtener retroalimentación adicional y asegurar que cubre todas las mejores prácticas.

## **CAPITULO 3: MANUAL DE PROCEDIMIENTO**

Este manual de procedimiento para el levantamiento de nubes de puntos está diseñado para ser aplicable a cualquier levantamiento que utilice equipos montados en trípode, sin importar la marca o modelo del dispositivo. Su objetivo es proporcionar un procedimiento claro, técnico y estructurado que abarque todas las etapas del proceso, desde la planificación hasta la ejecución, asegurando un desarrollo eficiente y preciso. El enfoque de este manual es ofrecer una guía integral, que cubra los pasos fundamentales y las consideraciones clave, con el fin de garantizar que los resultados sean consistentes y aplicables en sectores como arquitectura, ingeniería y minería. Utilizando tecnologías de escaneo láser y fotogrametría, este documento establece las mejores prácticas para lograr levantamientos precisos y de alta calidad.

Además, se elaboró un documento tipo check-list basado en este manual, con el fin de mejorar la visualización y el control de cada punto. Para más detalles, consulte el

**Anexo A.**

### 3.1 Requerimientos previos

#### 3.1.1 Equipos y Materiales Necesarios

- Dispositivo de escaneo 3D (escáner láser o cámara fotogramétrica).
  
- Trípode o soporte estable.
  
- Dispositivo móvil, tableta o computadora para configuración y monitoreo.
  
- Baterías completamente cargadas para el equipo principal y los dispositivos de soporte.
  
- Software de procesamiento compatible con nubes de puntos (ej. Leica Cyclone, Autodesk Recap, CloudCompare, etc.).

- Tarjetas de almacenamiento o disco duro externo para respaldo de datos.
  
- Elementos de medición auxiliares como cinta métrica o distancímetro láser.
  
- Equipo de Protección Personal (EPP).

### 3.1.2 Consideraciones Iniciales

- Inspeccionar el estado del equipo y accesorios.
  
- Verificar la conexión entre los dispositivos y el equipo de escaneo.
  
- Asegurarse de que las condiciones climáticas sean favorables (evitar lluvia o alta humedad).
  
- Definir los objetivos del levantamiento y las áreas a escanear.

## 3.2 Procedimiento

### 3.2.1 Planificación Previa

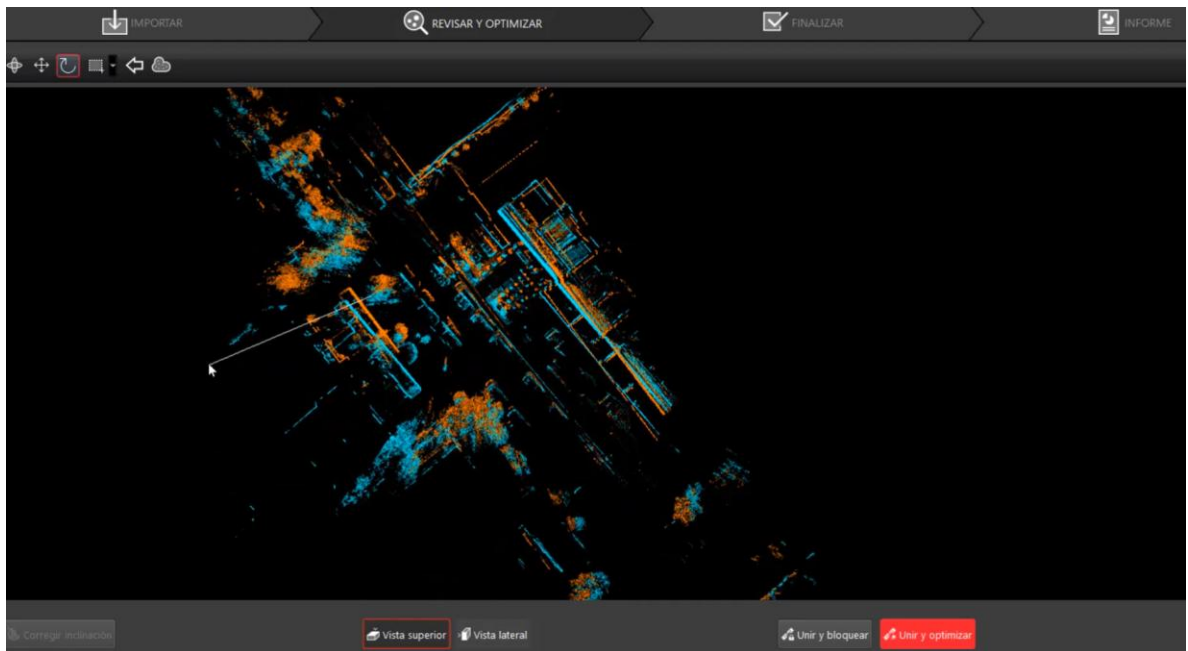
#### 1. Inspección del Sitio:

- Evaluar el tamaño del área, accesibilidad y posibles obstrucciones.
- Identificar superficies reflectantes (acero pulido, vidrio) que puedan interferir con el escaneo.

#### 2. Definición de Puntos de Escaneo:

- Planificar las ubicaciones de los equipos para garantizar una cobertura completa.

- Planificar según una visita al terreno o un plano del área, para estimar los tiempos necesarios en función de la cantidad de estaciones requeridas y el tiempo estimado para completar cada una de ellas.
  
- Asegurar un solapamiento adecuado entre los puntos de escaneo (aproximadamente 10 metros entre posiciones en escáner láser o fotogramétricamente según el ángulo de cobertura).
  
- Es importante priorizar bordes definidos, esquinas y geometrías rectangulares al planificar las capturas, ya que estas características permiten un mejor solape entre las muestras durante la alineación. Por el contrario, trabajar con geometrías predominantemente circulares puede dificultar el proceso de solape y reducir la precisión de la alineación.



*Ilustración 2 Alineación nube de puntos, software Leica Cyclone Register*

### 3. Preparación del Equipo:

- Cargar completamente las baterías.
- Configurar el software en los dispositivos de control.

### 3.2.2 Configuración del Equipo

#### 1. Instalación:

- Colocar el equipo sobre el trípode o soporte y nivelarlo.
  
- Asegurarse de que esté firme y estable.

#### 2. Conexión:

- Encender el equipo y conectarlo al dispositivo de configuración mediante el software correspondiente.
  
- Verificar la conexión estable antes de iniciar.

#### 3. Parámetros de Escaneo:

- Configurar la resolución (alta, media o baja) según los requerimientos del proyecto.
  
- Activar la captura de imágenes o datos complementarios si se requieren texturas o colores para el modelo.

### 3.2.3 Ejecución del levantamiento

#### 1. Iniciar Escaneo o Captura:

- Ejecutar el levantamiento desde el software de control o directamente en el equipo.
  
- Supervisar el progreso en tiempo real mediante el software.

## 2. Reubicación del Equipo:

- Mover el dispositivo a las posiciones planificadas asegurando el solapamiento adecuado.
- Si se observa una alta interferencia entre los escaneos, se recomienda tomar varias muestras a baja resolución para mejorar la fuerza de solapamiento en la nube de puntos.
- Repetir el proceso hasta cubrir toda el área de interés.

## 3. Verificación de Calidad:

- Revisar los datos capturados en campo para identificar posibles omisiones o errores.
- Realizar escaneos o capturas adicionales si es necesario.

### 3.2.4 Post-Procesamiento de datos

#### 1. Transferencia de Datos:

- Descargar los archivos al software de procesamiento seleccionado.

#### 2. Registro y Alineación:

- Utilizar herramientas automáticas o manuales para alinear las nubes de puntos.
- Verificar que el modelo consolidado sea preciso.
- Es fundamental verificar cada alineación de manera manual, ya que el alineamiento automático puede, en ocasiones, considerar solapamientos inexistentes y ajustar las capturas de forma incorrecta, lo que resulta en uniones imprecisas dentro de la nube de puntos.

### 3. Limpieza de Datos:

- Eliminar ruido o elementos no deseados (personas, vehículos, etc.).
- Asegurarse de que la nube de puntos sea clara y útil para su aplicación.
- Es recomendable evitar la eliminación excesiva de elementos no deseados, ya que, en muchas ocasiones, estos objetos pueden ser útiles para mejorar el solapamiento y la alineación entre los escaneos.

### 4. Exportación:

- Exportar la nube de puntos en formatos estándar (E57, LAS, PTS, OBJ) compatibles con software CAD o BIM.

### 3.3 Manejo de los datos y almacenamiento

- En proyectos grandes, es recomendable segmentar la nube de puntos según el límite de tamaño de archivo en gigabytes, ya que en ocasiones el archivo puede superar los 20 GB. Para tener en cuenta esto, las siguientes consideraciones de resolución pueden ser útiles:

**Baja resolución:** ~50-200 MB por estación.

**Media resolución:** ~200-500 MB por estación.

**Alta resolución:** ~500 MB - 2 GB por estación.

- Organización de los datos: Los archivos de nube de puntos deben ser almacenados de forma estructurada para facilitar su acceso y análisis.

- Formatos de almacenamiento: Usar formatos estándar como .las, .xyz, .e57, que son compatibles con la mayoría de los software de procesamiento.
- Copia de seguridad: Crear respaldos de los datos para evitar la pérdida de información importante.

### **3.4 Recomendaciones**

#### **3.4.1 Recomendaciones de Seguridad**

- Utilice equipo de protección personal (EPP) si el levantamiento se realiza en sitios industriales o de construcción.
- Evite exponer el BLK360 a condiciones extremas de temperatura o humedad.

- Mantenga el área despejada durante el escaneo para evitar interferencias.
  
- Proteger los equipos de golpes, caídas y exposición prolongada al sol.

#### 3.4.2 Recomendaciones en el proceso

- Verificar las condiciones climáticas antes de realizar los escaneos, ya que el equipo no está diseñado para operar bajo lluvia.
  
- Durante el escaneo, se debe tener especial precaución en áreas con superficies altamente reflectantes, como acero inoxidable pulido, cristales o charcos de agua, ya que estas superficies dificultan el rebote del láser hacia el equipo, impidiendo la captura de datos en esos sectores.

- Para resolver dudas sobre el funcionamiento o detalles técnicos de los equipos debe contactarse o buscar en el sitio del fabricante su manual técnico.

### Diseño de un cronograma de trabajo

El diseño del cronograma de trabajo es crucial para garantizar que el levantamiento de nube de puntos se realice de manera eficiente, dentro de los plazos establecidos y sin interrupciones. Esto involucra una planificación detallada de las actividades, teniendo en cuenta tanto el tiempo disponible como los recursos humanos y técnicos necesarios.

Pasos para diseñar el cronograma de trabajo:

#### 1. Definición de las actividades clave:

##### a) Preparación previa al levantamiento:

- Inspección y evaluación inicial del área de estudio.
  
- Revisión de la disponibilidad y condición del equipo.

- Capacitación o revisión de procedimientos de uso del equipo si es necesario.

b) Levantamiento de la nube de puntos:

- Determinar el número de escaneos necesarios y las ubicaciones de cada uno. Esto dependerá del tamaño y complejidad del área, así como de la resolución deseada.
- Tiempo estimado por cada escaneo, que puede variar según la cantidad de puntos a capturar y las condiciones del entorno.

c) Post-procesamiento de datos:

- Transferencia de los datos.
- Registro, alineación y limpieza de la nube de puntos.

- Verificación de la calidad de los datos.
  
- Generación de modelos 3D o informes a partir de la nube de puntos.

2. Establecer la duración de las actividades:

- Estimar el tiempo necesario para cada actividad según su complejidad.  
Por ejemplo, un escaneo puede durar entre 2 a 5 minutos, pero el tiempo total dependerá de cuántos escaneos sean necesarios en el área y de la logística para mover el equipo entre las posiciones de escaneo.

3. Secuenciación y organización de las actividades:

- Organizar las actividades en el orden en que deben realizarse. Por ejemplo, el levantamiento en el campo debe realizarse antes del procesamiento de datos.

- Determinar si algunas actividades se pueden realizar de manera simultánea (por ejemplo, varias personas pueden ayudar con la preparación y configuración del equipo mientras otro operador realiza los escaneos).

#### 4. Asignación de recursos:

- Hay que asegurar que el equipo esté disponible y en condiciones operativas para el levantamiento. Además, asignar al personal necesario para el manejo del equipo y para las actividades de post-procesamiento.
- Considerar las necesidades de software y hardware para procesar los datos y generar los modelos finales.

5. Definir hitos del proyecto:

- Establecer fechas clave a lo largo del cronograma, como la finalización de la fase de levantamiento de campo, el inicio del procesamiento de datos y la entrega de los resultados finales.
- Incluir revisiones y validaciones para asegurar que los resultados del levantamiento sean precisos y completos.

6. Evaluación de riesgos:

- Prever posibles contratiempos como mal tiempo, fallas en el equipo, problemas de accesibilidad al área de estudio, o falta de personal, y establecer soluciones o tiempos de contingencia.
- Tener un plan de respaldo para el equipo o personal en caso de que ocurra algún imprevisto.

## 7. Monitorización y ajuste del cronograma:

- A medida que avanza el levantamiento, realizar un seguimiento del progreso respecto al cronograma para asegurarse de que las actividades se estén completando a tiempo.
- Estar preparado para ajustar el cronograma si se presentan retrasos o complicaciones, para mantener el proyecto en marcha y cumplir con los plazos de entrega.

El cronograma debe ser flexible pero detallado, para asegurar que todos los pasos se lleven a cabo de manera eficiente, con el tiempo y los recursos adecuados.

## **CAPITULO 4: ESTUDIO DE CASO**

El presente estudio de caso tiene como objetivo aplicar el manual de procedimiento para el levantamiento de nube de puntos utilizando el equipo BLK360 de Leica Geosystems en un proyecto específico. La intervención se realizó en una chipeadora de madera de la planta CMPC Maule, ubicada en Yervas Buenas, con el propósito de detallar toda la línea de procesamiento involucrada en la generación de chips de madera.

El objetivo principal del levantamiento fue capturar con precisión la información tridimensional de la planta industrial, permitiendo una representación digital completa de las instalaciones y de los equipos críticos del proceso productivo. Esta información es fundamental, ya que se busca actualizar la línea de procesamiento para optimizar los tiempos y mejorar la productividad, utilizando modelos 3D generados a partir de la nube de puntos como herramienta de análisis y planificación.

### **3.1 Descripción del Proyecto**

La chipeadora de madera es un componente clave en el procesamiento de la materia prima para la obtención de chips utilizados en procesos industriales. El levantamiento

con nube de puntos fue solicitado para obtener una representación tridimensional precisa de:

1. **La línea completa de procesamiento**, desde la recepción de la madera hasta la salida de los chips.
2. **Los equipos principales**, tales como cintas transportadoras, tolvas, trituradoras, sistemas de alimentación y descarga, motores, y otros elementos críticos.
3. **La disposición general del área de trabajo**, incluyendo estructuras de soporte, espacios de operación y accesos.

### **3.2 Metodología Aplicada**

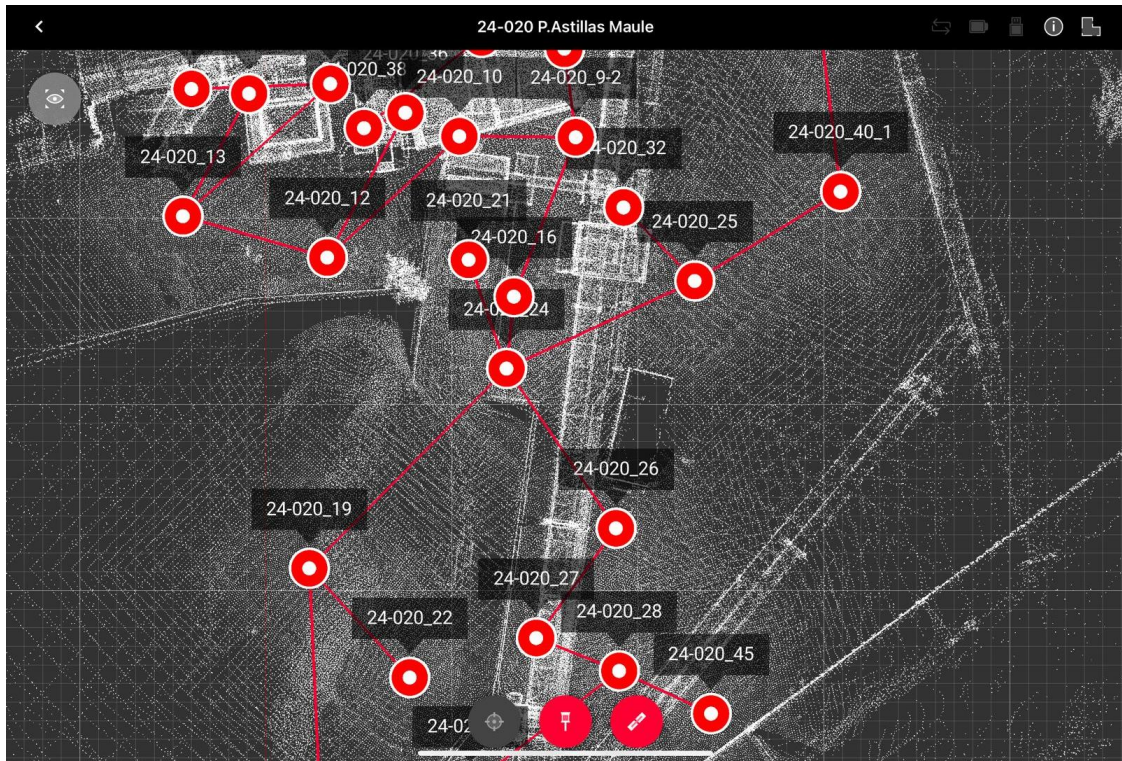
El manual de procedimiento fue aplicado de manera estructurada, siguiendo las fases de planificación, ejecución y post-procesamiento descritas previamente.

## 1. Planificación del Levantamiento

- **Objetivos específicos:** Capturar una nube de puntos detallada que permitiera visualizar y medir con precisión cada equipo y componente de la línea.
- **Definición de posiciones de escaneo:** Se planificaron puntos estratégicos a lo largo de la línea de procesamiento, respetando una separación máxima de 15 metros entre posiciones para garantizar la superposición adecuada.



Ilustración 3 Muestra posicionamiento de estaciones 1



*Ilustración 4 Muestra posicionamiento de estaciones 2*

- **Revisión del entorno:** Se identificaron superficies reflectantes (acero pulido, cristales y charcos de agua) y se tomaron medidas para minimizar interferencias durante la captura de datos.
- **Verificación de condiciones climáticas:** Se aseguró que no existiera lluvia ni humedad excesiva que pudiera afectar el funcionamiento del BLK360.

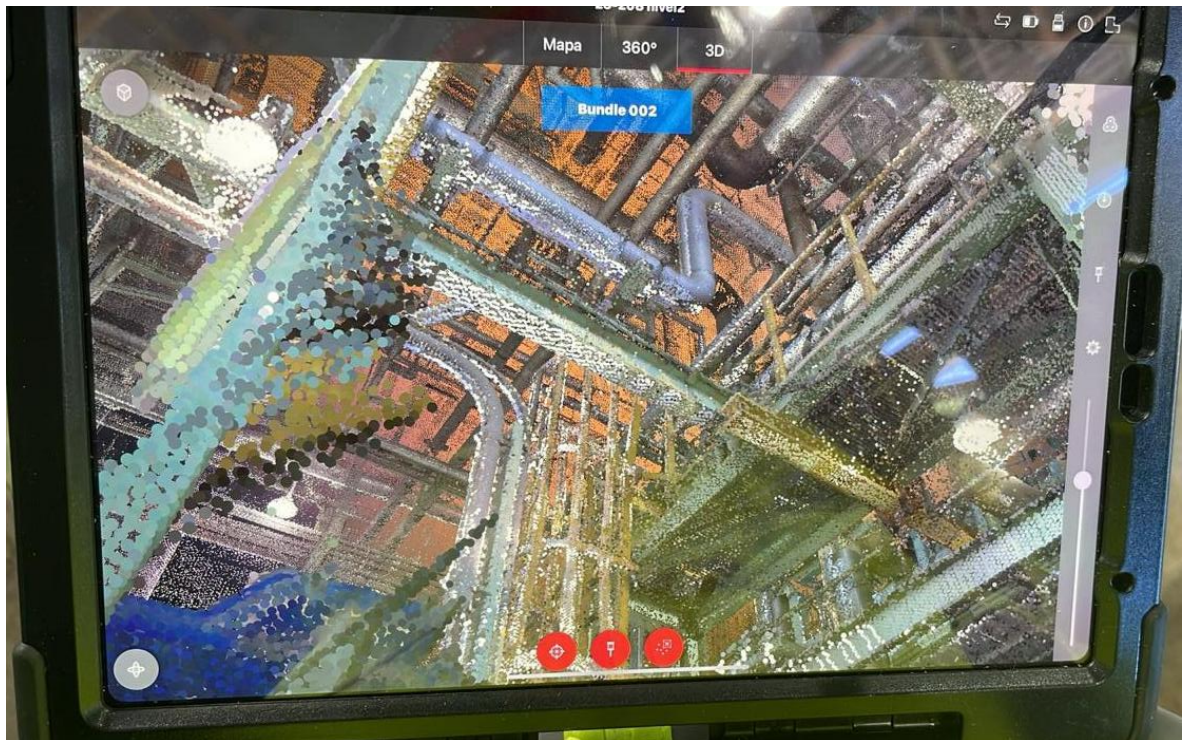
## 2. Ejecución del Escaneo

- Se realizaron **escaneos consecutivos** desde las posiciones planificadas, abarcando toda la línea de procesamiento.



*Ilustración 5 Escáner en posición*

- Durante la captura, el operador utilizó la aplicación **Cyclone Field 360** para verificar la calidad y cobertura de los escaneos en tiempo real.



*Ilustración 6 Verificación de calidad del levantamiento*

- Se tomaron fotografías 360° con el equipo para complementar los datos de la nube de puntos; ya que el equipo permite escanear y fotografiar a la vez.



*Ilustración 7 Fotografías del área*

### 3. Procesamiento de Datos

- Los datos obtenidos se descargaron y procesaron en el software **Leica Cyclone REGISTER 360**.

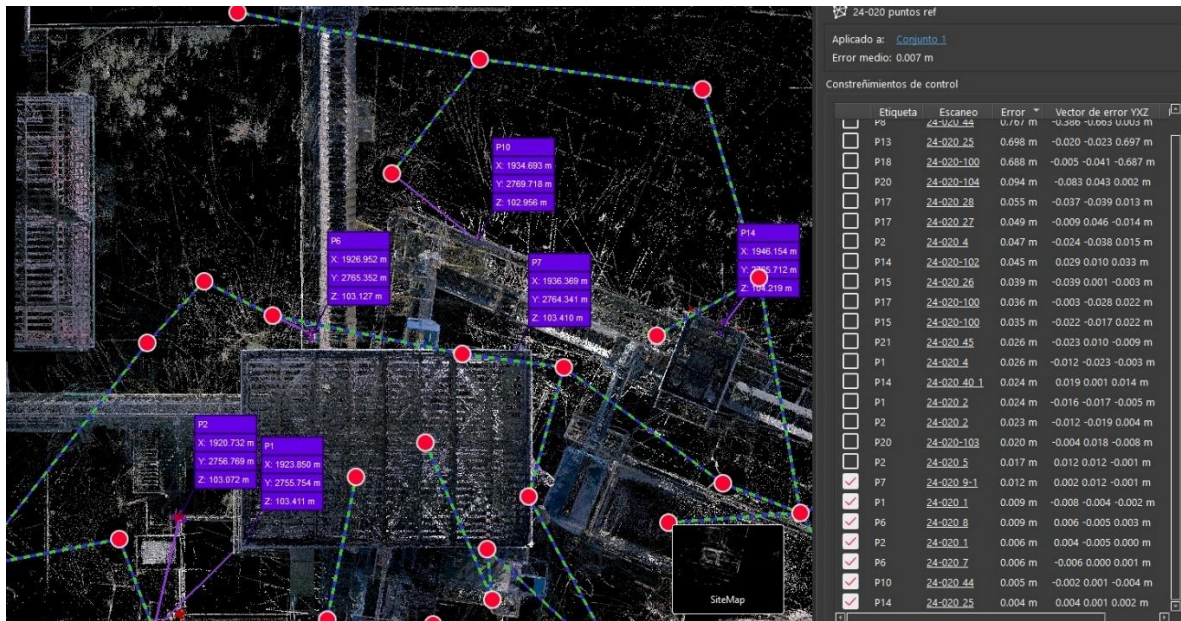


Ilustración 8 Alineación de las estaciones

- Se realizó el **registro de las nubes de puntos**, fusionando los escaneos individuales para obtener un modelo 3D consolidado de la chipeadora y su línea de procesamiento.

- Se aplicó un proceso de limpieza para eliminar ruido y datos no deseados, como puntos generados por superficies reflectantes.
- Finalmente, se exportó la nube de puntos en formatos estándar (.rcp y .rcs) compatibles con software de modelado 3D y CAD.

#### **4. Resultados Obtenidos**

La aplicación del manual de procedimiento permitió alcanzar los siguientes resultados:

##### **1. Generación de una nube de puntos precisa y detallada:**

- Se obtuvo un modelo 3D completo de la chipeadora de madera, con representación exacta de todos los equipos y componentes.
- La nube de puntos permite medir dimensiones y distancias críticas para análisis posteriores.



*Ilustración 9 Maqueta final 1*



*Ilustración 10 Maqueta final 2*

**2. Visualización y documentación de la línea de procesamiento:**

- El modelo resultante facilitó la identificación de la disposición de equipos, rutas de transporte de madera y áreas de operación.
- Se capturaron detalles estructurales y mecánicos que podrán ser utilizados para tareas de mantenimiento, rediseño o ampliación.

### 3. Eficiencia en la ejecución:

- Gracias a la planificación previa y al uso del manual, se logró optimizar los tiempos de escaneo y garantizar una cobertura completa del área de interés.

### 4. Conclusión del Estudio de Caso

La implementación del manual de procedimiento con el equipo BLK360 en la chipeadora de madera de CMPC Maule demostró ser efectiva para obtener una **nube de puntos precisa y detallada**. Este levantamiento proporciona una herramienta invaluable para el análisis y documentación de la línea de procesamiento, mejorando

la toma de decisiones en tareas de planificación, mantenimiento y optimización de procesos.

El éxito de este estudio valida la aplicabilidad del manual como una **guía técnica clara y estructurada**, asegurando la calidad y eficiencia de los levantamientos realizados con tecnología de escaneo láser.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSION**

El desarrollo de un manual de procedimientos para el levantamiento y procesamiento de nubes de puntos con equipos de escaneo láser 3D representa una contribución significativa al campo de la ingeniería, la arquitectura y la construcción. Este trabajo aborda una necesidad crucial en la industria: la estandarización de procesos en un entorno tecnológico en constante evolución. Mediante la creación de un protocolo técnico y adaptable a diferentes marcas y modelos de escáneres, se establece una herramienta que optimiza la precisión, eficiencia y calidad en proyectos que requieren representaciones tridimensionales precisas.

Uno de los logros principales de este trabajo es la estructura detallada del manual, que cubre cada etapa del proceso: desde la planificación previa, pasando por la configuración y ejecución del levantamiento, hasta el post-procesamiento de los datos capturados. Este enfoque integral asegura que los profesionales puedan realizar levantamientos con alta consistencia y minimizando errores. Además, se incluyen medidas de seguridad y mantenimiento para garantizar tanto la integridad de los operadores como la preservación de los equipos, aspectos fundamentales para la sostenibilidad de las operaciones en campo.

La flexibilidad del manual permite su aplicación con una amplia gama de equipos de escaneo 3D, lo que amplía su utilidad en diversos contextos y sectores. Esto no solo facilita la adopción de tecnologías avanzadas, sino que también fomenta la capacitación y transferencia de conocimientos entre los profesionales, reduciendo la curva de aprendizaje y promoviendo el uso eficiente de los recursos disponibles. Asimismo, la incorporación de un formato tipo checklist para cada etapa del procedimiento asegura un seguimiento riguroso, evitando omisiones y mejorando la organización y control de las actividades.

La validación del manual mediante un caso de estudio real destaca su efectividad y aplicabilidad práctica. En este caso, la documentación de una planta industrial permitió comprobar la utilidad del procedimiento para capturar información tridimensional precisa, facilitando el análisis y planificación de mejoras en las instalaciones. Este caso de estudio demostró que la implementación del manual no solo optimiza tiempos y recursos, sino que también aporta un valor añadido al permitir la toma de decisiones fundamentadas en datos precisos y de alta calidad.

Además de los beneficios operativos, este trabajo subraya la importancia de la estandarización para la sostenibilidad y competitividad en la industria. La documentación sistemática de procedimientos facilita la integración de nuevas tecnologías y la adaptación a diferentes escenarios, lo que resulta esencial en un entorno

donde las exigencias de precisión y eficiencia son cada vez mayores. Asimismo, se promueve un enfoque colaborativo, donde el conocimiento técnico puede ser compartido y replicado en múltiples proyectos y disciplinas.

En términos de tecnología, el trabajo también resalta las capacidades y limitaciones de los equipos de escaneo láser 3D, enfatizando la necesidad de una configuración y calibración adecuadas para maximizar su rendimiento. La elección de software especializado para el procesamiento y análisis de datos es otro aspecto fundamental destacado, ya que garantiza la obtención de modelos digitales útiles y precisos, listos para ser utilizados en aplicaciones prácticas como diseño, restauración o planificación de proyectos.

En conclusión, este trabajo no solo establece un estándar para el uso de tecnologías de escaneo láser 3D, sino que también promueve una cultura de calidad y eficiencia en la industria. La creación de un manual de procedimientos versátil y adaptativo constituye una base sólida para futuros desarrollos, permitiendo que los profesionales enfrenten los desafíos tecnológicos con confianza y precisión. Este enfoque integral y práctico contribuye al avance de la ingeniería, la arquitectura y la construcción, sentando las bases para un uso más amplio y sostenible de las tecnologías de captura tridimensional en el futuro.

## CAPÍTULO 6: REFERENCIAS

1. Acero Estudio. (2023, septiembre 18). *El escáner láser 3D: La captura del mundo en nube de puntos*. <https://aceroestudio.com/el-escaner-laser-3d-la-captura-del-mundo-en-nube-de-puntos/>
2. Alianza BIM. (2023). *Nube de puntos: Todo lo que necesitas saber*. <https://alianzabim.com/blog/nube-de-puntos-todo-lo-que-necesitas-saber/>
3. BIMForum Chile. (2023). *Guía de Modelación BIM para proyectos públicos*. Ministerio de Obras Públicas.
4. BIMnD. (2022). *Trabajar con nubes de puntos: ¡miedo fuera!*. <https://www.bimnd.es/trabajar-con-nubes-de-puntos-miedo-fuera/>
5. BuildBIM. (2024, abril 23). *Potenciando los flujos de trabajo BIM con nubes de puntos, LiDAR y fotogrametría*. <https://www.buildbim.cl/2024/04/23/potenciando-los-flujos-de-trabajo-bim-con-nubes-de-puntos-lidar-y-fotogrametria/>

6. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
7. Grussenmeyer, P., & Landes, T. (2019). 3D recording and modelling in cultural heritage preservation. *ISPRS Archives*, 42(2/W15), 573–580. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-573-2019>
8. ISO. (2018). *ISO 19650: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including BIM*. International Organization for Standardization.
9. Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2019). *Close-range photogrammetry and 3D imaging*. De Gruyter.
10. Roca, J., Mora, R., & Díaz, R. (2020). Aplicaciones del escaneo láser 3D en proyectos de ingeniería y arquitectura. *Revista Ingeniería y Construcción*, 35(2), 55–67. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000200055>

11. Tenorio Zamarripa, J. V. (2015). *Presentación taller nube de puntos INEGI.*

INEGI.

[https://cloud.sdsc.edu/v1/AUTH\\_opentopography/www/shortcourses/15\\_NPAC/  
Presentacion\\_Taller\\_Nube\\_de\\_Puntos\\_INEGI.pdf](https://cloud.sdsc.edu/v1/AUTH_opentopography/www/shortcourses/15_NPAC/Presentacion_Taller_Nube_de_Puntos_INEGI.pdf)

12. Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M.

(2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

## **CAPÍTULO 7: ANEXOS**

**Anexo A:** Check-list para el procedimiento de levantamiento de nube de puntos con BLK360.

Este check-list detalla los pasos y actividades clave para llevar a cabo un levantamiento exitoso utilizando el escáner, asegurando que cada etapa del proceso sea monitoreada y controlada de manera eficiente.