



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
CÁLCULO DE VOLÚMENES DE ACOPIOS MEDIANTE LÁSER ESCÁNER 3D EN UNA  
CONCRETERA

Línea de investigación: Procesamiento digital de imágenes y señales

Informe de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

**Autor:**

López Dávila, Hans Francisco Alonso

**Asesor:**

Herrera Díaz, Marco Antonio

(ORCID: 0000-0002-8578-4259)

**Jurado:**

Nizama Espinoza, Víctor

Fernández Ybarra, Felicita Nancy

Sernaque Aucahuasi, Fernando Antonio

Lima – Perú

2023

# CÁLCULO DE VOLÚMENES DE ACOPIOS MEDIANTE LÁSER ESCÁNER 3D EN UNA CONCRETERA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | <a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet   | 2% |
| 2 | <a href="http://www.qsi.pe">www.qsi.pe</a><br>Fuente de Internet   | 2% |
| 3 | <a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a><br>Fuente de Internet   | 1% |
| 4 | <a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a><br>Fuente de Internet   | 1% |
| 5 | <a href="http://geometriaytrigonometria.wordpress.com">geometriaytrigonometria.wordpress.com</a><br>Fuente de Internet   | 1% |
| 6 | Patricia Mañana-Borrazás, Anxo Rodríguez Paz, Rebeca Blanco-Rotea. "Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela)", <i>Arqueología de la Arquitectura</i> , 2008<br>Publicación | 1% |

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | 9  |
| ABSTRAC .....  | 10 |
| I. INTRODUCCIÓN.....   | 11 |
| 1.1. Trayectoria del autor .....   | 11 |
| 1.1.1 Municipalidad Distrital de Lince .....                             | 12 |
| 1.1.2 Organismo de Formalización de la Propiedad Informal(COFOPRI) ..... | 12 |
| 1.1.3 Química Suiza Industrial Del Perú S.A. – QSI PERU S.A.....         | 13 |
| 1.1.4 ACRE SURVEYING SOLUTIONS PERU S.A.C.....                           | 13 |
| 1.1.5 QSI PERU S.A.....  | 14 |
| 2.1. Descripción de la empresa .....                                     | 14 |
| 1.2.1. Datos Generales .....   | 15 |
| 1.2.2. Misión .....  | 15 |
| 1.2.3. Visión.....   | 15 |
| 1.2.4. Pilares culturales .....  | 15 |
| 1.2. Organigrama de la empresa .....                                     | 16 |
| 1.3. Áreas y funciones desempeñadas.....                                 | 16 |
| 1.3.2. Especialista Técnico en Geomática .....                           | 17 |
| 1.3.3. Supervisor de Cuentas de Topografía y Monitoreo .....             | 18 |
| II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA .....                        | 19 |
| 2.1. Bases teóricas.....   | 19 |
| 2.1.1. Escáner Láser .....   | 19 |
| 2.1.2. Registro inteligente .....  | 21 |
| 2.1.3. VIS .....   | 22 |
| 2.1.4. Nube de puntos .....  | 23 |
| 2.1.5. Levantamiento Topográfico.....                                    | 23 |
| 2.1.6. Levantamiento Topográfico con escáner láser: .....                | 24 |
| 2.1.7. Volumen.....  | 24 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.2.   | Objetivos .....                           | 24 |
| 2.2.1. | Objetivo General .....                    | 24 |
| 2.2.2. | Objetivos Específicos.....                | 25 |
| 2.3.   | Equipos y software.....                   | 25 |
| 2.3.1. | Equipos. ....                             | 25 |
| 2.4.   | Metodología .....                         | 27 |
| III.   | APORTES MÁS DESTACADOS DE LA EMPRESA..... | 47 |
| IV.    | CONCLUSIONES .....                        | 49 |
| V.     | RECOMENDACIONES .....                     | 51 |
| VI.    | REFERENCIAS.....                          | 53 |
| VII.   | ANEXOS .....                              | 56 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Coordenadas UTM - WGS84 ZONA 19 SUR.....   | 35 |
| <b>Tabla 2</b> Resultados del cálculo de volumen entre plataforma y clincker.....                             | 41 |
| <b>Tabla 3</b> Tiempo efectivo para el levantamiento con escáner láser en resolución alta con imágenes .....  | 43 |
| <b>Tabla 4</b> Tiempo efectivo para el levantamiento con escáner láser en resolución media sin imágenes ..... | 44 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Organigrama QSI Perú S.A. ....   | 16 |
| <b>Figura 2</b> Escaner Láser Leica, modelo: RTC360.....   | 20 |
| <b>Figura 3</b> Pre-registro automático con el escáner Leica RTC360.....                                 | 21 |
| <b>Figura 4</b> Extracción de características en imágenes de cámaras VIS del RTC360 .....                | 22 |
| <b>Figura 5</b> Nube de puntos de material de Clincker .....   | 23 |
| <b>Figura 6</b> Componentes del sistema .....  | 25 |
| <b>Figura 7</b> Softwares de Leica Geosystems para tratamiento de datos de los escáneres láser .....     | 26 |
| <b>Figura 8</b> Flujo de trabajo para determinar el volumen de acopios.....                              | 27 |
| <b>Figura 9</b> Target o diana.....  | 28 |
| <b>Figura 10</b> Operación remota con un dispositivo móvil, del escáner RTC360 de Leica Geosystems. .... | 29 |
| <b>Figura 11</b> Funcionamiento y operación directa con el equipo.....                                   | 30 |
| <b>Figura 12</b> Memoria USB.....  | 31 |
| <b>Figura 13</b> Workstation Laptop Lenovo ThinkPad P17 2da Gen .....                                    | 31 |
| <b>Figura 14</b> Cyclone Register 360 .....  | 32 |
| <b>Figura 15</b> Alineamiento de la nube automática .....  | 33 |
| <b>Figura 16</b> Error medio de conjunto para la alineación con valores óptimos .....                    | 34 |
| <b>Figura 17</b> Selección de la diana o target que corresponde al punto de control.....                 | 35 |
| <b>Figura 18</b> Georeferenciación .....   | 36 |
| <b>Figura 19</b> Formatos de exportación de datos .....  | 36 |
| <b>Figura 20</b> Nube de puntos limpia: Domo Clincker.....   | 37 |
| <b>Figura 21</b> Malla de clincker – vista 1 .....   | 38 |
| <b>Figura 22</b> Malla de clincker - vista 2 .....   | 38 |
| <b>Figura 23</b> Malla de clincker – vista 3 .....   | 39 |
| <b>Figura 24</b> Malla de la plataforma existente .....  | 40 |
| <b>Figura 25</b> Malla de clincker vs Plataforma.....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 26</b> Cálculo de volumen.....  | 41 |
| <b>Figura 27</b> Levantamiento con escáner láser RTC360 – Configuración de resolución .....                     | 42 |
| <b>Figura 28</b> Tiempo efectivo por los 35 estacionamientos .....  | 42 |
| <b>Figura 29</b> Tiempo total del procesamiento: Alta resolución con imágenes.....                              | 43 |
| <b>Figura 30</b> Tiempo total del procesamiento: Mediana resolución sin imágenes.....                           | 43 |
| <b>Figura 31</b> Peso de la data en diferentes configuraciones .....  | 44 |
| <b>Figura 32</b> Comparación del tiempo de Importación de la nube de puntos en diferentes configuraciones ..... | 45 |
| <b>Figura 33</b> Comparación del tiempo de medición con Escáner Láser vs Estación Total.....                    | 45 |
| <b>Figura 34</b> Comparación de la cantidad de personal en campo de acuerdo al tipo de equipo utilizado.....    | 46 |
| <b>Figura 35</b> Optimización del tiempo con el uso del escáner láser frente a la estación total .....          | 46 |

### **Agradecimiento**

A mi amado Dios por darme la vida y el privilegio de ser su hijo y servirle con todo mi corazón, por regalarme una familia hermosa.

A mi madre Shirley, por ser mi ejemplo de vida, por su apoyo incondicional y aliento en todo momento.

A mi padre Francisco por creer en mí y darme el consejo necesario cuando lo necesité.

A mi esposa Jeanette por ser mi inspiración, motivación, cariño y amor sincero.

A mis hijas Valeria y Natalia por ser de motivación cada día de mi vida.

A mi alma máter, La Universidad Nacional Federico Villarreal por la formación profesional que me brindó.

A toda mi familia y amigos que confiaron en mí y me apoyaron para lograr esta meta.



### **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado a mis padres, mi esposa y mis hijas por su paciencia, aliento y apoyo incondicional durante mi etapa académica y profesional.

## RESUMEN

El presente informe, tiene como propósito describir la trayectoria del autor, describiendo su experiencia profesional en el ejercicio laboral de su carrera. El autor, en la actualidad labora en una empresa que brinda consultoría y productos de la más alta calidad para los rubros de construcción, minería, industrias y geomática, en la cual describe su organización, valores, misión y pilares estratégicos. Obteniendo como logro importante la implementación de los sensores LiDAR o escáneres laser 3D para diversas aplicaciones de Ingeniería, como se detallará en este informe, que tiene como finalidad generar el levantamiento y/o captura de información de acopios con Escáner Laser 3D para el cálculo de volumen de clinker en una planta de producción de concreto, donde indicará el proceso metodológico para el levantamiento, transferencia, procesamiento de la información y los resultados obtenidos, realizando la comparación de la metodología tradicional mediante el uso de estaciones totales y la presentada en este informe, que concluirá con la implementación de esta tecnología para reducir el tiempo de exposición del personal en el levantamiento de información y obtener una data más precisa y real del volumen de este tipo de material.

*Palabras claves:* cálculo de volumen, escáner láser, levantamiento de información

## ABSTRAC

The purpose of this report is to describe the trajectory of the author, describing his professional experience in the exercise of his career. The author currently works in a company that provides consultancy and the highest quality products for the construction, mining, industrial and geomatics sectors, in which he describes his organization, values, mission and strategic pillars. Obtaining as an important achievement the implementation of LiDAR sensors or 3D laser scanners for various engineering applications, as will be detailed in this report, whose purpose is to generate the survey and/or capture of information from stockpiles with 3D Laser Scanner for the calculation of clinker volume in a concrete production plant, where it will indicate the methodological process for the collection, transfer, processing of information and the results obtained, comparing the traditional methodology through the use of total stations and the one presented in this report. , which will conclude with the implementation of this technology to reduce the exposure time of personnel in the collection of information and obtain more accurate and real data on the volume of this type of material.

*Keywords:* volume calculation, laser scanner, information gathering.

## I. INTRODUCCIÓN

Con los avances tecnológicos en la actualidad se vienen desarrollando nuevos flujos de trabajo de manera eficiente, respaldadas por soluciones que te permiten capturar información de la realidad en 3D, con el objetivo de mejorar y optimizar los resultados de diversos proyectos de Ingeniería, Arquitectura y Construcción, teniendo múltiples propósitos y aplicaciones de uso de los datos.

Por tal motivo, en el presente informe se desarrolla un proceso metodológico con la última tecnología para la captura masiva de datos, que es el escáner láser 3D, cuya finalidad es la de obtener información de la realidad de forma precisa y en un periodo corto de tiempo, cuyo objetivo es la determinación volumétrica de acopios en una concretera.

### 1.1. Trayectoria del autor

El autor, es Bachiller de la escuela de Ingeniería Geográfica de la Universidad Nacional Federico Villarreal y cuenta con más de 10 años de experiencia en instituciones públicas y privadas, con una alta formación y conocimiento en Topografía, Geodesia Geométrica, Geodesia Satelital, Cartografía, Fotogrametría, Procesamiento Digital de Imágenes y Catastro, con la finalidad de facilitar los procesos en la gestión de proyectos, construcción, catastro urbano, topografía automatizada, geodesia satelital y monitoreo geotécnico.

Por esta razón, se detalla una breve descripción sobre su experiencia profesional del autor:

### ***1.1.1 Municipalidad Distrital de Lince***

Desde diciembre del año 2011 hasta abril del año 2012, fue técnico catastral, realizando el levantamiento de datos específicos de unidades catastrales asignadas como la elaboración y edición de planos catastrales, mediante el software CAD, con el objetivo de generar una base gráfica mediante el uso de los sistemas de información geográfica con el software ArcGIS.

### ***1.1.2. Organismo de Formalización de la Propiedad Informal(COFOPRI)***

Desde agosto del año 2012 hasta diciembre del 2013, fue practicante de la Subdirección de Geodesia y Topografía, realizando labores en las siguientes unidades:

- Fotogrametría: El autor, realizó los planeamientos de vuelo a ejecutar y posteriormente la restitución de fotografías aéreas con el objetivo de generar la cartografía catastral de los distintos proyectos asignados a la institución.
- Geodesia y Topografía: El autor participó en diversas actividades como el establecimiento y procesamiento de puntos geodésicos para posteriormente realizar los levantamientos topográficos y replanteos con fines de catastro y formalización de propiedades.

Desde enero hasta junio del año 2014, el autor, se desempeñó como Geodesta en la unidad de Geodesia, estableciendo marcos de referencia en diversos distritos de la ciudad de Lima con fines de catastro y formalización de propiedades.

Desde julio del 2014 hasta febrero del 2015, el autor, fue Técnico en Procesamiento de Datos Geodésicos siendo responsable del control terrestre(georeferenciación) de diversos proyectos aero fotogramétricos en diversas regiones del país y posteriormente fue responsable de

la supervisión y asistencia técnica en los levantamientos topográficos ejecutados por las oficinas zonales de COFOPRI con el objetivo de la elaboración de la cartografía catastral con fines de formalización.

### ***1.1.3. Química Suiza Industrial Del Perú S.A. – QSI PERU S.A.***

Desde abril del 2015 hasta agosto del 2019, el autor, tuvo el cargo de Especialista Técnico en Geomática, siendo responsable del área de soporte y capacitación de Leica Geosystems y Hexagon Geoespacial en el Perú, dictando cursos de topografía, geodesia, cartografía, cartografía matemática, fotogrametría y teledetección, ejecutando el apoyo técnico al proceso de pre-venta mediante visitas y demostraciones del equipamiento y/o software a requerir por el eventual usuario.

### ***1.1.4. ACRE SURVEYING SOLUTIONS PERU S.A.C.***

Desde octubre del 2019 hasta mayo del 2022, el autor, responsable de la dirección de la compañía en Perú, realizando los planes estratégicos, de negocios para el personal comercial a cargo, contribuyendo en su crecimiento técnico, comercial e incrementando el 30% de sus ventas durante todo el tiempo de trabajo. El autor, tuvo como logro más destacado el desarrollo del segmento ferroviario de una compañía suiza para las líneas del metro 1 y 2 de Lima, haciendo uso de las tecnologías, llamada carro de geometría de vías para el mantenimiento, desarrollo de sus vías férreas y el uso de los escáneres láser 3D para diversas aplicaciones de ingeniería, construcción y minería.

### **1.1.5. QSI PERU S.A.**

Desde mayo del 2022 hasta la actualidad, el autor, se desempeña como Supervisor de Cuentas de Topografía y Monitoreo realizando las siguientes funciones:

- Dirección del equipo de especialistas de productos y fuerza de ventas de la unidad de Hexagon, conformada por las unidades de topografía, control de Maquinarias y captura de realidad (escaneo láser).
- Desarrollo del segmento de Monitoreo Geotécnico para el sector de mediana minería con las compañías que representa la empresa como Leica Geosystems e IDS Georadar.
- Elaboración de reportes mensuales, trimestrales de cierre a la gerencia de unidad de negocios, teniendo como objetivo, mantener las relaciones rentables con los clientes a mediano y largo plazo.
- Supervisión de los servicios brindados, garantizando una atención con valores, principios y de alta calidad técnica a nuestros clientes.

### **2.1. Descripción de la empresa**

La empresa, QSI PERU S.A. es una compañía peruana con más de 80 años de experiencia brindando asesoría y productos de la más alta calidad para los rubros de construcción, minería, industrias, textil y agro veterinaria.

Cuenta con un portafolio variado de marcas propias y alianzas de distribución con las principales marcas internacionales de insumos para cada sector. Teniendo como enfoque, ser el principal referente para nuestros clientes y proyectos en los cuales participamos, destacando por nuestra propuesta de valor.

Una de las unidades de negocios que presenta la empresa, es la unidad de Geosistemas, la cual representa a dos compañías internacionales de mucha trayectoria a nivel mundial, que son, Leica Geosystems y IDS Georadar.

### ***1.2.1. Datos Generales***

Razón social: QSI PERU S.A.

RUC: 20546357377

Dirección Legal: Av. Republica de Panama 2577 (Alt. Edif. Interbank de Av. Javier Prado)

### ***1.2.2. Misión***

Acompañar activamente a nuestros clientes en el crecimiento y desarrollo exitoso de sus negocios a través de la experiencia, tecnología, calidad de productos y servicios, brindando asesorías técnicas especializada para facilitar soluciones innovadoras y confiable a sus necesidades.

### ***1.2.3. Visión***

Ser el referente y mejor aliado en cada uno de los negocios en que participamos

### ***1.2.4. Pilares culturales***

- Hacer las cosas bien: Nuestro éxito es la suma del esfuerzo diario de todos. No nos conformamos hasta que lo bueno sea mejor y lo mejor excelente.
- Respeto: Las diferencias nos enriquecen, el respeto nos une.
- Integridad: Hacemos lo correcto siempre, aunque nadie nos esté mirando.

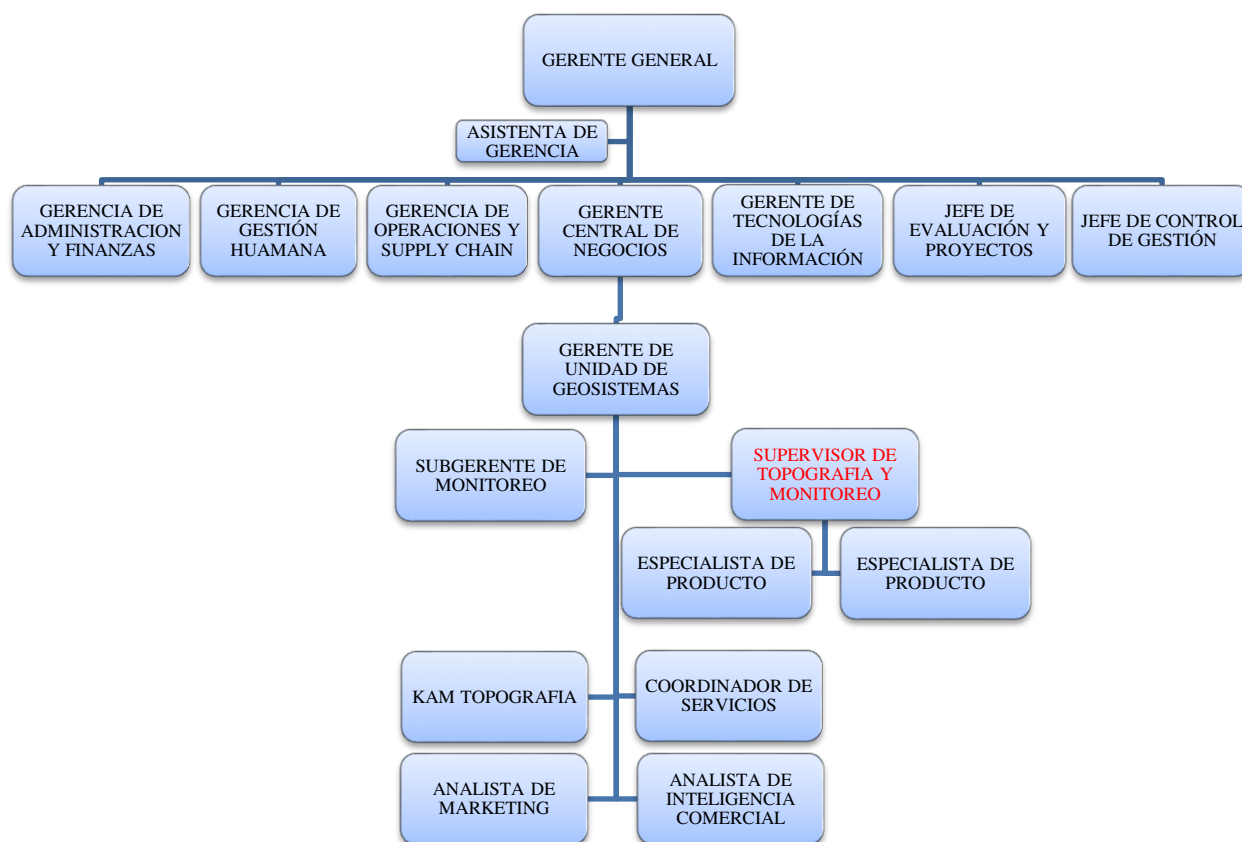


- Compromiso: Tenemos la camiseta bien puesta, para nosotros el compromiso es un acto, no una palabra.

## 1.2. Organigrama de la empresa

**Figura 1**

*Organigrama QSI Perú S.A.*



*Nota.* Adaptado del Organigrama de QSI Perú S.A.

## 1.3. Áreas y funciones desempeñadas

El autor, inició su etapa laboral en QSI PERU S.A. en el mes de marzo del 2015, en la unidad de geomática, unidad que fue cambiada por el desarrollo y crecimiento de la empresa por la unidad de Geosistemas, comenzando su labor como especialista en geomática en el área de

geomática y como Supervisor de Cuentas de Topografía y Monitoreo en la unidad de negocios de Geosistemas.

Conforme a ello, se detalla las funciones que realizó el autor como parte en las áreas mencionadas dentro de la empresa QSI PERU S.A.:

### ***1.3.2. Especialista Técnico en Geomática***

#### **Unidad de Geomática**

##### ***Funciones.***

- Responsable del área de soporte y capacitación de Leica Geosystems y Hexagon Geoespacial en el país, dictando cursos de Topografía, Geodesia, Cartografía, Cartografía Matemática, Fotogrametría y Percepción remota. Detallando conceptos y aplicaciones a cada cliente para el correcto uso de los equipos topográficos y/o geodésicos de la marca Leica y software de Hexagon Geoespacial, según las necesidades que requieren.
- Brindar soporte técnico al proceso de Pre-venta mediante visitas y demostraciones del equipamiento a requerir por el eventual usuario, sean estaciones totales, niveles, receptores geodésicos, Submétricos, Georadares y escáneres láser de la marca Leica Geosystems.
- Apoyo técnico al proceso de Pre-venta mediante demostraciones de los sistemas de monitoreo geotécnico con el sistema automatizado llamado Leica Geomos, realizando la integración de diversos sensores como estaciones totales robóticas, receptores GNSS, sensores meteorológicos, extensómetros, piezómetros, etc.

- Brindar apoyo técnico al proceso de pre-venta mediante visitas y demostraciones del software a requerir por el eventual usuario, sean software para fotogrametría, teledetección o GIS, del grupo Hexagon Geoespacial, tales como, Erdas Imagine, Imagine Photogrammetry, Imagine UAV y Geomedia.

### ***1.3.3. Supervisor de Cuentas de Topografía y Monitoreo***

#### **Unidad de Geosistemas**

##### ***Funciones.***

- Desarrollo del Departamento de Monitoreo Geotécnico para el sector de mediana minería, aplicando las tecnologías geoespaciales de las compañías internacionales de Leica Geosystems e IDS Georadar.
- Desarrollo del Departamento de Control y Guiado de Maquinarias (Machine Control) e implementación de los mismos en diversos proyectos emblemáticos en el sector de la construcción y minería en el país.
- Dirección del personal de especialistas de productos y apoyo técnico al personal de fuerza de ventas de las unidades de Topografía y Geodesia, Control y Guiado de Maquinarias(Machine Control) y Captura de Realidad.
- Elaboración de reportes mensuales, trimestrales de cierre a la gerencia de unidad de negocios.
- Mantenimiento y fidelización en las relaciones directas con los clientes a mediano y largo plazo.
- Supervisión de los servicios brindados, garantizando una atención con principios y especializada de alta calidad a nuestros clientes.

## II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

En el presente trabajo, la actividad específica a describir es la implementación de una metodología de captura de datos con el sensor LiDAR terrestre, llamado escáner láser 3D, cuyo enfoque específico es el cálculo volumétrico de los acopios de clinker en una división cementera.

Para ello se elaborará un proceso metodológico en el que se dividirá en:

- Objetivos
- Bases teóricas
- Equipamiento y software
- Metodología para el cálculo de volumen
- Configuraciones y comparaciones
- Procesamiento de nube de puntos
- Resultados

### **2.1. Bases teóricas**

Es esencial definir los conceptos empleados, por esta razón se describe brevemente, términos como escáner láser, registro inteligente, VIS, nube de puntos, levantamiento topográfico, levantamiento topográfico con escáner láser, volumen.

#### ***2.1.1. Escáner Láser***

Villajos (2013) indicó que un sensor láser 3D, es un dispositivo que analiza un objeto o escena con la finalidad de agrupar datos de su distancia, forma, etc. Cuya información capturada

se emplea para múltiples propósitos, principalmente en el empleo de modelos tridimensionales que se obtienen a partir de la nube de puntos capturadas por este sensor, que definirán su posición en el espacio de cada punto obtenido por el escáner.

El escáner láser es un instrumento que realiza un barrido de una superficie obteniendo miles de puntos por segundo cuyo resultado conforman un modelo 3D de los objetos medidos reflejando la realidad porque cogen la textura de la superficie medida porque incorpora una cámara fotográfica de alta resolución y una de sus aplicaciones es el registro en 3D de todo tipo de volúmenes como terrenos, edificios, excavaciones arqueológicas, agujeros, fosas, etc. (Mañana et al., 2008).

## **Figura 2**

*Escaner Láser Leica, modelo: RTC360*



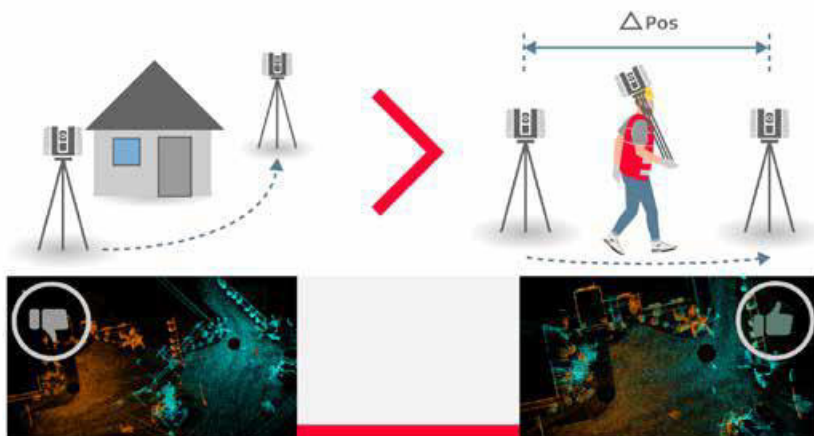
*Nota.* Tomado de “Leica Cyclone Field hoja de información” (s.f.)

### 2.1.2. Registro inteligente

Llamado también, Smart Registration o SmartReg, cuya funcionalidad se encuentra en el escáner láser de Leica Geosystems, modelo RTC360, que tiene como propósito determinar de forma independiente y de manera automática su posición y orientación respecto a su último estacionamiento del equipo, que unido al sistema visual inercial(VIS) le permitirá realizar un pre registro automático de los estacionamientos realizados en campo, sin la necesidad de exportarlo al software de oficina, con la particularidad de visualizarlo y ejecutarlo en la aplicación Cyclone Field 360 de la Tablet o dispositivo móvil en campo (Leica, 2020)

#### Figura 3

*Pre-registro automático con el escáner Leica RTC360*



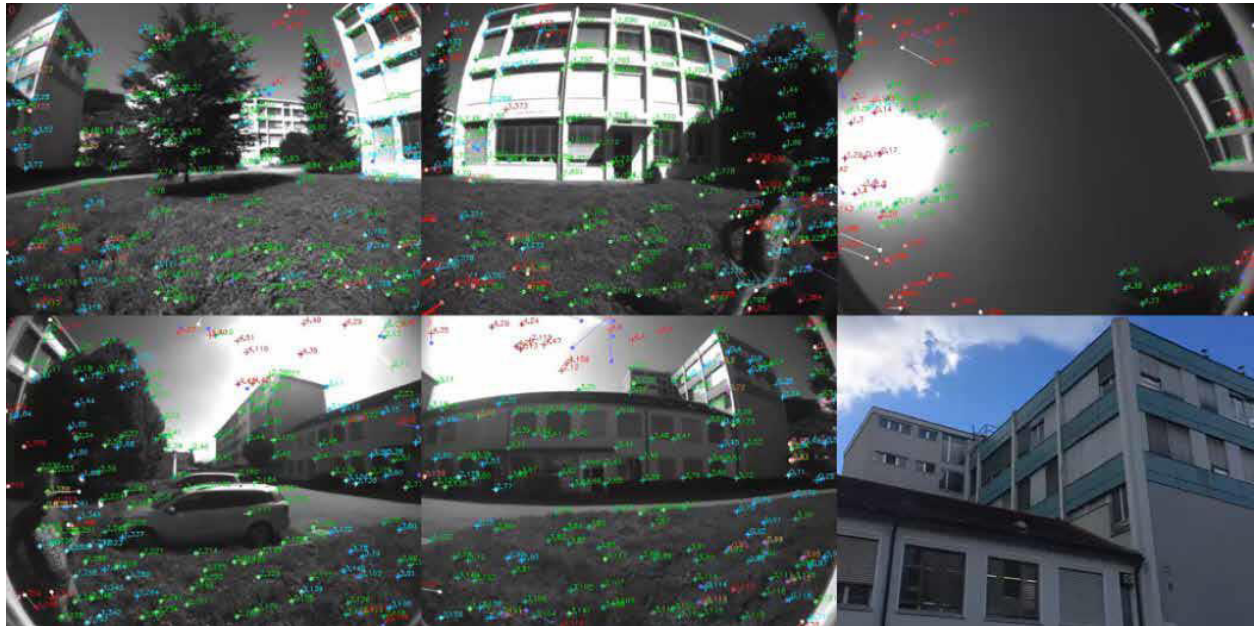
*Nota.* Tomado de Leica RTC360: SLAM en escaneo láser terrestre (2020).

### 2.1.3. VIS

Es el cálculo entre la posición relativa y la orientación entre 2 estacionamientos(escaneos) consecutivos del escáner láser, cuyo segundo estacionamiento se puede rotar, desplazar para coincidencia con el primer estacionamiento con la finalidad de combinar de manera geométrica y correctamente los 2 estacionamientos. El principio de funcionamiento del VIS (mapeo y localización en simultaneo) combina la información obtenida por las cámaras, con la IMU (unidad de medición inercial) obteniendo un posicionamiento preciso (Leica, 2020).

#### Figura 4

*Extracción de características en imágenes de cámaras VIS del RTC360*



*Nota.* Tomado de Leica RTC360: SLAM en escaneo láser terrestre (2020).

#### **2.1.4. Nube de puntos**

Muchas investigaciones y tesis suelen definir a la nube de puntos como el conjunto de datos obtenidos por los escáneres láser conformadas por miles de puntos referidos a un sistema de coordenadas (x, y, z) Villajos (2013) señala:

Las nubes de puntos tienen múltiples aplicaciones, entre las que se incluyen la elaboración de modelos tridimensionales en CAD de piezas fabricadas, visualización, animación, texturización y aplicaciones de personalización masiva. Una aplicación en la que las nubes de puntos se utilizan directamente es la metrología y en la inspección industrial. (p. 35)

#### **Figura 5**

*Nube de puntos de material de Clincker*



#### **2.1.5. Levantamiento Topográfico**

El levantamiento topográfico reside de un conjunto de actividades llevadas a cabo con la finalidad de describir la composición de aquellas partes de la superficie de la Tierra denominada relieve, conformada por la ubicación de accidentes naturales o artificiales (Zúñiga, 2010), esta



información se obtiene a partir de la posición de puntos en el terreno, dando como resultado las formas y detalles a ser mostrados en un plano.

#### **2.1.6. Levantamiento Topográfico con escáner láser:**

Al respecto, Zúñiga (2010, p. 98) refiere que, “existen también las estaciones totales denominadas los “escáner”, que proporcionan una mayor definición de levantamiento topográfico, que utiliza el láser conjuntamente con el video de alta velocidad para capturar grandes cantidades de datos, tanto de coordenadas como de imágenes”

#### **2.1.7. Volumen**

El volumen es una magnitud derivada, que es determinado por la cantidad de espacio que puede ocupar un cuerpo en un ambiente, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades, es el metro cúbico(m<sup>3</sup>) correspondiente al espacio que hay en el interior de un cubo de 1m de lado. Sin embargo, también se utilizan submúltiplos, tales como, el decímetro cúbico (dm<sup>3</sup>) y el centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>).

Las equivalencias con el metro cúbico son:  $1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ dm}^3$ ,  $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$  (Cera et al.,2013)

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo General**

- Calcular el volumen de acopios mediante láser escáner 3D en una concretera.

### 2.2.2. *Objetivos Específicos*

- Reducir el tiempo de exposición del personal en el levantamiento de información con escáner láser 3D.
- Obtener un modelo tridimensional de mejor precisión y real del volumen.

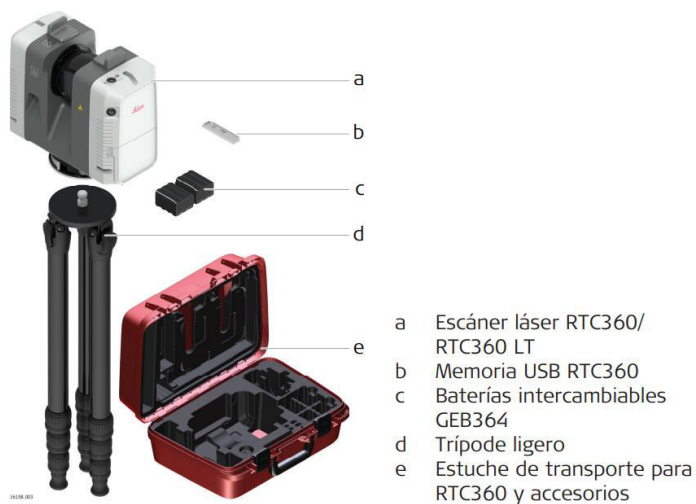
## 2.3. Equipos y software

### 2.3.1. *Equipos.*

- Escáner Láser Leica RTC360.
- Accesorios del escáner: Baterías, cargador, trípode, memoria USB.
- IPAD Pro 12.9.
- Workstation Laptop Lenovo ThinkPad P17 2da Gen.

## Figura 6

### *Componentes del sistema*



*Nota.* Tomado del Manual de uso del escáner Leica RTC360/RTC360 LT (2023).

### 2.3.2. Software

- Cyclone Field 360: Aplicación que va sobre un dispositivo móvil que puede ser un celular o Tablet cuya finalidad es controlar el escáner láser para la gestión de los datos obtenidos y el pre registro automático en campo (Leica, 2022).
- Cyclone Register 360: Software de escritorio que permite realizar la importación de los datos obtenidos en campo, analizarlos, limpiarlos y georeferenciarlos con el objetivo de procesar la nube de puntos y exportarla en un formato compatible para trabajar en otros softwares (Leica, 2021).
- Cyclone 3DR: Software de escritorio con distintos módulos para aplicaciones como topografía, inspección de tanques, arquitectura, ingeniería, construcción, entre otros que permitirá realizar tareas sobre las nubes de puntos como limpieza, clasificación, mallado, modelado, etc (Leica, 2019)

#### Figura 7

*Softwares de Leica Geosystems para tratamiento de datos de los escáneres láser*



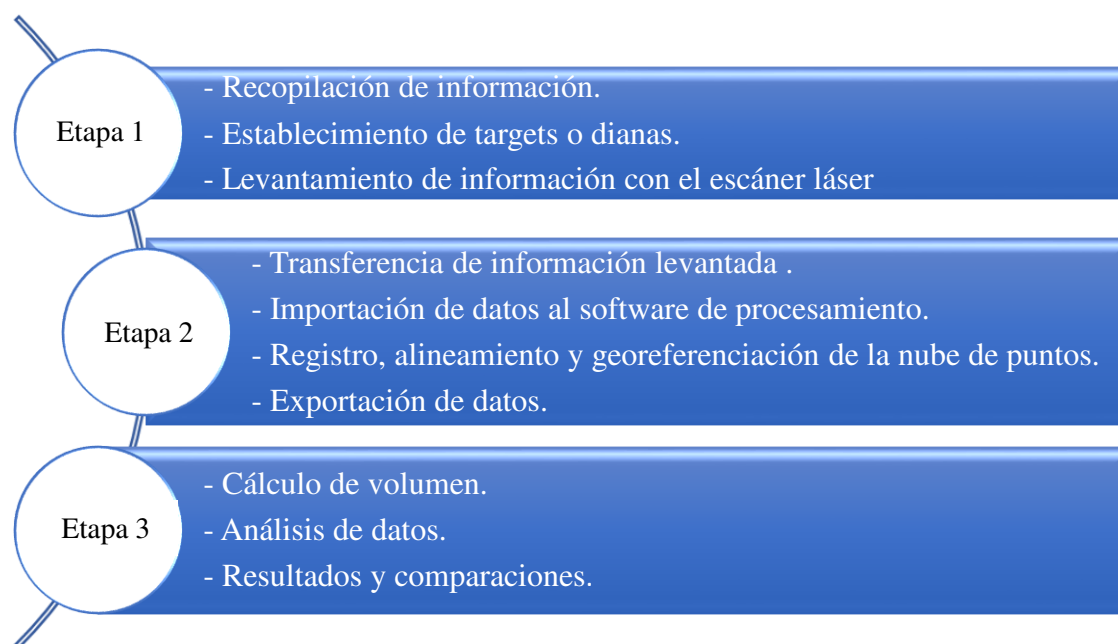
*Nota.* Adaptado de las fichas de datos técnicos de los softwares de Leica Geosystems

## 2.4. Metodología

El escaneo láser es un método que nos permite obtener la superficie 3D de manera automática con el uso de la tecnología LiDAR, capturando todo lo que se encuentre en el campo visual del equipo obteniendo una densa nube de puntos con coordenadas X, Y, Z de cada punto de la superficie e imágenes RGB (Riveiro et al., 2015). La metodología que desarrolló el autor para obtener los objetivos planteados en este trabajo, fue producto de la combinación de técnicas, equipos y procedimientos realizados de manera continua. La cual, fue realizada en tres etapas o fases, partiendo de una etapa inicial con el levantamiento de información utilizando los puntos de control establecidos en la zona de trabajo, seguido del procesamiento de los datos obtenidos y finalizando con el cálculo, análisis e interpretación de resultados, resumiendo las etapas en la siguiente figura:

### Figura 8

*Flujo de trabajo para determinar el volumen de acopios*



### 2.4.1. Etapa 1

2.4.1.1. **Recopilación de información.** En esta etapa se obtiene toda la información necesaria para desarrollar el levantamiento de información con el escáner láser 3D, sean los puntos de control para la georeferenciación de los datos, las condiciones del lugar de trabajo, accesos, y toda la información relevante para realizar con éxito el levantamiento topográfico con el escáner láser.

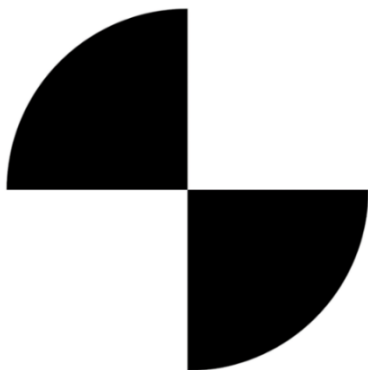
2.4.1.2. **Establecimiento de targets o dianas.** Para establecer los targets o dianas, es necesario tener puntos de control que se puedan identificar mediante el modelo de dianas requerido por el software de procesamiento, llamado, Cyclone Register 360.

El establecimiento de estas dianas tiene como finalidad la georeferenciación de la información levantada en campo. Asimismo, las dianas deben ser de forma circular, de color blanco y negro y en textura mate (no reflectivo).

Una vez definido el tipo de diana a utilizar, se procede a ubicar en los lugares que corresponden a los puntos de control.

### Figura 9

*Target o diana*



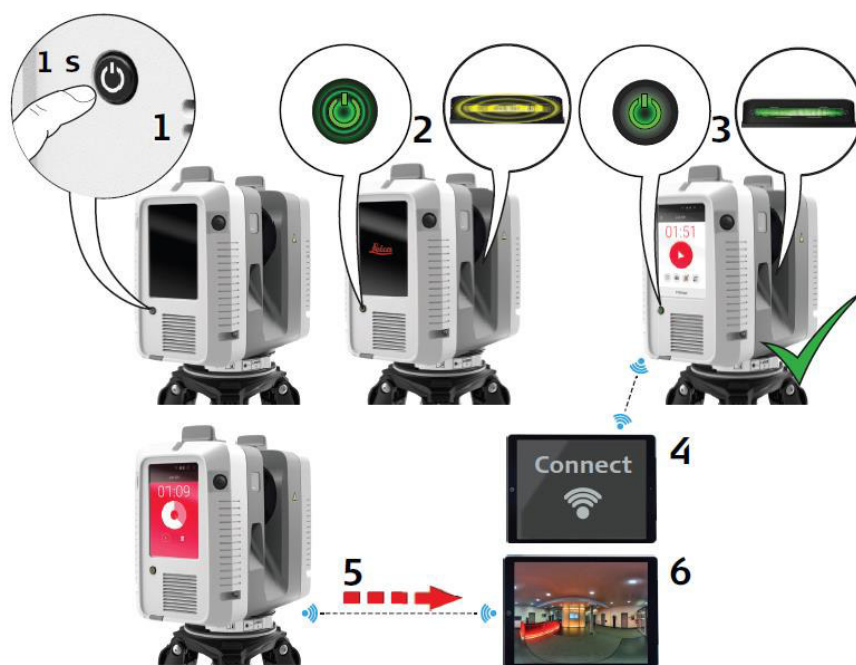
Nota. Tomado de la compañía Convert3D Modelo de diana de uso libre (2019).

2.4.1.3. **Levantamiento de información con el escáner láser.** El levantamiento de información se realiza por medio de un trabajo de campo, en el cual se procede a obtener la información de las zonas de interés de estudio del presente informe con el uso del escáner láser de Leica, modelo RTC360, en una resolución alta, con imágenes, haciendo uso de la aplicación Cyclone Field 360 en la Tablet(IPad) que se usa como controladora, siendo un total de 35 estacionamientos para completar el levantamiento de datos.

El levantamiento de información con este equipo, se puede realizar mediante dos opciones; de manera remota con un dispositivo móvil (celular o Tablet) o de manera directa en el equipo.

**Figura 10**

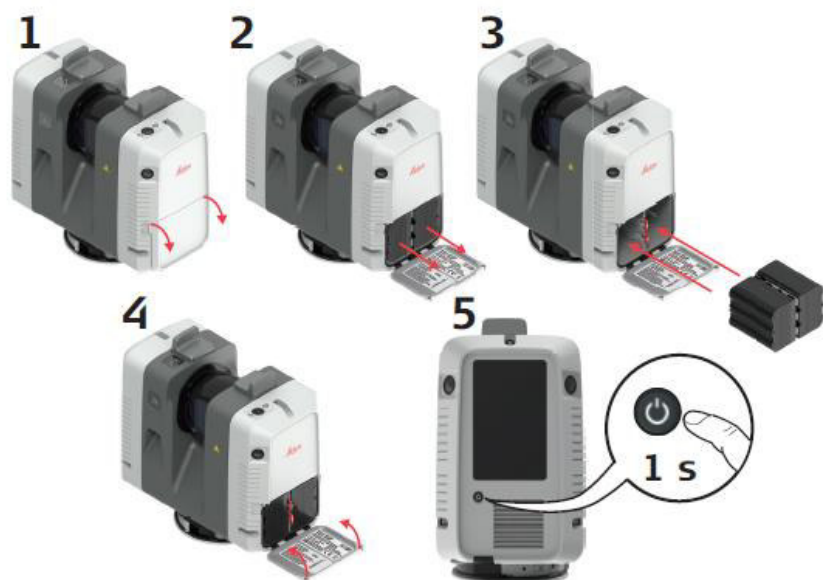
*Operación remota con un dispositivo móvil, del escáner RTC360 de Leica Geosystems.*



*Nota.* Tomado del Manual de uso del escáner Leica RTC360/RTC360 LT (2023).

**Figura 11**

*Funcionamiento y operación directa con el equipo.*



*Nota.* Tomado de la guía rápida v. 3.0 del escáner Leica RTC360/RTC360 LT (2023).

Durante cada estacionamiento se puede proceder a realizar el pre-registro de la nube de puntos gracias a la tecnología VIS, en la cual, Leica indica, que es un “sistema de medición inercial mejorado con vídeo para seguir el movimiento de la posición del escáner en relación al anterior estacionamiento en tiempo real” (2022, p.2), con el uso del VIS y el sensor inercial que posee el escáner, brinda un importante salto en la productividad, debido a que todas las nubes de puntos generadas estarán pre-posicionadas reduciendo el tiempo del procesamiento de los datos.

#### **2.4.2. Etapa 2**

Para el procesamiento de datos tridimensionales existen muchas técnicas según el objetivo que se tenga iniciando con el filtrado de puntos que te permite reducir la cantidad de datos con el que vas a trabajar para suavizar la superficie y alinearla, utilizando pares de nubes, considerando

una de ellas como fija para alcanzar el alineamiento respectivo con el siguiente grupo de puntos (Bitelli, 2004)

2.4.2.1. **Transferencia de información levantada.** Al culminar la primera etapa, se procede a descargar la información levantada mediante una memoria USB (propio de la marca – Leica Geosystems) del escáner hacia la estación de trabajo o Workstation.

El escáner láser de Leica Geosystems, modelo RTC360 tiene también la particularidad de realizar la descarga de los datos mediante WiFi hacia el computador.

Es necesario, siempre utilizar los mismos accesorios del fabricante para garantizar la seguridad de los datos.

### Figura 12

*Memoria USB*



*Nota.* Tomado de Lista de equipamiento RTC360 (2023).

### Figura 13

*Workstation Laptop Lenovo ThinkPad P17 2da Gen*



*Nota.* Tomada de Big Power, Big Performance, Lenovo ThinkPad P17 Gen 2 Specifications (2021).



2.4.2.2. **Importación de datos al software de procesamiento.** Una vez ejecutada la transferencia de datos a la Workstation o computador, se procede a iniciar el software Cyclone Register 360 para realizar la importación de los datos, generando un nuevo trabajo, personalizando el software para preparar los datos para el procesamiento.

Leica (2020) indica que el software Cyclone REGISTER 360 está diseñado para brindar velocidad y simplicidad a los flujos de trabajo de realidad digital gracias a una nueva interfaz visual de proyecto y flujos de trabajo guiados paso a paso hasta obtener la nube de puntos lista para trabajar en cualquier software de terceros.

**Figura 14**

*Cyclone Register 360*



*Nota.* Tomada de QuickStart Guide de Cyclone REGISTER 360 (2020).

2.4.2.3. **Registro, alineamiento y georeferenciación de la nube de puntos.** Creado el trabajo en el software, se procede a realizar el registro y alineamiento de cada estacionamiento.

Este proceso, consiste en unificar la nube de puntos por cada estacionamiento de manera automática con la finalidad de crear un solo grupo de puntos, con toda la información obtenida durante el levantamiento de datos, obteniendo así, un buen resultado en la unificación de todos los estacionamientos realizados.

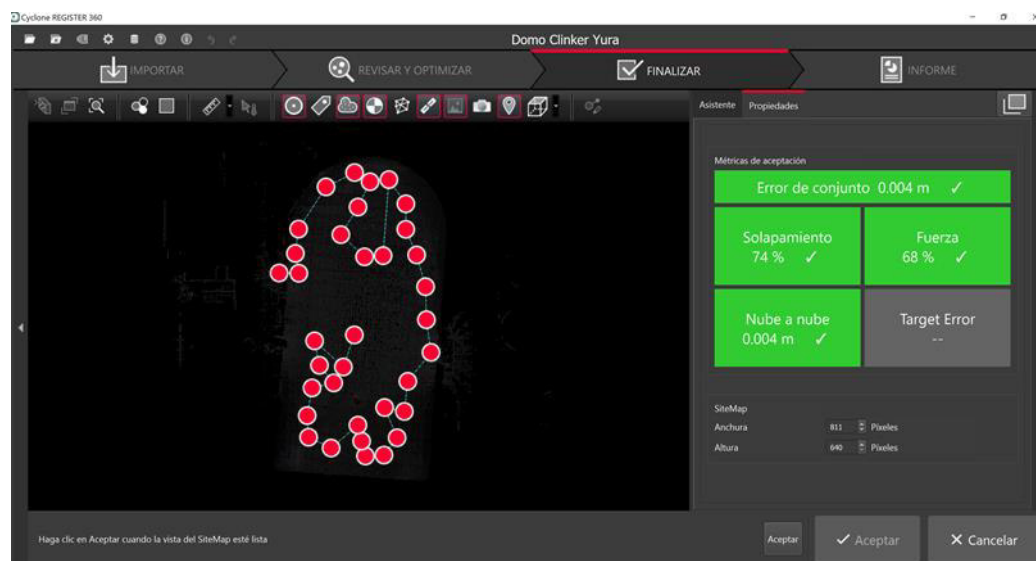
**Figura 15**

### *Alineamiento de la nube automática*



**Figura 16**

*Error medio de conjunto para la alineación con valores óptimos*



Al finalizar el alineamiento, se procede a la georeferenciación de la nube de puntos ya unificada, la cual fue suministrada por el departamento de topografía de la concretera con el objetivo de realizar el ajuste y georeferenciar la nube de puntos.

Este proceso consiste en seleccionar cada diana o target correspondiente a cada punto de control para ubicar la nube de puntos unificada sobre la superficie terrestre.

**Tabla 1***Coordenadas UTM - WGS84 ZONA 19 SUR*

| ID  | Norte       | Este       | Altura   |
|-----|-------------|------------|----------|
| T00 | 8200873.124 | 213141.215 | 2582.563 |
| T01 | 8200878.805 | 213141.877 | 2582.602 |
| T02 | 8200876.881 | 213132.246 | 2580.856 |
| T03 | 8200897.466 | 213178.467 | 2592.283 |
| T04 | 8200817.113 | 213174.024 | 2595.831 |
| T05 | 8200840.449 | 213212.213 | 2584.901 |
| T06 | 8200915.212 | 213172.462 | 2587.356 |
| T07 | 8200899.051 | 213182.757 | 2592.696 |
| T08 | 8200873.604 | 213214.122 | 2584.968 |
| T09 | 8200813.180 | 213174.054 | 2596.143 |
| T10 | 8200780.116 | 213184.811 | 2590.059 |

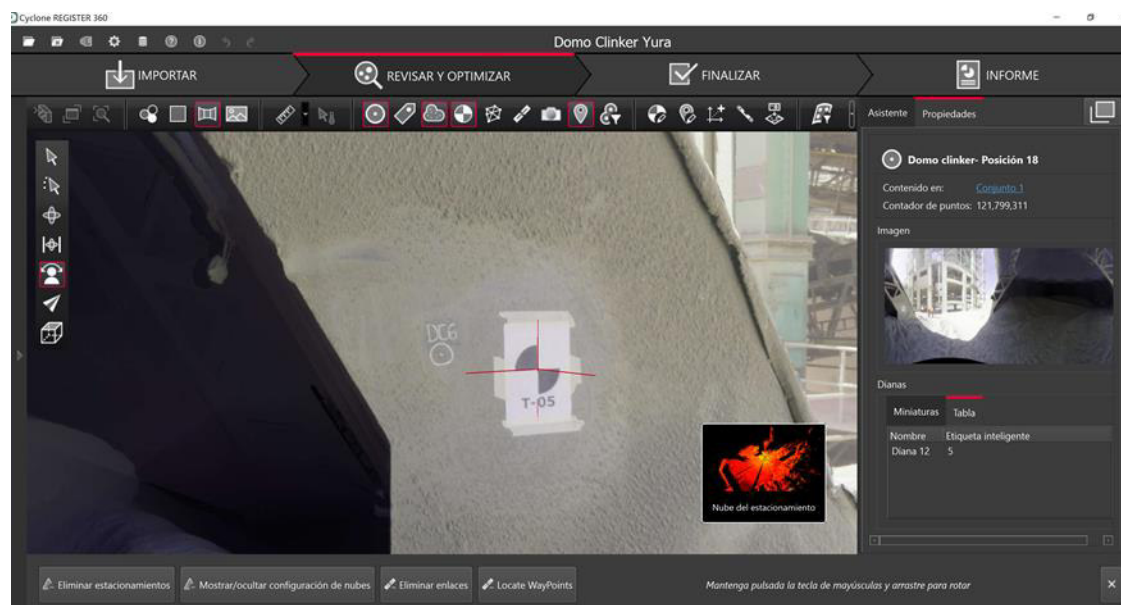
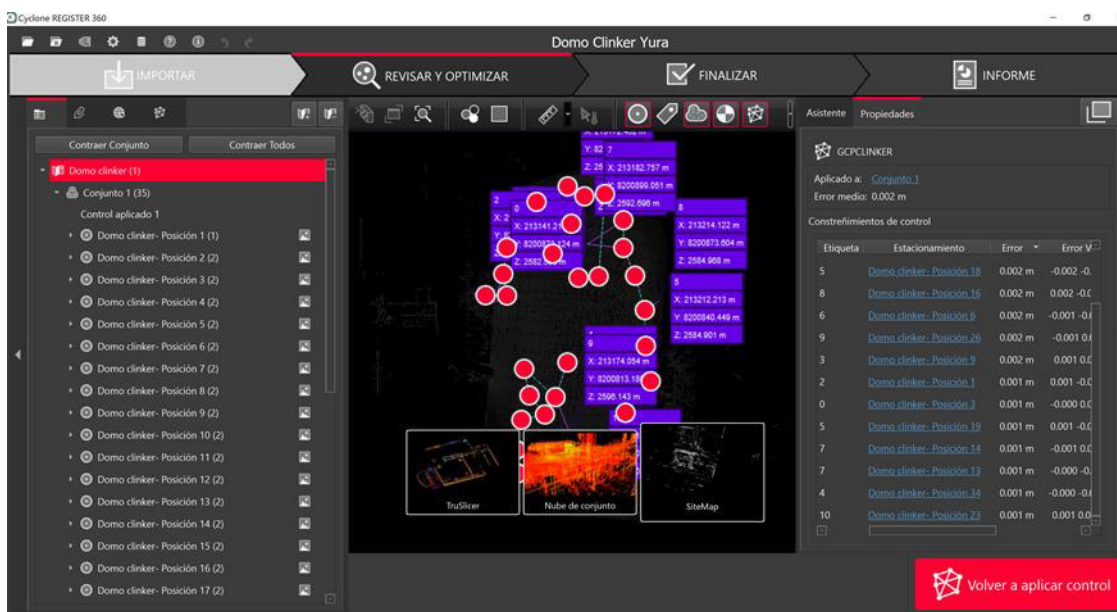
**Figura 17***Selección de la diana o target que corresponde al punto de control*

Figura 18

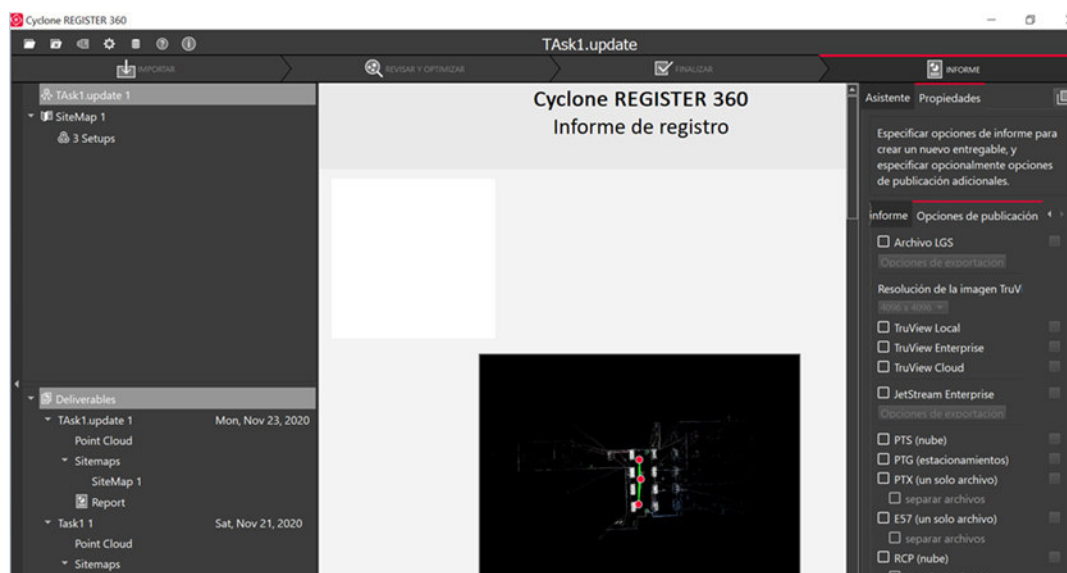
## Georeferenciación



2.4.2.4. **Exportación de datos.** Una vez finalizada la georeferenciación de la nube de puntos y realizados los ajustes respectivos, procedemos a realizar la exportación de la nube de puntos en formato .\*las pero también son aceptados otros formatos de manera opcional, tales como: .\*PTS, .\*PTX, .\*las, .\*E57, .\*RCP

Figura 19

## Formatos de exportación de datos



### 2.4.3. Etapa 3

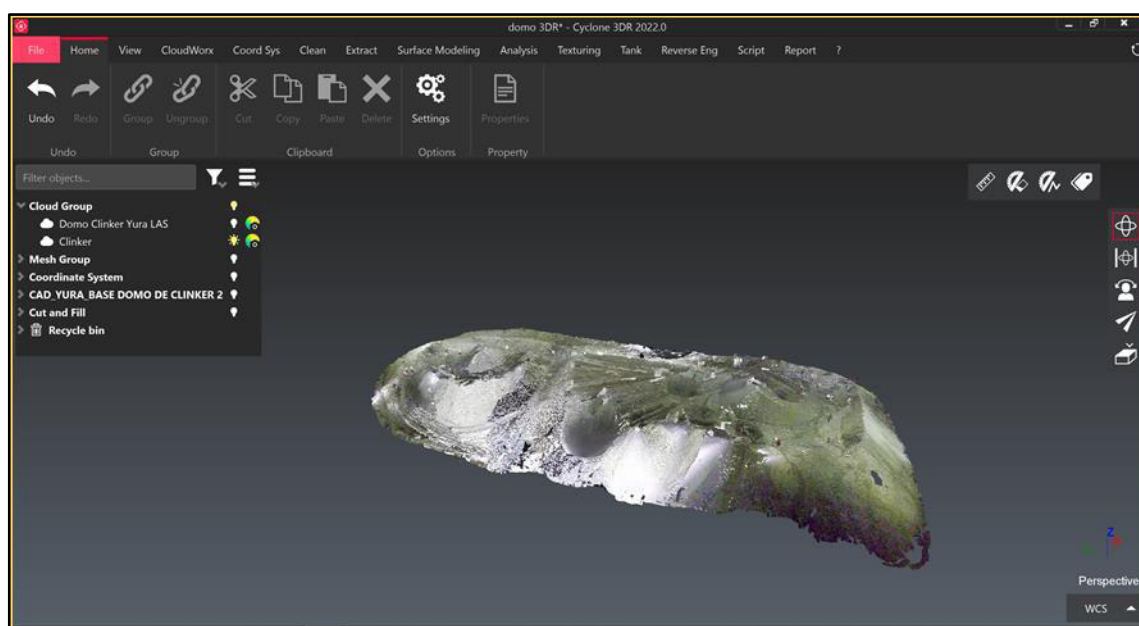
2.4.3.1. **Cálculo de volumen** Una vez exportada la nube de puntos georeferenciada, procedemos a importar esta data al software Cyclone 3DR. Leica (2019) indica que este software posee flujos de trabajos especializados para satisfacer las necesidades de industrias clave con aplicaciones en transporte, arquitectura, ingeniería, topografía, construcción e inspección de tanques. Cada flujo está diseñado para de un uso muy práctico y sencillo para el usuario realizando labores complejas de manera más sencilla y obtener resultados muy prácticos para el entendimiento del profesional. Existen módulos adicionales para aplicaciones como: AEC, topografía y tanques.

El autor, utilizará el módulo de topografía para determinar el cálculo volumétrico, y para ello se seguirán los siguientes pasos:

- a. **Limpieza de la nube de puntos**, por si se encuentran algunos detalles que no se visualizaron en la etapa del procesamiento.

## Figura 20

*Nube de puntos limpia: Domo Clincker*

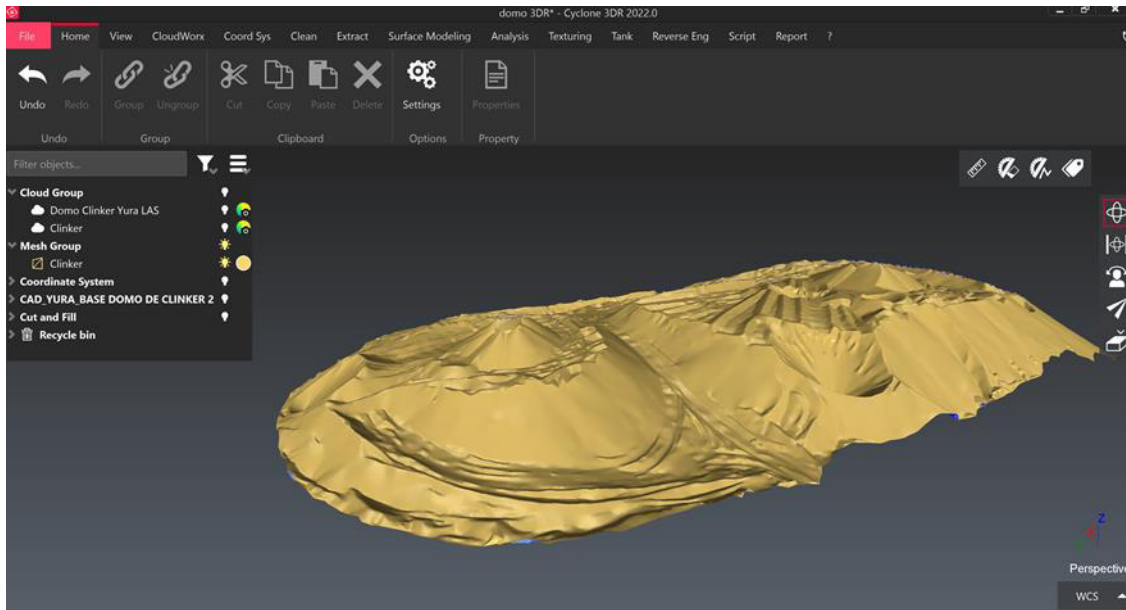




b. **Creación de mallado.** Que es la triangulación entre todos los puntos que existen como grupo de puntos. A continuación, se mostrará la malla de puntos en distintas vistas.

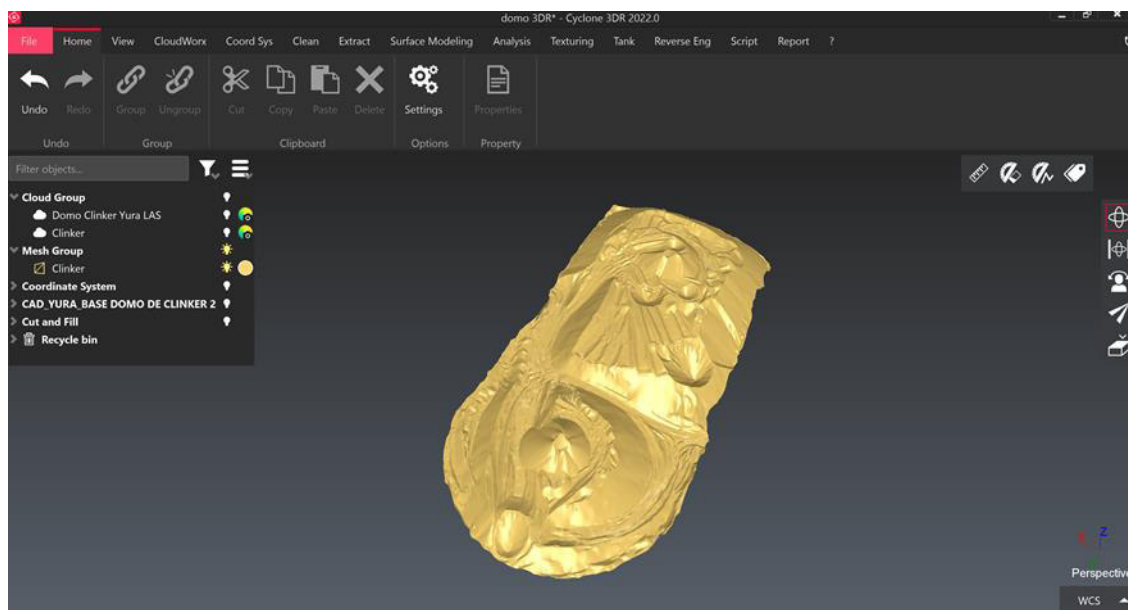
**Figura 21**

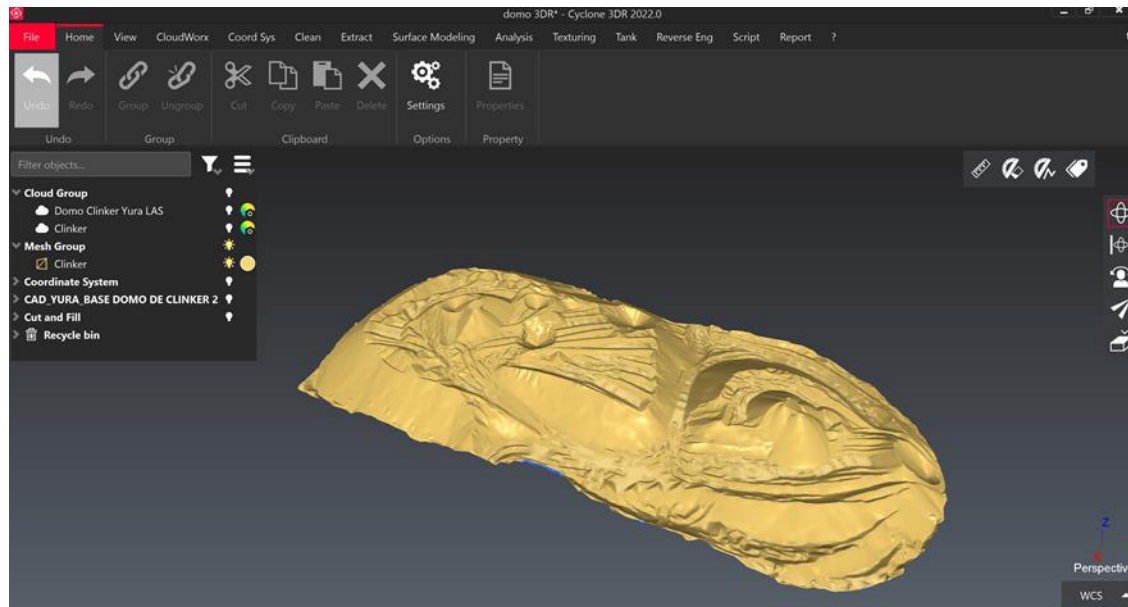
*Malla de clínker – vista 1*



**Figura 22**

*Malla de clínker - vista 2*



**Figura 23***Malla de clincker – vista 3*

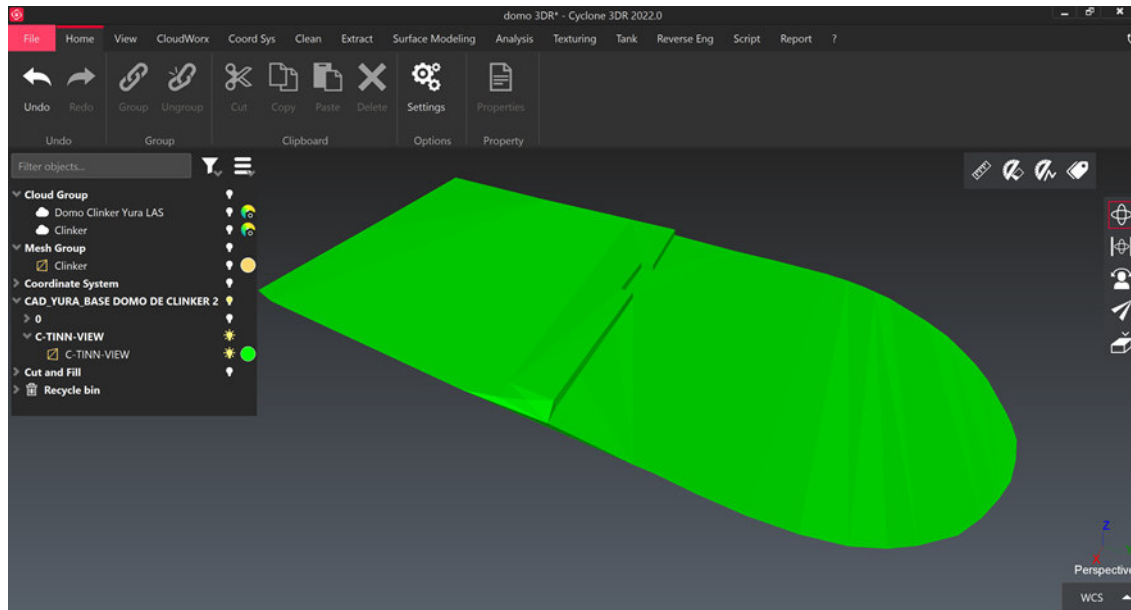
c. **Cálculo del volumen.** Para la determinación del volumen, utilizaremos la plataforma existente proporcionada por el área de topografía de la división cementera con la información procesada de la nube de puntos obtenida con el escáner láser.

Considerando ambas mallas y utilizando el algoritmo del software Cyclone 3DR, procederemos a calcular el volumen de Clinker.

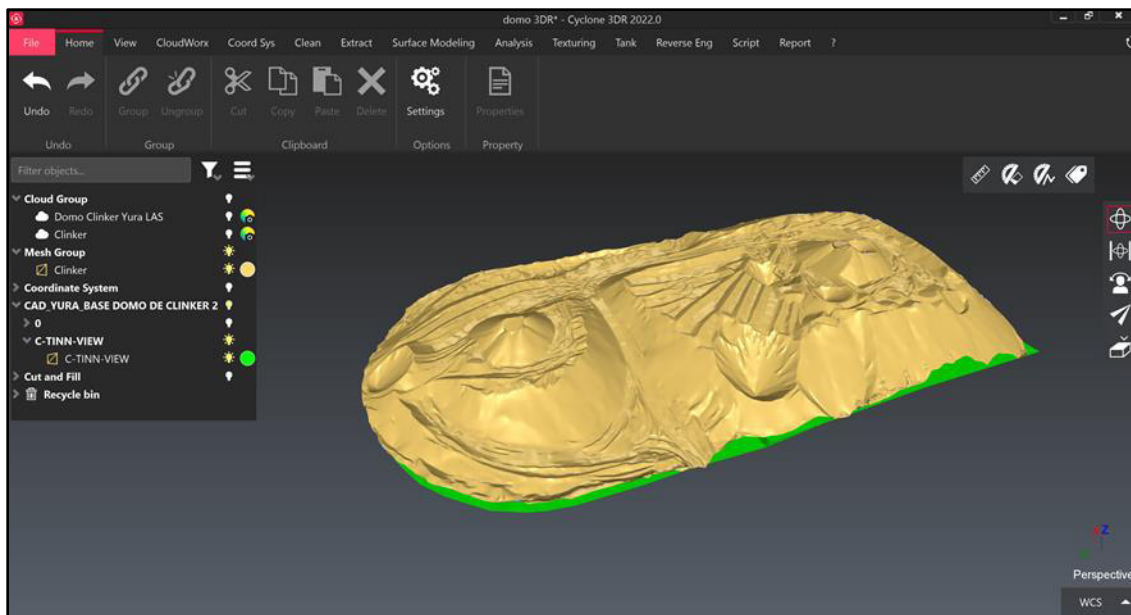


**Figura 24**

*Malla de la plataforma existente*

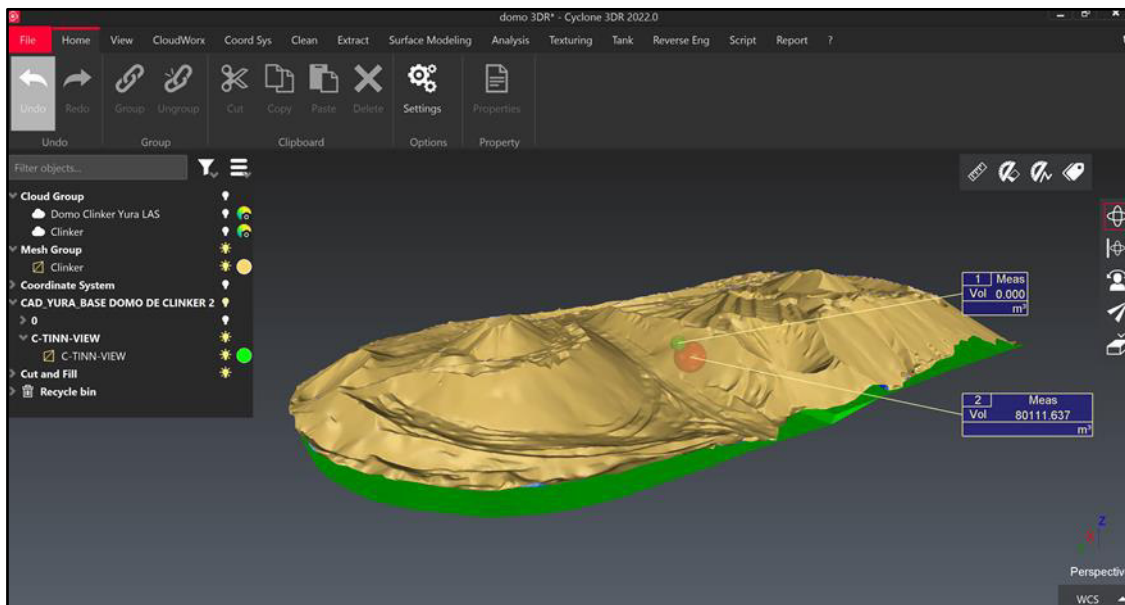
**Figura 25**

*Malla de clincker vs Plataforma*



## Figura 26

### *Cálculo de volumen*



### 2.4.3.2. Resultados

#### Tabla 2

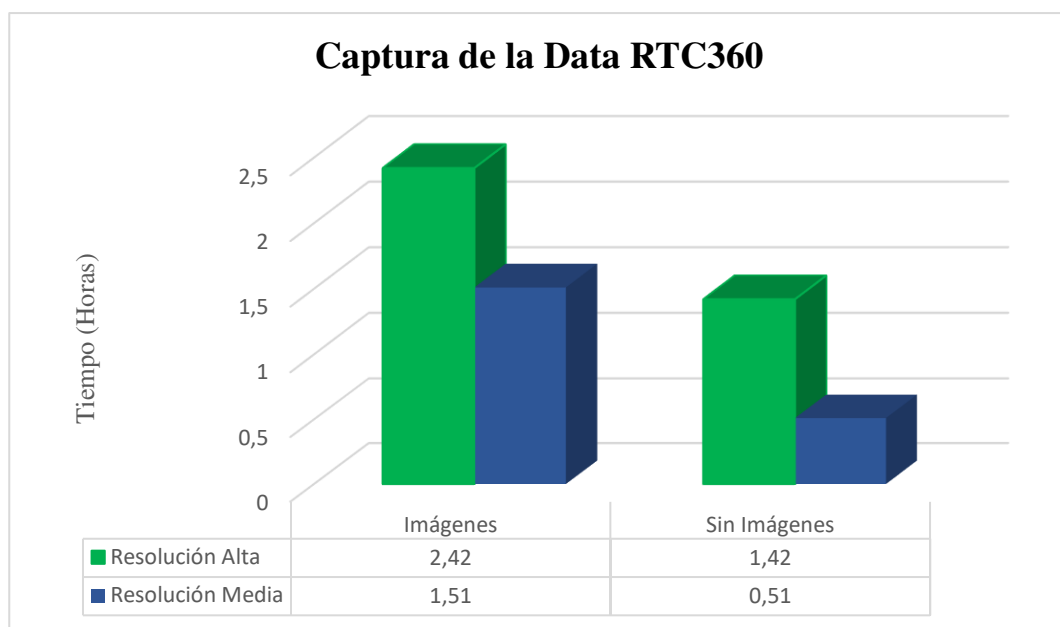
*Resultados del cálculo de volumen entre plataforma y clincker*

| <b>Descripción</b> | <b>Valor</b>  |
|--------------------|---------------|
| Volumen            | 80,116.637 m3 |

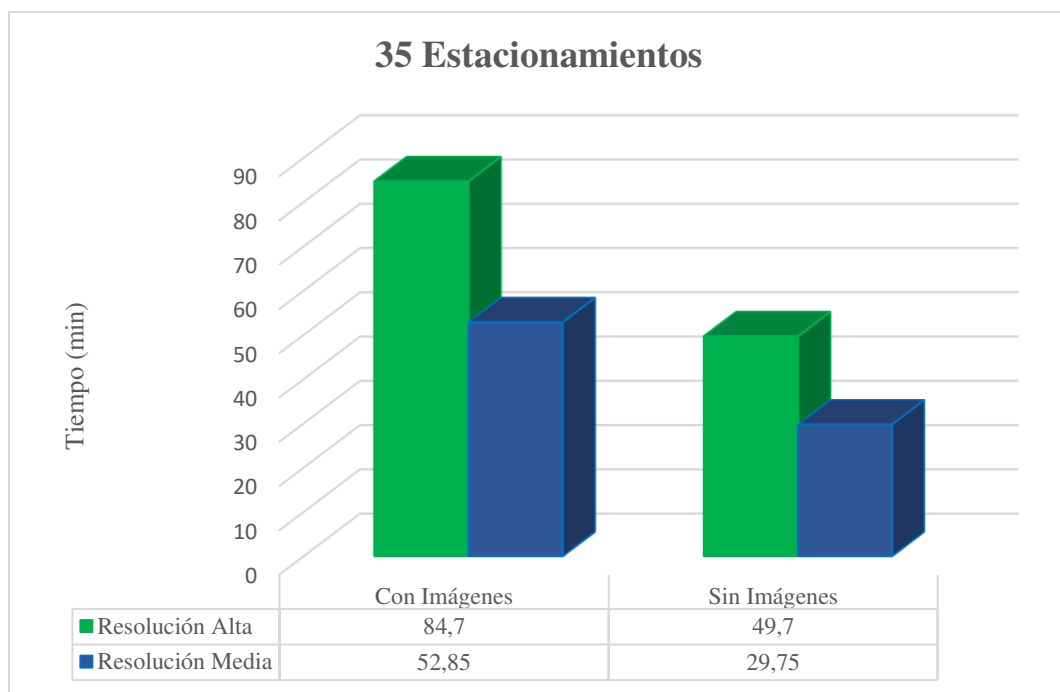
Las configuraciones y comparativos del uso del escáner láser para cálculo de volúmenes están basados en 35 estacionamientos(escaneos), con la resolución seleccionada más altura con imágenes.

**Figura 27**

*Levantamiento con escáner láser RTC360 – Configuración de resolución*

**Figura 28**

*Tiempo efectivo por los 35 estacionamientos*



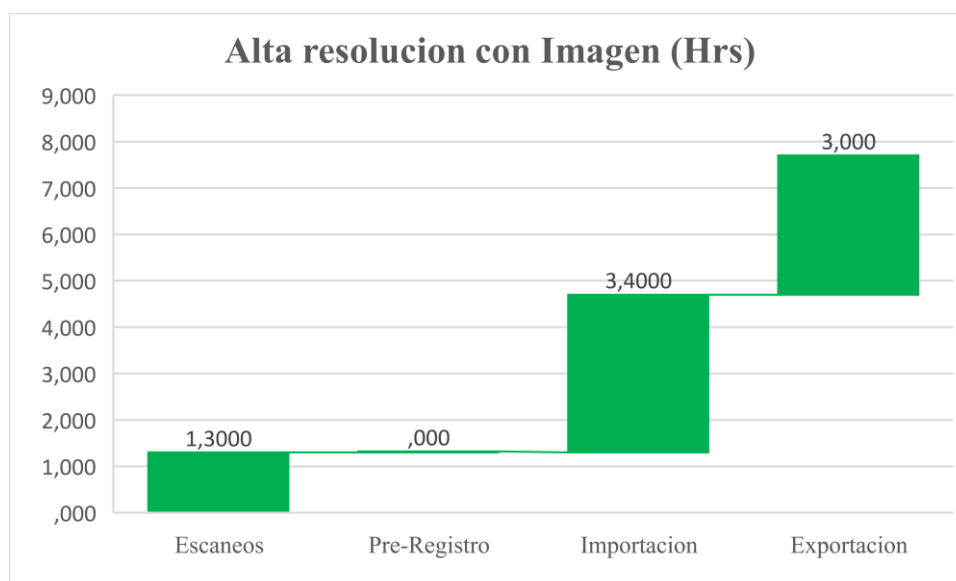
**Tabla 3**

*Tiempo efectivo para el levantamiento con escáner láser en resolución alta con imágenes*

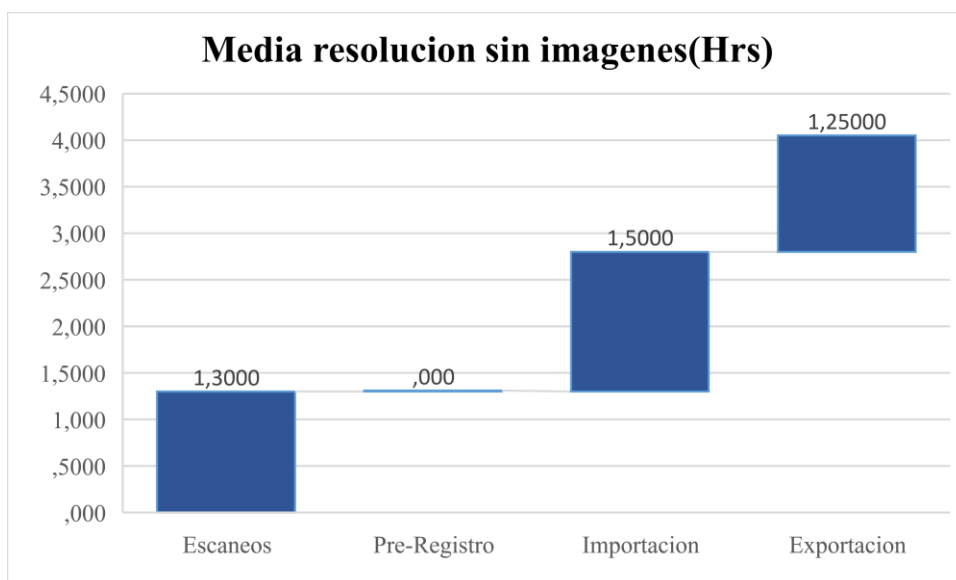
| <b>Configuración</b>         | <b>Tiempo Total (min)</b> | <b>Tiempo efectivo del Levantamiento (min)</b> | <b>Tiempo de traslado y estacionamientos (min)</b> |
|------------------------------|---------------------------|--|--|
| Resolución Alta con Imágenes | 168                       | 84.7   | 83.4   |

**Figura 29**

*Tiempo total del procesamiento: Alta resolución con imágenes*

**Figura 30**

*Tiempo total del procesamiento: Mediana resolución sin imágenes*



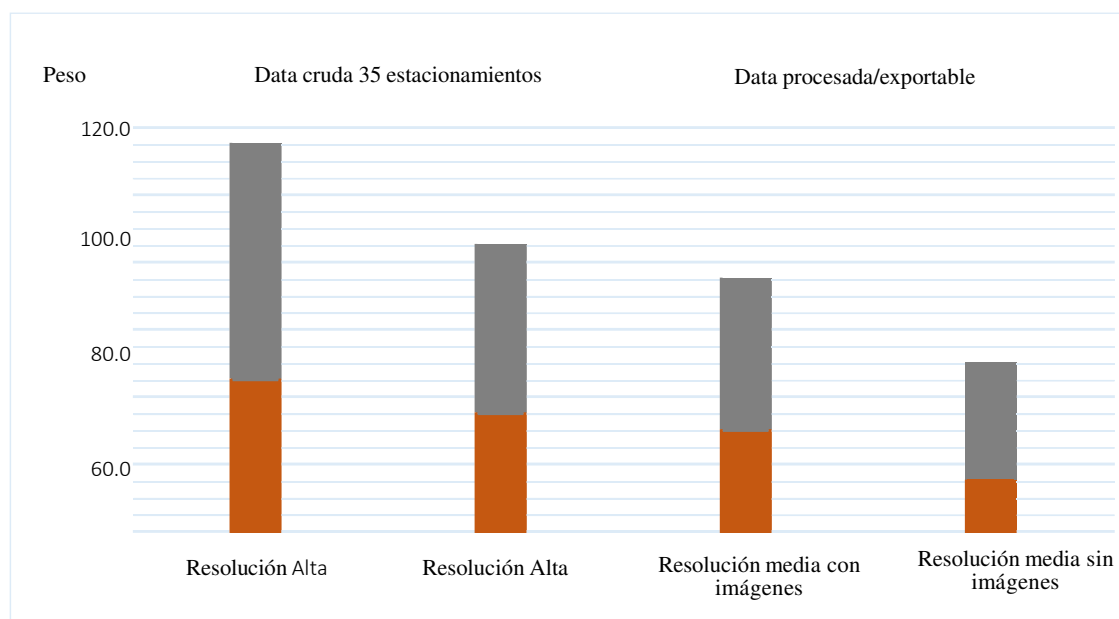
**Tabla 4**

*Tiempo efectivo para el levantamiento con escáner láser en resolución media sin imágenes*

| <b>Configuración</b>          | <b>Tiempo Total (min)</b> | <b>Tiempo de Levantamiento (min)</b> | <b>Tiempo traslado y estacionamientos (min)</b> |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---|
| Resolución Media sin imágenes | 113.05                    | 29.75                                | 83.4  |

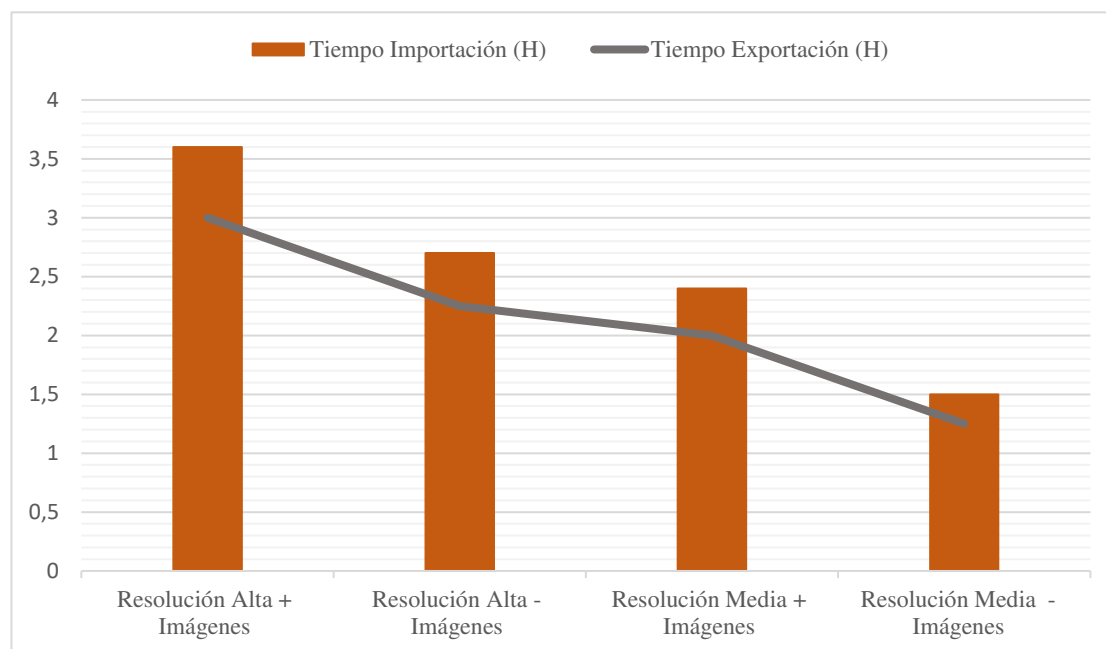
**Figura 31**

*Peso de la data en diferentes configuraciones*

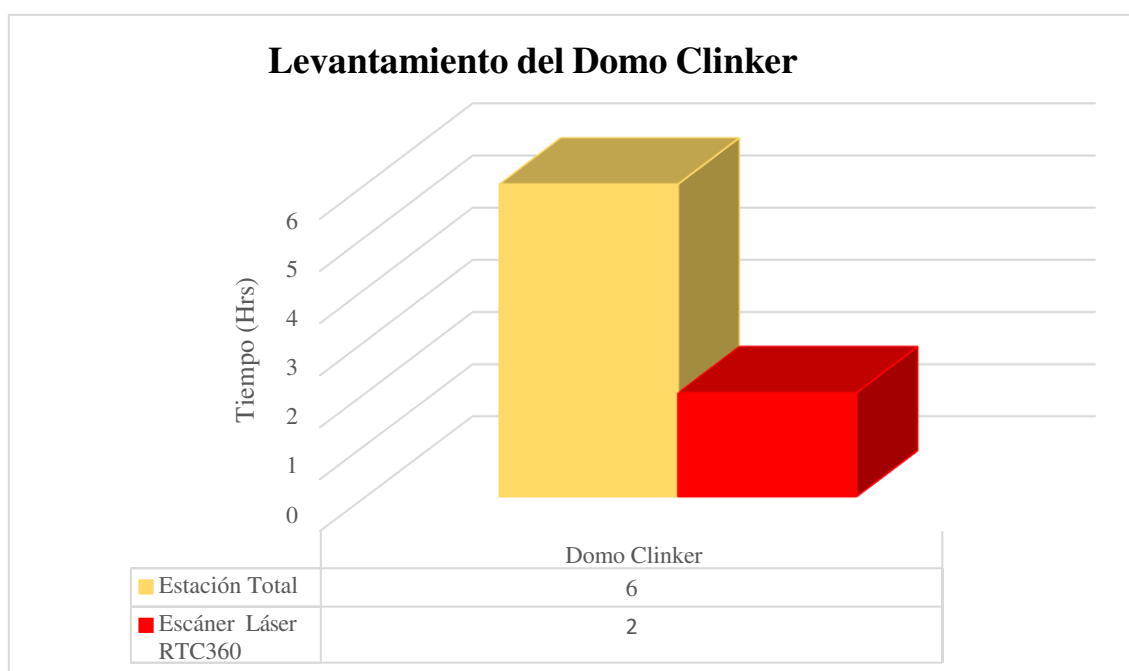


**Figura 32**

*Comparación del tiempo de Importación de la nube de puntos en diferentes configuraciones*

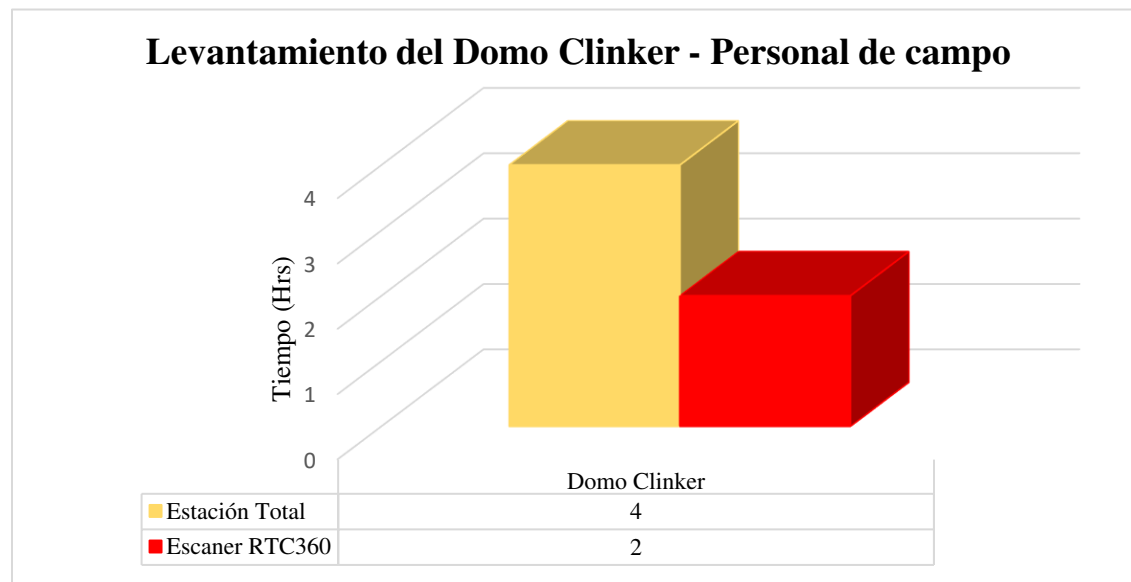
**Figura 33**

*Comparación del tiempo de medición con Escáner Láser vs Estación Total*

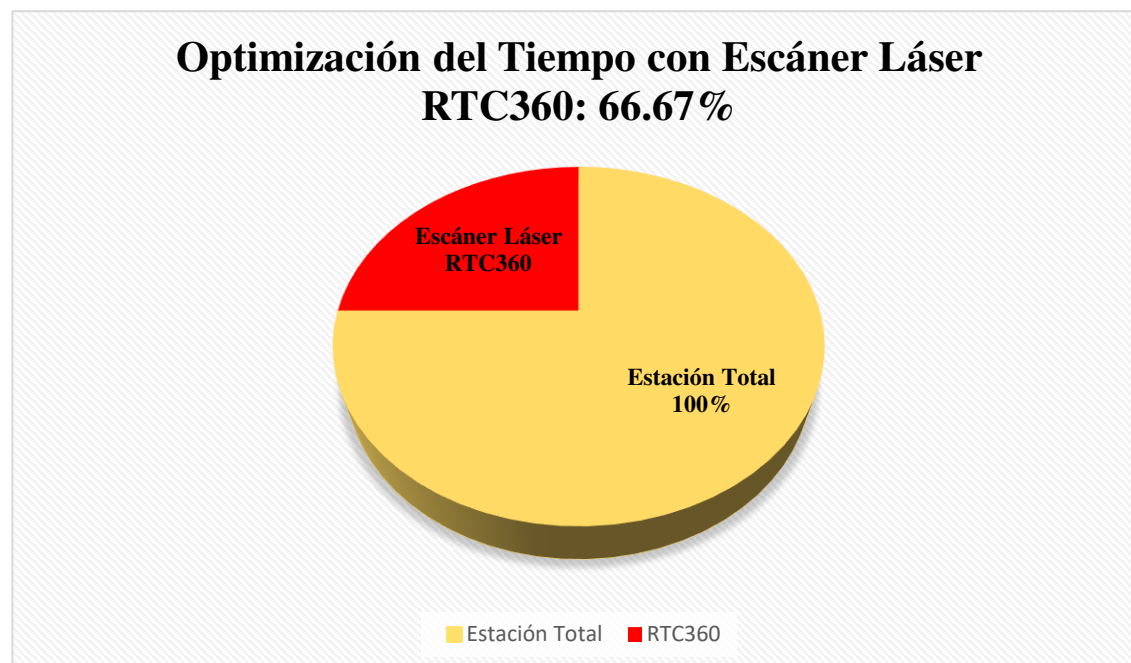


**Figura 34**

*Comparación de la cantidad de personal en campo de acuerdo al tipo de equipo utilizado*

**Figura 35**

*Optimización del tiempo con el uso del escáner láser frente a la estación total*



### **III. APORTES MÁS DESTACADOS DE LA EMPRESA**

La unidad de Geosistemas de la empresa QSI PERU S.A. tiene como enfoque principal la comercialización de hardware/software y el presente informe permitió a la empresa conseguir la venta del sistema completo del escáner láser con accesorios y softwares respectivo para una división concretera, obteniendo ingresos significativos, extendiéndose a 3 unidades mineras para aplicaciones de cálculos volumétricos de botaderos y control de Shotcrete, permitiendo a las empresas que adquirieron estos escáneres láser traigan ahorros económicos significativos y el incremento de la productividad de las actividades del personal técnico de las empresas.

El autor, como Especialista Técnico en Geomática, fue responsable del área de soporte y capacitación, donde aportó significativamente a los cierres de los negocios del personal de la fuerza de ventas, donde aplicaba su formación profesional en las geociencias como la topografía, geodesia, cartografía, fotogrametría y teledetección aplicándolos a los equipos producidos por la compañía Leica Geosystems tales como Estaciones Totales, Receptores GNSS, Niveles digitales, Escáneres Láser fijos y por la compañía Hexagon Geoespacial, desarrolladores de los softwares, como el Erdas Imagine, Imagine Photogrammetry, Imagine UAV y software GIS llamado Geomedia.

El autor, como Supervisor de Cuentas de Topografía y Monitoreo, aportó en el desarrollo de dos unidades de negocios:

1. La unidad de negocios de Monitoreo Geotécnico para la mediana minería, donde logró implementar sistemas automatizados con estaciones totales robóticas para el control de tajos



a cielo abierto, botaderos y presas de relave generando ingresos significativos para la empresa y aportando valor a sus clientes.

2. La unidad de negocios de Machine Control para el sector de infraestructura y construcción, donde logró implementar los sistemas de guiado y control de maquinarias en diversas empresas en el país, teniendo como logro, la automatización de la topografía, obteniendo ingresos considerables para la empresa, aportando beneficios significativos a sus clientes reduciendo la mano de obra, horas de uso de las maquinarias, horas en el proyecto, uso de combustible, etc.

#### IV. CONCLUSIONES

- El tiempo de levantamiento del acopio de clinker con escáner láser 3D es 66% más rápida comparado con los levantamientos convencionales con estaciones totales, obteniendo mejores resultados, ya que presentan una mayor calidad y precisión debido a la generación de un modelo 3D adaptado a la realidad.
- El uso de los escáneres láser 3D para los levantamientos de acopios en los domos de clinker se realizan con mayor seguridad debido a la menor exposición del personal técnico durante el levantamiento de información debido a las altas temperaturas, evitando el riesgo a su integridad.
- El peso de la data obtenida producto de los levantamientos de información con escáner láser 3D puede variar en función de las configuraciones del equipo y las condiciones del ambiente a levantar.
- El tiempo de importación, alineamiento, georeferenciación, procesamiento y cálculo de volúmenes está relacionado a los recursos que posee la computadora o workstation de trabajo y respecto a la configuración seleccionada en el equipo.
- El uso del Escáner Laser RTC360 para el levantamiento de información de este informe, impacta significativamente en la reducción del tiempo, porque reduce 4 horas comparado con un levantamiento tradicional con estación total que corresponden a 6 horas, así mismo, reduce la cantidad del personal a 2 personas comparando con las 4 a 6 personas que se requieren para el levantamiento tradicional con estación total.
- Al mantener un criterio de levantamiento con escáner láser 3D, el mayor error puede estar asociado a la ausencia de nube de puntos en los bordes de la estructura interior como consecuencia de la disposición del material, respecto a la posición del escáner. Esto puede

oscilar entre 0.28 % y 1.40%, considerando este último como un error grosero asociado a un criterio de escaneo deficiente. Cabe destacar que este error puede minimizarse considerando un soporte de extensión, en donde la posición del escáner le permita tener al laser un ángulo de incidencia correcto capaz de cubrir el clinker de esta área.

- La implementación del uso del escáner láser en los levantamientos topográficos para el cálculo de volúmenes de clinker permite reducir significativamente el tiempo en campo y exposición del personal a elevadas temperaturas donde se almacena dicho material, porque te permite realizar pre registros en campo, ya que el equipo utilizado, el escáner Leica, modelo RTC360, posee un sistema VIS, que es la combinación de las 5 cámaras que posee el equipo, junto al sensor inercial(IMU) le permitirá tener todos los escaneos pre-posicionados y reducir el tiempo en oficina para unir los distintos grupos de escaneo, obteniendo mejores resultados.

## V. RECOMENDACIONES

- Para el levantamiento con escáner láser 3D con el objetivo de determinar el cálculo de volumen de clinker, se recomienda utilizar la siguiente configuración: Resolución Media Sin Imágenes. Esto, se traduce en una mayor rapidez en el levantamiento y una data más ligera, lo que implica un procesamiento más eficiente.
- Durante el levantamiento de información con escáner láser 3D, se sugiere tener una buena condición de iluminación en el interior de los domos de clinker, ya que al no tener esto, el pre registro en campo se vería limitado, sin embargo, las condiciones en las que se realizó la medición fueron las mínimas para que el pre registro en campo de manera automática se activara con el escáner RTC360.
- Se sugiere bajar los niveles de contaminación de las partículas de clinker presentes durante el levantamiento de información, porque entre mayor cantidad de partículas en el aire implica un mayor ruido en la nube de puntos.
- Cuando se trabajan con una gran cantidad de estacionamientos y grupos de puntos se sugiere realizar siempre un procesamiento por software.
- Evitar exponer el Escáner Láser RTC360 a cambios bruscos de temperatura, es necesario la aclimatación progresiva a la temperatura ambiente antes de ser encendido, y comenzar por la zona de menor temperatura e ir incrementado gradualmente, porque en estos tipos de lugares donde se almacena el clinker, se evidenció que la temperatura se incrementó hasta los 55 °C. Por lo tanto, se recomienda posicionar e iniciar el levantamiento de información desde el ingreso, a temperaturas menores, considerando la integridad y seguridad del personal y funcionamiento más efectivo del escáner RTC360.

- Se recomienda evitar el paso de personas y/u objetos en movimientos para mantener el espacio despejado al momento de levantamiento de la data y reducir el ruido en la nube de puntos. De requerir una mayor precisión de los puntos de control, se recomienda incrementarlos y densificarlos de manera más homogénea en el domo.

## VI. REFERENCIAS

- Ares, R. (2015) *Técnicas y herramientas de procesamiento de nubes de puntos tridimensionales* [Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid]. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22336/PFC\\_Ruben\\_Ares\\_Cano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22336/PFC_Ruben_Ares_Cano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cera, J., García, J., Pimentel, J. & Rojas, L. (2013) Volumen. Universidad Autónoma del Estado de México. <https://www.academia.edu/5197669/VOLUMEN>
- Leica Geosystems (2021). *Leica Cyclone FIELD 360, Visualizar. Comprobar. Añadir.* <https://leica-geosystems.com/es-es/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360>
- Leica Geosystems (2020). *Leica RTC360: SLAM in Terrestrial Laser Scanning.* [Leica RTC360: SLAM en Escaneo Láser Terrestre]. <https://leicageosystems.com/products/laser-scanners/scanners/slam-in-terrestrial-laser-scanning-white-paper>
- Leica Geosystems (2020). *Leica Cyclone Register 360, El poder de Cyclone simplificado.* <https://leica-geosystems.com/es-es/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360>

Leica Geosystems (2023). *Leica RTC360/RTC360 LT, Manual de uso versión 6.0.*

Leica Geosystems (2023). *Guía rápida v. 3.0. Leica RTC360/RTC360 LT.*

Leica Geosystems (2022). *Leica Cyclone FIELD 360, View. Check. Add.*

Leica Geosystems (2023). *Leica Cyclone REGISTER 360 2020.1, QuickStart Guide.*

Lenovo (2021). *Big Power, Big Performance, Lenovo ThinkPad P17 Gen 2 Specifications.*

Convert3D (2019). *TLS Target*. <https://www.tlstargets.com/>

Mañana, P., Rodríguez, A. & Blanco, R. (2008). Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela). *Arqueología De La Arquitectura*, (5), 15–32. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2008.87>

QSI PERU S.A. (2023). *Nosotros*. <https://www.qsi.pe/nosotros/>

Riveiro, B., González-Jorge, H., Conde, B., Puente, I. (2015). Automatic morphologic analysis of quasi-periodic masonry walls from LiDAR [Análisis morfológico automático de muros de albañilería cuasi periódicos a partir de datos LiDAR]. *Computer-Aided Civil and*

*Infrastructure Engineering*, (4), 305-319.

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/44927/1/Riveiro%20et%20al.pdf>

Villalajos, R. (2013) *Integración de un sensor láser 3D en el manipulador móvil manfred*

[Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid].

<http://hdl.handle.net/10016/18035>

Zúñiga, W.B. (2010). *Topografía*. OPZ Ingenieros



## VII. ANEXOS

### ANEXO A

#### Especificaciones Técnicas Escáner RTC360 vs Estación Total

| <b>Descripción</b>                      | <b>RTC360</b>                             | <b>Estación Total</b>                 |
|---|---|---------------------------------------|
| <b>Velocidad</b>                        | 2000000 pts/ seg                          | 1 pt/ seg                             |
| <b>Data</b>                             | Modelo 3D                                 | Puntos                                |
| <b>Calidad</b>                          | Mayor Precisión – Captura la realidad     | Menor precisión – Interpolación       |
| <b>Tiempo - Estacionamiento</b>         | 00: 26 seg - 2:42 min                     | Variable >7min                        |
| <b>Complejidad de Operación</b>         | No requiere experiencia topográfica       | Requiere alta experiencia topográfica |
| <b>Manipulación (Kg)</b>                | 5Kg / trípode liviano de fibra de carbono | 7.5kg / trípode pesado de madera      |
| <b>Exposición en el Domo de clinker</b> | 2 Hrs                                     | 6 Hrs                                 |
| <b>Cuadrilla</b>                        | 2   | 4                                     |
| <b>Nivelación</b>                       | No requiere/ Se autonivela                | Si requiere                           |