

**EVALUACIÓN DEL USO DE UN ESCÁNER LÁSER TERRESTRE Y MÉTODOS  
TRADICIONALES EN LA EJECUCIÓN DE UN LEVANTAMIENTO  
TOPOGRÁFICO.**

**ANDRÉS JULIÁN ULLOA MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

**EVALUACIÓN DEL USO DE UN ESCÁNER LÁSER TERRESTRE Y MÉTODOS  
TRADICIONALES EN LA EJECUCIÓN DE UN LEVANTAMIENTO  
TOPOGRÁFICO.**

**ANDRÉS JULIÁN ULLOA MORENO**

**Trabajo de grado modalidad Investigativa  
Para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director:**

**Ph.d. Msc. Jhon Jairo Cáceres Jiménez**  
Profesor auxiliar de la escuela de Ingeniería Civil  
Universidad Industrial de Santander

**CoDirector:**

**Ing. Elver Omar Gallo Lancheros**  
Candidato a Magister, Universidad Industrial de Santander

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia, en especial a mi madre Ana Felisa a quien amo infinitamente por su entrega incondicional y su esfuerzo constante, a mi padre, y a mi hermana.

A mi madrina, Luz Amanda, por darme la mano en tantos momentos de mi vida siempre que lo necesité y por lo que ha representado en mi formación y educación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que me han acompañado en mi formación y en mi vida, a toda mi familia por su apoyo, a mis padres, especialmente a mi madre a quien amo y debo todo lo que soy, por ser día a día la inspiración y la razón de mi ser, a mis hermanos, y a mi tía Luz Amanda, mujer a quien admiro y de quien estoy profundamente agradecido por permitirme lograr este éxito.

A la Universidad Industrial de Santander, la escuela de ingeniería Civil y en especial al grupo de investigación Geomática sin el cual no habría sido posible concebir este proyecto, al profesor Hernán Porras Díaz por creer en mis capacidades y guiarme con mano de padre en mi camino profesional, a los ingenieros Jhon Cáceres y Omar Gallo por acompañarme en este proceso, a los profesores que me han educado durante mi formación, entre ellos al profesor Álvaro Castellanos por sus conocimientos.

A mis amigos por estar conmigo, brindarme tantos momentos felices y ayudarme siempre que lo necesité, a Adriana y Derly, las dos niñas que tanto quiero y estuvieron conmigo en esta travesía de querer ser ingeniero, a mis amigos: Cindy, Marcela, Miguel, Yerly, y todos los que me han acompañado y no alcanzaría a nombrar, a mis muchachos: Vanessa, Luis Fernando, John Jairo, Zapata y Maito, por su paciencia y su gran ayuda, y a mi amigo Daniel a quien admiro.

***ANDRÉS JULIÁN ULLOA MORENO***

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
<b>1. MARCO TEORICO .....</b>	<b>22</b>
1.1. LÁSER .....	22
1.1.1. Medición utilizando luz.....	23
1.1.2. Escáneres activos .....	23
1.1.3. Escáner laser .....	23
1.2. TIPOS DE ESCÁNER LASER .....	26
1.2.1. Clasificación por método de medición .....	26
1.2.1.1. <i>Mediciones con láser por triangulación.....</i>	26
1.2.1.2. <i>Mediciones con láser por tiempo de vuelo.....</i>	27
1.2.1.3. <i>Mediciones con láser por diferencia de fase.....</i>	28
1.2.1.4. <i>Desviación del rayo laser.....</i>	29
1.2.2. Clasificación por campo de acción.....	30
1.2.2.1. <i>Escáneres aerotransportados (LIDAR).....</i>	30
1.2.2.2. <i>Escáneres terrestres móviles.....</i>	31
1.2.2.3. <i>Escáner laser terrestre (TLS).....</i>	32
1.3. ERRORES PRESENTES EN LEVANTAMIENTOS CON ESCÁNER LASER 33	
1.3.1. Fuentes de error en escaneo láser terrestre .....	33
1.4. TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES ESCÁNERES LASER .....	36
<b>2. CASO DE ESTUDIO – LEVANTAMIENTO DEL EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER .....</b>	<b>39</b>
2.1. ZONA DE ESTUDIO .....	39

2.1.1.	Análisis previo del área a levantar .....	39
2.2.	PLANIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO .....	40
2.2.1.	Preparación del levantamiento con escáner laser terrestre .....	40
2.2.1.1.	<i>Recopilación de información primaria</i> .....	42
2.2.1.2.	<i>Determinación de las posiciones de escaneo</i> .....	44
2.2.1.3.	<i>Determinación de puntos de control</i> .....	46
2.2.1.4.	<i>Elección de equipos y métodos</i> .....	47
2.2.1.5.	<i>Resolución</i> .....	49
2.2.2.	Preparación del levantamiento topográfico .....	51
2.2.2.1.	<i>Estudio de cartografía e información previa</i> .....	52
2.2.2.2.	<i>Elección del sistema de referencia del trabajo</i> .....	52
2.2.2.3.	<i>Métodos de posicionamiento</i> .....	52
2.2.2.4.	<i>Diseño de poligonal para el proyecto</i> .....	53
2.2.2.5.	<i>Selección de equipos, métodos y personal</i> .....	53
<b>3.</b>	<b>TRABAJO EN CAMPO .....</b>	<b>55</b>
3.1.	PUNTOS DE CONTROL .....	55
3.1.1.	Materialización de los puntos de control .....	55
3.1.2.	Puntos de control.....	56
3.1.3.	Ubicación de targets para la calibración de las fotografías y la nube de puntos. ....	60
3.2.	LEVANTAMIENTO EN CAMPO CON EL ESCÁNER LASER .....	61
3.2.1.	Control de calidad de los datos en campo .....	66
3.3.	LEVANTAMIENTO EN CAMPO CON TOPOGRAFÍA .....	67
3.3.1.	Reconocimiento de campo .....	67
3.3.2.	Amarres.....	67
3.3.3.	Poligonal.....	67

<b>4. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS .....</b>	<b>68</b>
4.1. RISCAN PRO .....	68
4.2. PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	70
4.3. PRE-REGISTRO DE LA NUBE DE PUNTOS .....	74
4.4. REGISTRO DE LA NUBE DE PUNTOS CON MULTI STATION ADJUSTMENT (MSA).....	76
4.5. PREPARACIÓN DE LOS DATOS PARA MULTI STATION ADJUSTMENT .....	77
4.6. MULTI STATION ADJUSTMENT .....	79
4.7. OPCIONES Y PARÁMETROS DEL MULTI STATION ADJUSTMENT ....	79
4.8. REGISTRO.....	81
4.9. ASIGNACION DE COLOR REAL RGB.....	84
4.10. ELIMINACION DE RUIDO Y FILTRADO DE LA NUBE DE PUNTOS...85	
4.11. CREACIÓN DEL POLYDATA DE LA ESTRUCTURA REGISTRADA...88	
4.12. CREACIÓN DE SECCIONES EN PLANTA DE LA NUBE DE PUNTOS Y CREACIÓN DE PLANOS 2D .....	89
4.13. CREACIÓN DE PLANOS DE FACHADA A PARTIR DE LA NUBE DE PUNTOS 91	
4.14. CREACIÓN DE PLANOS 2D A PARTIR DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	93
<b>5. COMPARACIONES ENTRE EL USO DE UN ESCÁNER LÁSER TERRESTRE Y EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL .....</b>	<b>95</b>
5.1. TIEMPO DEDICADO A CADA UNA DE LAS ETAPAS DE TRABAJO .....	95
5.2. ERROR DE MEDICIÓN .....	99
5.3. ERROR DE CIERRE .....	102
5.4. ERRORES EN VERTICES .....	103
5.5. DETALLE DEL PRODUCTO ENTREGABLE .....	105

5.6. GEORREFERENCIACIÓN DE LOS PLANOS.....	108
<b>6. MATRIZ DE COMPARACIÓN DEL LEVANTAMIENTO CON AMBOS MÉTODOS.....</b>	<b>111</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>120</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Clasificación de láseres según UNE EN 60825-1 /A2-2002.....	22
<b>Tabla 2.</b>	Especificaciones de los principales escáneres láser terrestres.....	38
<b>Tabla 3.</b>	Propiedades del escáner RIEGL VZ-400 en modo velocidad. ....	48
<b>Tabla 4.</b>	Propiedades de la configuración Panorama 40.....	50
<b>Tabla 5.</b>	Especificaciones de la estación total TOPCON ES-101.....	54
<b>Tabla 6.</b>	Coordenada GPS UIS 1 .....	58
<b>Tabla 7.</b>	Coordenadas de los mojones y la estación base con sus respectivas desviaciones de error.....	60
<b>Tabla 8.</b>	Registro de hora de inicio de cada escaneo y tiempo aproximada de levantamiento.....	64
<b>Tabla 9.</b>	Especificaciones de requerimiento y del equipo usado.....	69
<b>Tabla 10.</b>	Incertidumbre con medida de GPS .....	73
<b>Tabla 11.</b>	Error de registro con histogramas de residuos.....	81
<b>Tabla 12.</b>	Duración de actividades con el uso de escáner láser .....	96
<b>Tabla 13.</b>	Duración de actividades con el uso de topografía tradicional .....	97
<b>Tabla 14.</b>	Duración de las etapas principales con el uso de escáner láser y topografía tradicional .....	98
<b>Tabla 15.</b>	Longitud de elementos aleatorios real, medidas con topografía, medidas con escáner laser terrestre.....	100
<b>Tabla 16.</b>	Error medio cuadrático para ambas técnicas.....	102
<b>Tabla 17.</b>	Error de cierre por método de levantamiento .....	103
<b>Tabla 18.</b>	Comparación de geometría en vértices.....	104
<b>Tabla 19.</b>	Detalle con ambos métodos.....	108
<b>Tabla 20.</b>	Matriz de comparación del levantamiento con ambos métodos.....	112

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Esquema de escáner laser tomando lectura de una superficie.....	24
<b>Figura 2.</b>	Esquema de escaneo en una posición 1 (rojo) y posición 2 (amarillo) de un mismo objeto con cierto grado de traslapo (naranja).....	25
<b>Figura 3.</b>	Esquema de medición por triangulación .....	26
<b>Figura 4.</b>	Esquema del concepto de medición por tiempo de vuelo. ....	28
<b>Figura 5.</b>	Esquema del concepto de medición por diferencia de fase. ....	29
<b>Figura 6.</b>	Diferentes ejemplos de deflexión del haz láser. ....	29
	Fuente: (Staiger 2007) .....	29
<b>Figura 7.</b>	a) Levantamiento con escáner LIDAR aerotransportado y sus componentes principales. b) Georreferenciación de datos de escáner laser terrestre basado en datos aéreos LIDAR.....	31
<b>Figura 8.</b>	Escáner móvil RIEGL VMX-250 y detalle de nube de puntos y curvas de nivel de un tramo recorrido con un escáner laser móvil. ....	32
<b>Figura 9.</b>	Sistemas operativos y conectores del TLS Riegl VZ400.....	33
<b>Figura 10.</b>	Esquema del problema del borde partido y ejemplo real en un levantamiento. ....	35
<b>Figura 11.</b>	Flujo de trabajo del levantamiento .....	42
<b>Figura 12.</b>	Vista de fotografías aéreas con UAV y avión utilizado.....	43
<b>Figura 13.</b>	Muestra del registro fotográfico del edificio.....	43
<b>Figura 14.</b>	Esquema de rango mínimo de captura y filtrado por rango. ....	45
<b>Figura 15.</b>	Distribución de las posiciones de escaneo y puntos de control .....	45
<b>Figura 16.</b>	Posiciones de los puntos de control M, M2 y M3 .....	47
<b>Figura 17.</b>	Escáner laser terrestre con su estuche y accesorios.....	49
<b>Figura 18.</b>	Poligonal para el proyecto.....	53
<b>Figura 19.</b>	a) Excavación para materialización del mojón con la coordenada de amarre, b) localización del mojón respecto al edificio a levantar. c) mojón M2 marcado. ....	55

<b>Figura 20.</b>	Reflector nivelado y localizado sobre uno de los puntos de amarre. ...	56
<b>Figura 21.</b>	Localización del vértice GPS-UIS-1 en una fotografía aérea.....	58
<b>Figura 22.</b>	a) Estación Base Enviando correcciones RTK sobre el mojón GPS-UIS-1. b) levantamiento de la coordenada sobre el mojón M1 con el receptor Móvil RTK. ....	59
<b>Figura 23.</b>	Reflector adhesivo .....	61
<b>Figura 24.</b>	Escáner localizado en el punto Sp1, frente a la entrada del edificio ...	62
<b>Figura 25.</b>	a) Escáner con las propiedades del patrón de escaneo, b) Escáner con la nube de puntos escaneada de fondo mientras hace el registro fotográfico.	63
<b>Figura 26.</b>	Escáner Láser ubicado en las diferentes posiciones de escaneo...	65
<b>Figura 27.</b>	Imagen panorámica bidimensional del levantamiento en la posición 001. ....	66
<b>Figura 28.</b>	Muestra de una estaca-vértice de la poligonal.....	67
<b>Figura 29.</b>	Interfaz gráfica del software con la descripción del espacio de trabajo. ....	68
<b>Figura 30.</b>	Visualización por valores de reflectancia de las posiciones de escaneo de la ScanPos001 a la ScanPos012. ....	70
<b>Figura 31.</b>	Visualización de una escena de escaneo representada por : Amplitud, reflectancia, rango, Altura y color verdadero.....	71
<b>Figura 32.</b>	Nubes de puntos de las posiciones de escaneo en planta .....	72
<b>Figura 33.</b>	a) ScanPos001 y ScanPos002 georreferenciadas según su sistema propio de coordenadas. b) ScanPos001 y ScanPos002 referenciadas manualmente. ....	75
<b>Figura 34.</b>	Nube de puntos referenciada manualmente vista en planta. ....	76
<b>Figura 35.</b>	Parámetros en la preparación de los datos para MSA.....	77
<b>Figura 36.</b>	Polydata de puntos para MSA con sus planos normales. ....	78
<b>Figura 37.</b>	Nubes de puntos registradas con diferente representación. ....	83
<b>Figura 38.</b>	Nube de puntos con Tiepoint en un reflector. ....	84

<b>Figura 39.</b>	Fotografía mostrando el Tiepoint del reflector vinculado al del modelo. ....	85
<b>Figura 40.</b>	Vista frontal a escala del edificio representado por color verdadero... ..	85
<b>Figura 41.</b>	a) Silueta de una persona representada por ruido. b) Puntos seleccionados tras aplicar el filtro de vegetación. c) Residuos del ruido seleccionados con filtro modificado propio. d) nube sin ruido. ....	86
<b>Figura 42.</b>	a) edificación con ruido en su interior. b) edificación sin ruido. ....	87
<b>Figura 43.</b>	Puntos seleccionados con filtro por desviación. ....	88
<b>Figura 44.</b>	a) Nube de punto 3D con la selección del corte. b) corte de la sección en planta. ....	89
<b>Figura 45.</b>	Esquema de modelamiento en planta a partir de la nube de puntos mostrando. a) nube de puntos en AutoCAD b) dibujo sobre la nube de puntos c) modelo en planta más completo. ....	90
<b>Figura 46.</b>	Fachada representada con nubes de puntos en color real .....	92
<b>Figura 47.</b>	Fachada representada con nubes de puntos importada a AutoCad ... ..	92
<b>Figura 48.</b>	Detalle de fachada .....	92
<b>Figura 49.</b>	Detalle de la fachada este del edificio. ....	93
<b>Figura 50.</b>	Plano topográfico del edificio .....	94
<b>Figura 51.</b>	Duración de las etapas principales con el uso de escáner láser y topografía .....	98
<b>Figura 52.</b>	Muros medidos para cálculo de error en longitudes. ....	100
<b>Figura 53.</b>	Longitud de elementos aleatorios real, medidas con topografía, medidas con escáner laser terrestre. ....	101
<b>Figura 54.</b>	Errores en medición de aristas y esquinas por interferencia de la geometría del prisma .....	103
<b>Figura 55.</b>	Plano en planta a) elaborado con topografía y b) elaborado con escáner láser. ....	106

**Figura 56.** . Diferencia en georreferenciación de los dos levantamientos para el  
perímetro del edificio..... 109

**Figura 57.** Detalle de la diferencia presente en la parte trasera del edificio... 110

## LISTA DE ANEXOS

Anexo a.	Imágenes de fachada de la nube de puntos en color real.....	120
Anexo b.	Resultado estadístico de iteraciones de registro .....	123
Anexo c.	Cartera de campo y de coordenadas .....	127

## RESUMEN

### TÍTULO:

EVALUACIÓN EL USO DE UN ESCÁNER LÁSER TERRESTRE Y MÉTODOS TRADICIONALES EN LA EVALUACIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

### AUTOR:

ULLOA MORENO, Andrés Julián\*\*.

### PALABRAS CLAVES:

ESCÁNER LÁSER TERRESTRE, TOPOGRAFÍA, LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, NUBE DE PUNTOS, POSTPROCESAMIENTO, MODELO DIGITAL.

### DESCRIPCIÓN:

Los levantamientos topográficos mediante métodos tradicionales con uso de estación total ofrecen representaciones generalmente bidimensionales en planimetría y altimetría del terreno, accidentes topográficos y edificaciones en general con un alto grado de precisión, pero frente a la necesidad de generar modelos tridimensionales detallados en un tiempo considerable han sido los escáneres láser terrestres los que han revolucionado el campo para servir a este propósito, mediante la captura de información espacial de los elementos a detallar condensados en una nube de puntos. En respuesta a esto nace este proyecto en base al estímulo del grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas, adscrito a la escuela de ingeniería Civil, en su interés en la investigación y el uso de tecnología de punta en la región, con su apoyo en la adquisición y suministro de los equipos adicional al apoyo técnico y profesional requerido.

El presente estudio hace una comparación entre el uso de los métodos tradicionales y el uso de un escáner láser terrestre Riegl VZ-400 en la elaboración de un levantamiento topográfico mediante su aplicación concreta en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón localizado en el campus de la Universidad Industrial de Santander detallando las etapas de captura, procesamiento y generación de modelos con ambas herramientas y obteniendo como resultado imágenes, un modelo tridimensional detallado y planos de secciones en planta y de fachada georreferenciados de la zona de estudio, además, tras una comparación cualitativa y cuantitativa de ambos métodos se obtuvo como resultado una precisión de cierre y medición mayor con el escáner láser del orden de milímetros, con un tiempo de captura menor y un mayor valor en sus productos con beneficios que no es posible obtener con los métodos tradicionales mostrando sus ventajas y abriendo nuevos campos de aplicación.

---

\*Trabajo de Investigación.

\*\*Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: PhD. Jhon Jairo Cáceres Jiménez. Codirector: Ing. Elver Omar Gallo Lancho.

## ABSTRACT

### TITLE:

EVALUATION USING A TERRESTRIAL LASER SCANNER AND THE TRADITIONAL METHODS IN THE ASSESSMENT OF A TOPOGRAPHIC SURVEY

### AUTHOR:

ULLOA MORENO, Andrés Julián\*\*.

### KEYWORDS:

TERRESTRIAL LASER SCANNER, TOPOGRAPHY, SURVEYING, POINT-CLOUD, POST-PROCESSING, DIGITAL MODEL.

### DESCRIPTION:

Surveying by traditional methods using total station generally offer two-dimensional representations in planimetry and altimetry terrain, topography and buildings in generally with a high degree of accuracy, but in the need of the generation for detailed three-dimensional models the terrestrial laser scanners have revolutionized the field to serve this purpose, by capturing spatial information detailing the elements condensed into a point cloud. In response to this project, the Research Group *Geomática gestión y optimización de sistemas*, attached to the School of Civil Engineering, and in their interest in research and use of the latest technology in the region, supports in the procurement and supply of additional equipment and professional technical support required for the development of the project.

This study makes a comparison between the use of traditional methods and the use of the terrestrial laser scanner Riegl VZ-400, in the development of a survey by its specific application in the building Alvaro Beltran Pinzón located on the campus of the Universidad Industrial de Santander detailing the steps of capturing, processing and generation of models with laser scanner and traditional methods, obtaining images, detailed three-dimensional model and floor plans and sections georeferenced study area, likewise, after a qualitative and quantitatively comparison of both methods what was found as a result was a more accurate and higher measurement with laser scanner the order of millimeters, with a smaller capture time and a higher value products with benefits that cannot be obtained with traditional methods showing their advantages and opening new fields of application.

---

\* Research paper.

\*\*Physical-Mechanical Engineering Faculty Civil Engineering School, Director PhD. Jhon Jairo Cáceres Jiménez. Co-director: Ing. Elver Omar Gallo Lancheros

## INTRODUCCION

Como método de interpretación y representación gráfica de terrenos y estructuras ha sido la topografía tradicional la encargada de servir a esta labor desde hace muchos años; perfeccionándose y tecnificándose su uso a nivel nacional y local; la topografía se da principalmente valiéndose de dos ramas, la planimetría que permite obtener representaciones del terreno sobre una superficie plana prescindiendo de su relieve y la altimetría que se usa para representar el relieve respecto a un plano de referencia, siendo las dos representaciones bidimensionales; ha sido con el uso de estas herramientas junto a la ingeniería que se ha llevado a cabo el desarrollo de nuestras estructuras civiles, lo anterior evidencia la existencia de una limitación para generar y acceder a modelos digitales tridimensionales que sean más fieles a la realidad y en respuesta otra tecnología ha surgido como alternativa para hacer levantamientos volumétricos robustos usando escáneres terrestres con tecnología láser, existiendo actualmente toda una industria en torno a los TLS (Terrestrial Laser Scanner). Los TLS se usan para generar modelos digitales de terreno de forma que condensa en un concepto llamado “nube de puntos” la información espacial de los elementos circundantes con un alto grado de precisión. Si bien en muchos países ya existen empresas, grupos de investigación y proyectos donde se utilizan los TLS, en Colombia y más precisamente en nuestra región esta tecnología no está en uso por varios aspectos, entre ellos el hecho de que es muy desconocida, existe una falta de inversión y acceso a estos equipos que impide hacer aplicaciones de campo así como estudios que verifiquen la viabilidad del uso de los TLS para trabajar a la par y por qué no, reemplazar los levantamientos topográficos tradicionales en algunos aspectos. Se hace necesario hacer una estimación que permita saber si es posible comparar los levantamientos hechos con escáneres laser terrestres y los levantamientos topográficos tradicionales mediante una aplicación práctica, pudiendo establecer parámetros de similitud, precisión y ventajas de cada uno de ellos que sirva como precedente para futuras aplicaciones de esta tecnología.

Con este proyecto se pretende dar un primer paso hacia el conocimiento y la implementación de esta tecnología a nivel regional teniendo en cuenta los diferentes tipos de escáneres que varían en función del tipo de tecnología empleada y su campo de aplicación. Además teniendo acceso a un escáner láser terrestre Riegl VZ-400 gracias al grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas y haciendo un análisis práctico mediante un levantamiento en campo de una edificación se pretende explorar y adaptar la metodología usada con los TLS a nuestro entorno identificando sus particularidades.

De no empezar a contar en nuestra ciudad con estos sistemas estaríamos de cara a un atraso tecnológico evidente y no podríamos acceder como lo han hecho otros países a las múltiples ventajas que se derivan del uso de los TLS, como lo son: una rápida, y segura recolección de información espacial, la posibilidad de usarlo en lugares de difícil acceso o que representen peligro para el operario, no necesita de condiciones adecuadas de luz para operar como los sistemas tradicionales, y por supuesto la creación con la nube de puntos de un modelo digital tridimensional con posibilidades de ser aprovechado en diferentes programas de diseño asistido por computadora. Además al comparar las dos tecnologías se podrá establecer campos particulares de aplicación para cada uno de ellos y extender el uso de la topografía con TLS en el futuro a proyectos de modelación de edificaciones históricas para su conservación y documentación, modelación de proyectos civiles como represas, minas, puentes, y demás estructuras en un tiempo corto y con una reducción de costos significativa si se tiene en cuenta el nivel de detalle obtenido. La evolución que tendremos en áreas como la topografía, la ingeniería civil, la arquitectura, el catastro y los sistemas de información geográfica será evidente si se empieza a contemplar esta tecnología como una posibilidad de solución a las limitaciones presentes en la topografía tradicional.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Hacer una evaluación comparativa entre el uso de un escáner laser terrestre y métodos tradicionales en la ejecución de un levantamiento topográfico.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los diferentes tipos de escáner laser y su campo de aplicación.
- Elaborar un levantamiento topográfico empleando un escáner láser terrestre y mediante métodos tradicionales.
- Identificar particularidades en la implementación del levantamiento mediante escáner láser terrestre a nivel local.
- Procesar los datos recolectados con el escáner láser terrestre utilizando el software del fabricante para generar modelos de: nube de puntos georreferenciada, planos 2D estándar y un modelo tridimensional básico.
- Verificar la precisión del modelo para cada uno de los métodos usados.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1. LÁSER

Las ondas electromagnéticas conforman un espectro que van desde las ondas largas de radio, pasando por la luz visible hasta las ondas cortas Gamma, y viajan a una velocidad constante (velocidad de la luz) de 299.792.458 m/s variando su longitud. Dentro de este campo de estudio se encuentra el láser (por sus siglas en ingles light amplification by stimulated emission of radiation), que es un dispositivo capaz de emitir un haz de luz coherente, es decir, en un rango discreto del espectro electromagnético con un tamaño, forma, y dirección bien definidos. Estos dispositivos pueden trabajar dentro del rango de luz visible o invisible siendo los primeros los más conocidos. En este proyecto se trabajó con un escáner laser terrestre de haz invisible, y debido a la variedad de marcas existentes con esta tecnología es recomendable tener en cuenta el tipo de laser en función del riesgo para el operario como puede verse en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación de láseres según UNE EN 60825-1 /A2-2002

Clase	Descripción
<b>Clase 1</b>	Seguros en condiciones razonables de utilización
<b>Clase 1M</b>	Como la Clase 1, pero no seguros cuando se miran a través de instrumentos ópticos como lupas o binoculares.
<b>Clase 2</b>	Láseres visibles (400 a 700 nm). Los reflejos de aversión protegen el ojo aunque se utilicen con instrumentos ópticos.
<b>Clase 2M</b>	Como la Clase 2, pero no seguros cuando se utilizan instrumentos ópticos.
<b>Clase 3R</b>	Láseres cuya visión directa es potencialmente peligrosa pero el riesgo es menor y necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control que la Clase 3B.
<b>Clase 3B</b>	La visión directa del haz es siempre peligrosa, mientras que la reflexión difusa es normalmente segura.
<b>Clase 4</b>	La exposición directa de ojos y piel siempre es peligrosa y la reflexión difusa normalmente también. Pueden originar incendios

Fuente: IEC, 2001. Safety of laser products – Part 1: Equipment – classification, requirements and users guide. Edition 1.2. International Standard, IEC 60825-1.

### **1.1.1. Medición utilizando luz**

Frente a la necesidad de la profesión para poder medir distancias y elementos bien sea en un corto o largo alcance existen varias formas de hacerlo utilizando luz que han sido clasificados como métodos activos y métodos pasivos; los métodos pasivos son aquellos que no requieren un equipo que emita luz, es decir, basta con un receptor capaz de recopilar información a partir de la luz en el ambiente (como lo hacen las cámaras digitales); la fotogrametría es un ejemplo claro de este campo donde mediante la intersección de varias fotografías con objetos comunes en diferentes ángulos permite realizar una restitución de la geometría y localización de los mismos. Por otro lado, los métodos activos como el estudiado en este proyecto hace referencia a aquellos donde el instrumento emite luz y mediante un receptor detecta la señal del haz emitido (generalmente láser) de modo que bien sea por tiempo de vuelo, triangulación o diferencia de fase se calcula la distancia entre el aparato y el objeto detectado, es aquí donde el escáner laser terrestre está clasificado.

### **1.1.2. Escáneres activos**

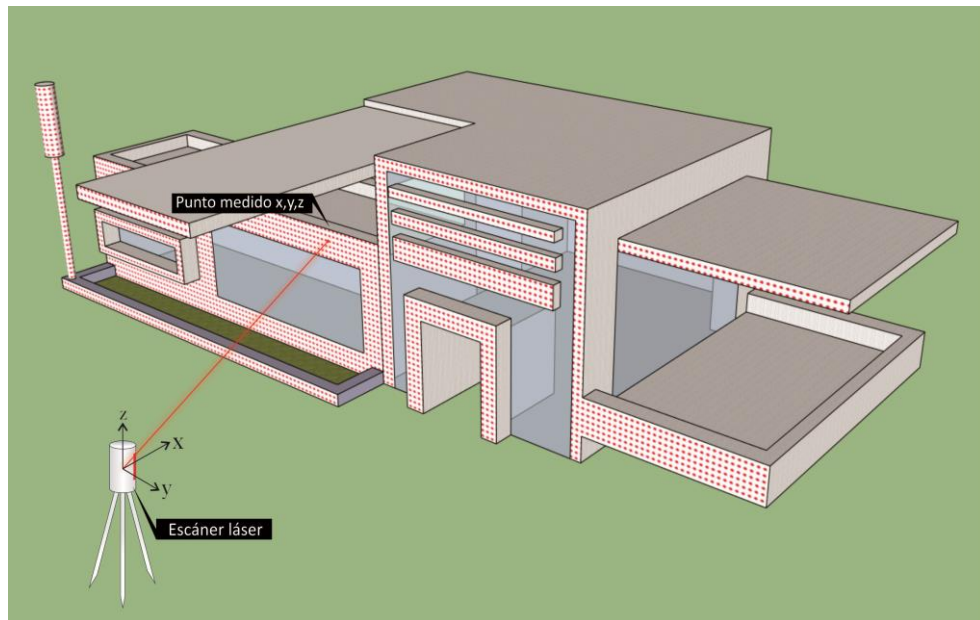
En diferentes presentaciones y tecnologías los instrumentos que toman medidas basadas en el principio activo antes mencionado de emisión-recepción de una onda electromagnética son llamados escáneres y utilizan comúnmente un haz de luz coherente (láser), variando la forma como se realiza la medición de la señal lo cual se detallara a continuación.

### **1.1.3. Escáner laser**

Muy extendidos desde hace muchos años los escáneres laser son dispositivos que miden de forma activa distancias utilizando un haz de láser, estos instrumentos de forma comercial se encuentran en diferentes presentaciones (aéreas, terrestres, móviles) pero su principio es similar. Estos aparatos cuentan con un emisor laser que genera un haz que puede ser continuo o intermitente (discreto) y un receptor que percibe la llegada de la señal enviada pudiendo calcular la distancia hasta el objeto a medir, en general trabajan para crear una

nube de puntos, es decir, el dispositivo toma un punto cada cierto movimiento horizontal y vertical barriendo su entorno rápidamente mientras registra las coordenadas X,Y y Z del punto sobre el objeto como se muestra en la Figura 1; algunos más sofisticado permiten medir el color real RGB del punto, la reflectancia, la amplitud, etc. Generando un modelo a partir de puntos que representa fielmente el entorno. Las coordenadas registradas se toman partiendo del sistema coordenado propio del escáner pero pueden ser transformadas a un sistema coordenado Global con la ayuda de sistemas de posicionamiento global o topografía tradicional.

**Figura 1.** Esquema de escáner láser tomando lectura de una superficie

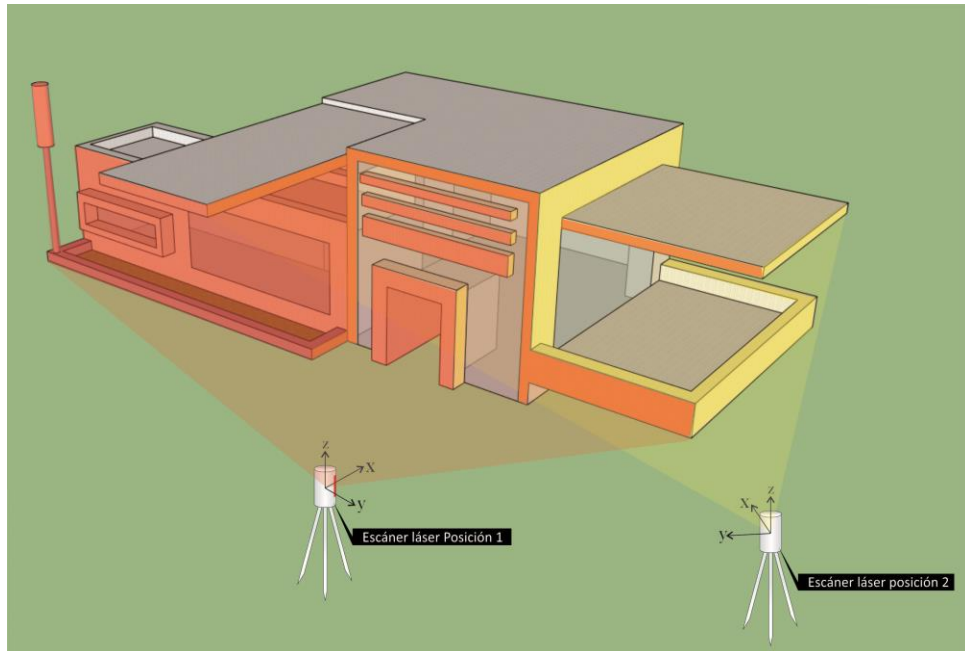


Fuente: Elaboración propia.

Las nubes de puntos generadas en cada escaneo deben ser registradas posteriormente, es decir, unidas en una misma escena teniendo en cuenta que entre ellas debe haber cierto grado de traslape donde lo que se busca es lograr tener un modelo digital de estructuras, terrenos, proyectos constructivos, mineros, grandes áreas como ciudades, etc. donde un solo escaneo no es suficiente (Ver Figura 2). Aunque el trabajo es muy rápido y automatizado en campo, en oficina

requiere el uso intenso de personal calificado con varias horas de dedicación y conocimiento en manejo de software especializado para lograr generar los productos entregables.

**Figura 2.** Esquema de escaneo en una posición 1 (rojo) y posición 2 (amarillo) de un mismo objeto con cierto grado de traslapeo (naranja).



Fuente: Elaboración propia.

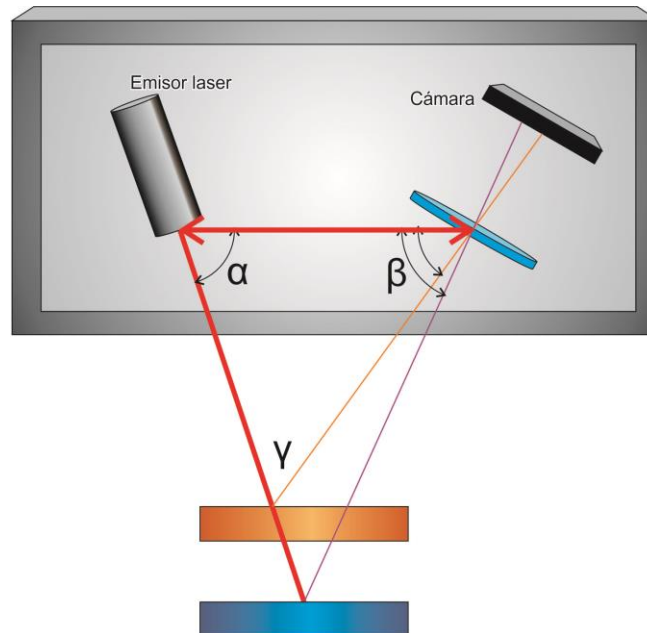
## 1.2. TIPOS DE ESCÁNER LASER

Existen diferentes formas de realizar las mediciones en los escáneres láser, algunos clasificados por la tecnología con la que se hace la medición y otra con el campo de acción; a continuación se da una breve explicación de cada uno de ellos.

### 1.2.1. Clasificación por método de medición

#### 1.2.1.1. Mediciones con láser por triangulación

**Figura 3.** Esquema de medición por triangulación



Fuente: Elaboración propia.

La medición por triangulación se basa en fundamentos geométricos, en este caso el sistema se forma con un emisor láser, un sensor y un dispositivo para procesar la señal recibida. La distancia entre el láser y el sensor es conocida así como el ángulo del vértice del emisor y calculando con la cámara la posición del rayo reflejado y por consiguiente el ángulo formado es posible determinar la distancia

entre el emisor y el objeto registrado, de ahí que reciba el nombre de triangulación. El sensor en función del procesador de señal digital o DSP permite que la medida sea de gran precisión y rapidez aunque sin embargo no es el método más utilizado para hacer mediciones con escáner laser.

#### 1.2.1.2. Mediciones con láser por tiempo de vuelo

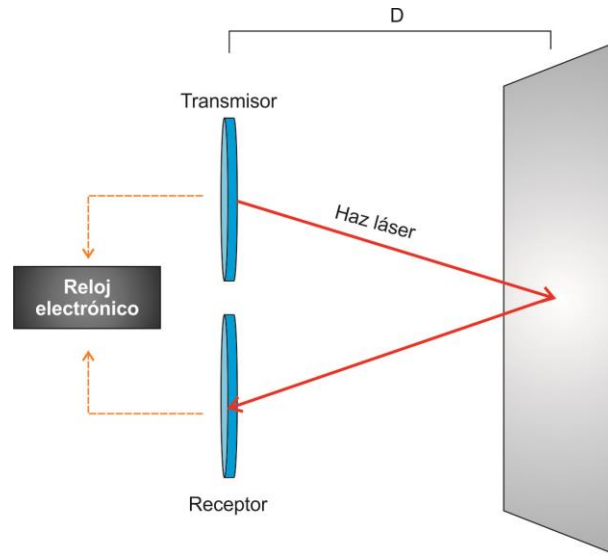
La medición por tiempo de vuelo al ser un método activo también utiliza la emisión-recepción de un haz láser calculando la distancia hacia el objeto con el tiempo que tarda en ir y volver el pulso. Partiendo del hecho de que el láser es una onda electromagnética y viaja a la velocidad de la luz finita y conocida, al lograr medir el tiempo entre el momento que se emite el rayo y cuando se recibe en un sensor fotosensible es posible conocer la distancia. Si se desea conocer la distancia hasta el objeto se sabe que:

$$D=ct/2$$

Donde D es la distancia a medir, c es la velocidad de la luz correspondiente a 299.792.458 m/s y t el tiempo que tarda la señal en ir y volver del emisor al receptor. Es clave para este tipo de tecnología que el reloj electrónico que toma el tiempo de vuelo este calibrado para tomar tiempos suficientemente, tan importante es este elemento que para tener una precisión de 10 mm como muchos escáneres comerciales la tolerancia del dispositivo debe poder medir tiempos de 33.3 pico segundos. Existen diferentes factores de corrección que tienen en cuenta por ejemplo la densidad del medio en el que el haz de luz viaja lo cual afecta el valor de la velocidad de la luz en el vacío.

Una particularidad de la medición por tiempo de vuelo es que generalmente no se utiliza un haz continuo sino discreto, es decir, son pulsos de láser intermitentes donde una segunda medida se realiza terminada la primera. El error de vuelo casi siempre es independiente de la distancia a la que se tome la medida.

**Figura 4.** Esquema del concepto de medición por tiempo de vuelo.



Fuente: Elaboración propia.

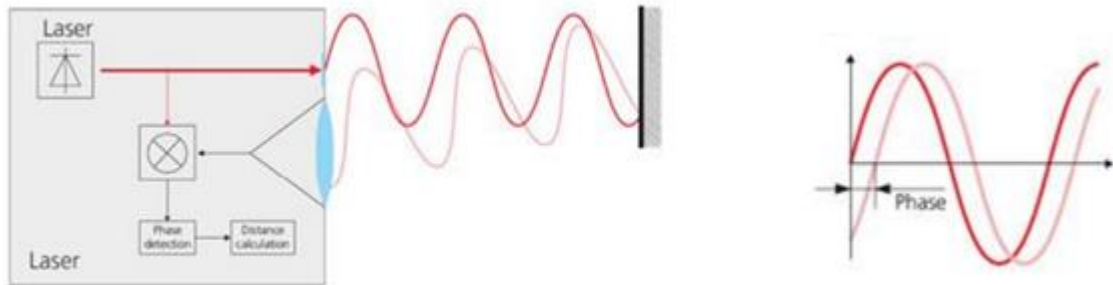
Este sistema tiene como múltiples ventajas el hecho de que permite tener altas precisiones a larga distancia teniendo en cuenta la intensidad del pulso transmitido, es por ello que es uno de los sistemas más populares en el mercado.

#### 1.2.1.3. Mediciones con láser por diferencia de fase

Utilizando de igual forma un receptor y un emisor de rayo láser el principio que aplican estos sistemas es el de identificar para una onda electromagnética sinusoidal la diferencia de fase existente entre el momento que sale y el momento en que se percibe, esto también permite calcular el tiempo de vuelo pues es un valor proporcional al desfase de la onda, pero sin necesidad de reloj electrónico.

La onda se requiere en estos casos que sea continua y esto equivale a un gasto energético mayor al del sistema basado en tiempo de vuelo, clasificándose como una solución intermedia teniendo en cuenta el alcance del láser de tiempo de vuelo generando errores característicos de 2 mm cada 25 metros.

**Figura 5.** Esquema del concepto de medición por diferencia de fase.



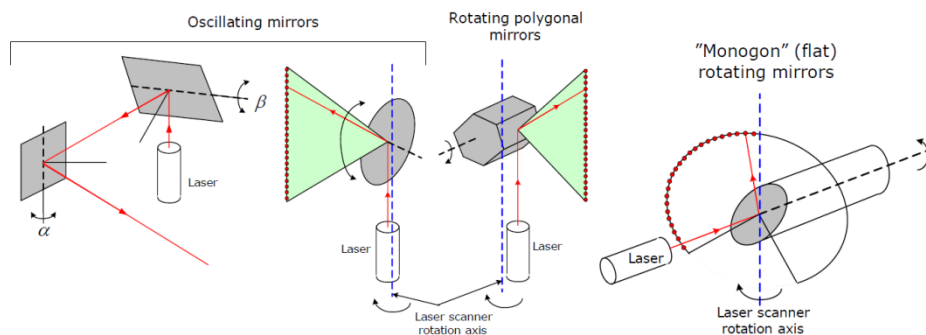
Fuente: Recurso electrónico:

<http://www.frsn.utn.edu.ar/tecnicas3/problemas/Medicion%20con%20laser%20por%20triangulacion.pdf>, consultado en febrero de 2013

#### 1.2.1.4. Desviación del rayo laser

Resuelta la incógnita sobre como tomar mediciones de distancias basadas en tiempo para un solo punto se hace necesario replicar ese principio para medir millones de puntos en la periferia del escáner laser, es decir, poder obtener imágenes tridimensionales y esto se logra desviando el láser de diferentes formas, comúnmente usando espejos que deflecten el haz sin tener que mover el emisor laser.

**Figura 6.** Diferentes ejemplos de deflexión del haz láser.



Fuente: (Staiger 2007)

(En la Figura 6) se observa cómo mediante espejos es posible deflejar el rayo láser, en el primer caso dos espejos se mueven horizontal y verticalmente, en el segundo se utiliza un espejo rotatorio o un polígono rotatorio y en el tercero un espejo biselado rotatorio proyecta el rayo láser en las diferentes direcciones así como se consigue que estos dispositivos comercialmente tiendan a tomar medidas que abarcan en un barrido o posición de escaneo 360° en horizontal y entre 60° y 100° en vertical.

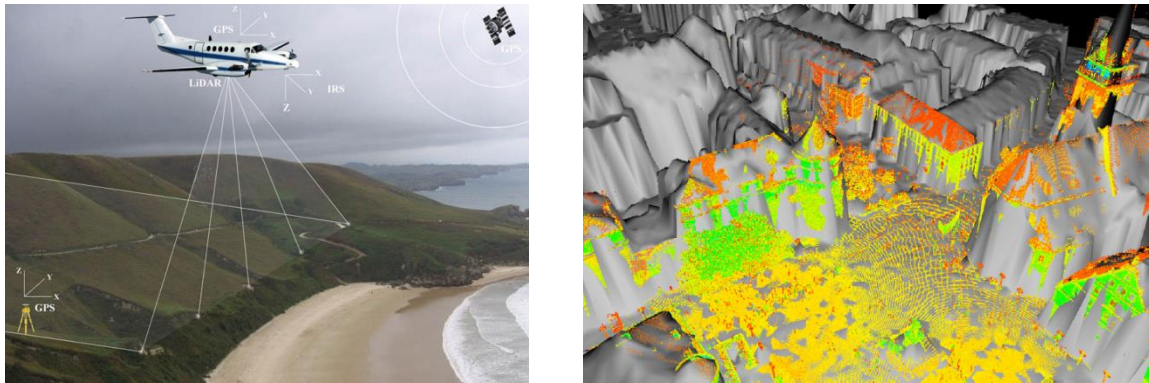
## **1.2.2. Clasificación por campo de acción**

### **1.2.2.1. Escáneres aerotransportados (LIDAR)**

Existen escáneres que se utilizan para hacer escaneos de áreas grandes y desde el aire, generalmente montados en helicópteros o aviones en posición hacia el suelo y con georreferenciación con el uso de sistemas GNSS RTK principalmente con correcciones en tiempo real. Funcionan con el principio del pulso laser y el cálculo de distancia por tiempo de vuelo y hacen un barrido de aproximadamente 45° transversales a la línea de vuelo. Los ejes de movimiento se dan de forma transversal donde el movimiento se da desde el escáner y longitudinal dado por la línea que sigue el avión, estos vuelos son programados previamente y la recolección de datos se da de forma continua a diferencia de los escáneres terrestres que toman toda la información una estación a la vez. La ventaja de estos sistemas es que abarcan un amplio rango de captura de información, permite generar modelos de ciudades o terrenos completos en muy corto tiempo y son útiles para el levantamiento de corredores viales, para la implementación de redes eléctricas y de servicios entre otros. muchas ciudades han utilizado estos sistemas para tener modelos digitales tridimensionales de sus ciudades, y son usados en investigaciones para la georreferenciación y registro de levantamientos con tecnología láser terrestre, como Sara Schuhmacher del University of Stuttgart, Institute for Photogrammetry en su proyecto “Georeferencing of terrestrial laserscanner data for applications in architectural modelling” donde para

georreferenciar nubes de puntos tomadas con escáner laser terrestre se vale de modelos virtuales tridimensionales de ciudades y datos de escáner laser aéreo LIDAR, como se muestra en la Figura 7.

**Figura 7.** a) Levantamiento con escáner LIDAR aerotransportado y sus componentes principales. b) Georreferenciación de datos de escáner laser terrestre basado en datos aéreos LIDAR.



a.

b.

Fuente: Sara Schuhmacher, Jan Bohm.

#### 1.2.2.2. Escáneres terrestres móviles

Así como los escáneres LIDAR aerotransportados, los escáneres terrestres móviles se presentan como una forma de escaneo dinámico que generalmente se monta sobre un vehículo y toma de forma continua mediciones con nube de puntos de su alrededor. Pueden existir presentaciones con 2 escáneres y medidores inerciales; estos mecanismos se utilizan para levantamientos de vías y levantamientos urbanos y está debidamente calibrado a sistemas de posicionamiento GNSS. Son muy útiles a la hora de hacer levantamientos de vías como se muestra en la Figura 8.

**Figura 8.** Escáner móvil RIEGL VMX-250 y detalle de nube de puntos y curvas de nivel de un tramo recorrido con un escáner laser móvil.



Fuente: Disponible en <http://www.riegl.com/nc/products/mobile-scanning/gallery/>

### 1.2.2.3. Escáner laser terrestre (TLS)

Los escáneres láser terrestres TLS (por sus siglas en inglés: Terrestrial Laser Scanner) son dispositivos que funcionan bien sea por triangulación, tiempo de vuelo o diferencia de fase para tomar medidas  $x,y,z$  de millones de puntos, esto se hace posicionando el instrumento de forma estática en cada posición de escaneo; estos son los más extendidos comercialmente y el proceso a diferencia del LIDAR y el móvil es similar al de la topografía tradicional; podría decirse que comparativamente la topografía es un método de medición discreto y el escaneo con TLS es un método de medición continuo por la densidad de puntos y forma como se realizan las mediciones con unos y otros. Este es el tipo de escáner laser utilizado en este proyecto, de marca RIEGL modelo VZ-400 como el que se observa en la Figura 9.

**Figura 9.** Sistemas operativos y conectores del TLS Riegl VZ400.



Fuente: RIEGL VZ400 Datasheet 2013

### **1.3. ERRORES PRESENTES EN LEVANTAMIENTOS CON ESCÁNER LASER**

Debido a que el tema que compete al proyecto es una aplicación de un escáner láser terrestre se tendrá en cuenta en adelante aquellos conceptos al respecto habiendo explicado las diferentes aplicaciones de los otros métodos de medición de modo que haya un enfoque más familiar a la tesis.

#### **1.3.1. Fuentes de error en escaneo láser terrestre**

Cuando el proceso de recolección de datos se da de forma tan automática como es el caso de los escáneres laser terrestres el control de los errores no puede ser monitoreado directamente por el operario y se confía muchas veces en el error que el fabricante ha definido como estándar para cierto equipo; este error representa solo uno de los muchos que pueden influenciar el trabajo y muchas veces no representa la realidad; los equipos pueden no estar calibrados, o la manufactura de los mismos pueden introducir errores cuando se fabrican en lotes limitados.

Lerma García y Biosca Tarongers en su libro “Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre” (2008) clasifican las fuentes de error de manera sistemática (instrumentales), por el objeto, el entorno y la metodología de levantamiento.

Yuriy Reshetyuk en su tesis doctoral Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning subdivide de forma más amplia los errores que en conjunto podría abarcar la siguiente clasificación:

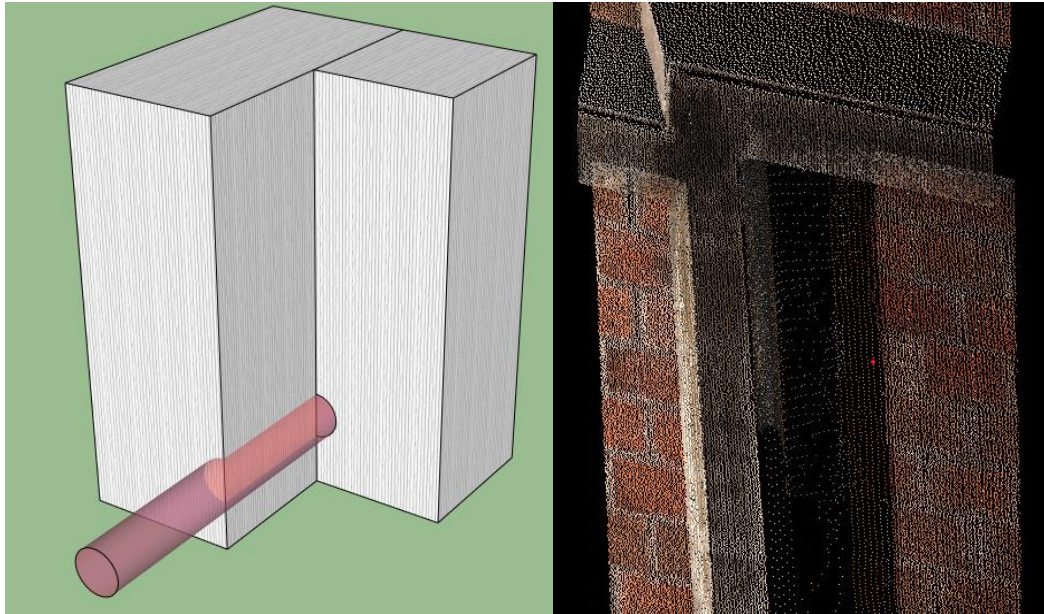
- **Instrumentales (Fundamentales o del hardware):**

Hace referencia a aquellos errores fundamentales inherentes a la física y comportamiento del rayo láser y pueden ser minimizados más no eliminados y a aquellos relacionados al hardware, equipo y tecnología usada para realizar el levantamiento. Estos errores tienen un comportamiento aleatorio.

Respecto al comportamiento fundamental del rayo láser el haz puede presentar cierta divergencia que influye en la nube de puntos. La reflexión del haz tiene una distribución Gaussiana. Una de las consecuencias más importantes se da cuando el haz láser choca contra un borde o arista, una parte de la señal se devuelve al contacto con el muro mientras la otra continua hasta detectar otra superficie, de modo que para un mismo pulso enviado se reciben dos mediciones y la posición calculada se da como el promedio de las señales recibidas, finalmente el punto estará en una posición espacial incorrecta donde los puntos se interpretan como ruido

Otros errores presentes son la ambigüedad de la distancia, el ángulo y errores en los ejes.

**Figura 10.** Esquema del problema del borde partido y ejemplo real en un levantamiento.



Fuente: Elaboración propia.

- **Relacionados al objeto:**

Quando se escanean elementos con cierta reflectancia y teniendo en cuenta las leyes físicas de la misma estos elementos pueden desviar los rayos en muchas direcciones generando una señal difusa, el agua es un ejemplo de esto de modo que superficies con agua serán nulas en el escaneo, el vidrio y materiales traslucidos no son reconocidos en la nube de puntos.

- **Condiciones ambientales:**

Tiene en cuenta la temperatura que también limita ciertas máquinas que no pueden trabajar en condiciones de frío o de calor extremo y que dilatan elementos como el trípode e interfiere con la señal del láser, las condiciones atmosféricas, de humedad, de presión afectan los levantamientos.

- **Georreferenciación:**

Abarca aquellos errores que impiden que la nube de puntos se encuentre georreferenciada correctamente, esto obedece a los errores de los

instrumentos usados para calcular las coordenadas globales o de proyecto que tienen su propio error y dependen de si se usan sistemas GPS, o GNSS RTK más precisos, además del registro que debe hacerse a los datos para elaborar una sola nube de puntos.

#### **1.4. TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES ESCÁNERES LASER**

Teniendo en cuenta el mercado de escáneres láser terrestres se seleccionaron las principales marcas para hacer una comparación que permitiera seleccionar el escáner adecuado para hacer el levantamiento del proyecto resumida en la Tabla 2 que evidencia factores como la precisión, tipo de tecnología empleada, y demás especificaciones de los equipos.







Se encontró que el campo de aplicación de estos equipos abarcan los campos de:

- Topografía: Para la elaboración de levantamientos topográficos con posibilidad de generar planos en planta, fachada y cortes, curvas de nivel de superficies y modelos tridimensionales.
- Ingeniería Civil: Para el registro de infraestructura existente, detalle de interiores y exteriores, determinación de geometría de elementos estructurales como cerchas metálicas, mediciones de elementos sin contacto, posibilidad de llevar control de avances de obra en procesos constructivos, entre otros.
- Arquitectura: Especialmente para el modelamiento de edificaciones, obtención de detalle de fachadas y urbanismos en proyectos de modernización, rediseños arquitectónicos e inventario de condiciones actuales en zonas a intervenir.
- Cartografía: Para la creación de modelos de ciudades tridimensionales, modelos de estructuras o zonas georreferenciadas.

- Minería: Para el control de avances en excavaciones y trabajos de remoción, pudiendo calcular volumen de excavaciones y terraplenes bajo comparación de modelos en diferentes momentos en el tiempo.
- Conservación del patrimonio: Muy valioso en este campo pues permite registrar con un altísimo grado de detalle patrimonios como estructuras antiguas, monumentos, elementos históricos sin tener contacto con ellos y por consiguiente sin representar un riesgo para su conservación.
- Patología estructural: Registrando detalle de daños a las estructuras mediante modelos tridimensionales que permitan examinar patologías, tomar medidas y elaborar diagnósticos.
- Industria petrolera: Mediante el registro de plantas y refinerías que permitan generar modelos muy detallados de la infraestructura con restitución digital e inventario de los elementos como tuberías, máquinas, depósitos y demás elementos propios de esa área.

Cabe aclarar que la presencia en la Tabla 2 del mismo escáner RIEGL VZ-400, uno en modo velocidad y otro en modo longitud, hacen referencia a dos formas de hacer el levantamiento, velocidad para tomar puntos en un tiempo relativamente corto y a un alcance adecuado, mientras que el modo longitud permite tomar puntos en elementos mucho más alejados consumiendo más tiempo por su baja velocidad de escaneo.

**Tabla 2.** Especificaciones de los principales escáneres láser terrestres

Especificación	TOPCON GLS-1500	FARO FOCUS 3D	RIEGL VZ-400 (Modo Long)	RIEGL VZ-400 (Modo velocidad)	Leica HDS6200	Leica HDS7000
<b>Mínimo Rango</b>	1 m	0,6 m	1,5 m	1,5 m	0,4 m	0,3 m
<b>Máximo Rango (con Reflectividad)</b>	330 m con 90%	120 m con 90%	600 m con 90%	350 m con 90%	79 m con 90%	187 m
	150 m con 18%		280 m con 20%	160 m con 20%	50 m con 18%	
<b>Precisión</b>	4 mm (1 m hasta 150 m)	2 mm (50 m)	3 mm	3 mm	2 mm (50 m)	< 2 mm
<b>Cantidad de ptos. por seg.</b>	30,000 ptos/seg	976,000 ptos/seg	42,000 ptos/seg	122,000 ptos/seg	1,016,727 ptos/seg	1,016,727 ptos/seg
<b>Velocidad de Escaneo Vertical</b>	-	5280 rpm o 97 Hz	100 kHz	300 kHz	50 Hz	50 Hz
<b>Angulo de Escaneo Vertical</b>	70°	305°	100° (+60° / -40°)	100° (+60° / -40°)	310°	320°
<b>Angulo de Escaneo Horizontal</b>	360°	360°	360°	360°	360°	360°
<b>Cámara Integrada</b>	2,0 Mpx	70 Mpx	(Opcional) 12,1 Mpx	(Opcional) 12,1 Mpx	No Integrada	No Integrada
<b>Almacenamiento</b>	SD	SD, SDHC, SDXC <b>32GB</b>	Flash Memory <b>32GB</b>		60 GB	Flash Memory <b>64GB</b>
<b>Tecnología del Escáner</b>	Tiempo de Vuelo	Diferencia de Fase	Tiempo de Vuelo	Tiempo de Vuelo	Diferencia de Fase	Diferencia de Fase
<b>Clase</b>	Clase I	Clase 3R	Clase I	Clase I	Clase 3R	Clase I
<b>Duración de la Batería</b>	4 horas	5 horas	NA	NA	4 horas	2,5 horas
<b>Peso</b>	16 Kg	5 Kg	9,6 Kg	9,6 Kg	14 Kg	9,8 Kg
<b>Imagen</b>						

## **2. CASO DE ESTUDIO – LEVANTAMIENTO DEL EDIFICIO ÁLVARO BELTRÁN PINZÓN DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

### **2.1. ZONA DE ESTUDIO**

#### **2.1.1. Análisis previo del área a levantar**

El edificio Álvaro Beltrán Pinzón forma parte del espacio físico administrado por la Escuela de Ingeniería Civil, se encuentra localizado en la parte nororiental del campus central y contiene diferentes laboratorios de suelos, pavimentos, materiales, topografía junto con sala de juntas, oficinas de profesores y grupos de investigación. Se decidió hacer el levantamiento de esta edificación debido a que es una de las estructuras propias de la escuela de ingeniería civil, con una geometría adecuada y regular para los trabajos abarcados en este proyecto, con poco flujo de personas que puedan generar obstrucciones en el trabajo y al estar dentro de la universidad hay garantías de seguridad para el trabajo, además el producto final puede ser aprovechado para la conservación histórica de la infraestructura externa pudiendo contar con planos en caso de ser requeridos posteriormente.

El espacio sobre el que se implanta el edificio es a simple vista un sector con zonas deprimidas en su parte posterior, con diferencias de altura de aproximadamente 4 metros; colinda en su parte frontal con una de las vías perimetrales de la UIS y sus costados y zona posterior con el muro de cerramiento del Campus. La vegetación inmediatamente cercana al edificio no es muy alta con presencia cercana de bambúes. Para efectos del levantamiento con escáner laser terrestre los principales obstáculos que afectan de forma leve el trabajo y pueden ser compensados son la vegetación, los vehículos que parquean cerca al edificio, la circulación de estudiantes y los cambios en la topografía, mientras que La

principal barrera es la cercanía del muro perimetral con la estructura que crea zonas donde el escáner no puede ganar suficiente distancia para el levantamiento de toda la altura debido a que el alcance en vertical requiere una separación suficiente con la estructura. En cuanto al levantamiento con escáner laser se espera tener las posiciones de escaneo en los lugares que permitan obtener la mayor cantidad de información al tiempo que genere suficientes planos para el registro de la nube de puntos considerando todas las dificultades que se podrían presentar en el proceso.

## **2.2. PLANIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO**

### **2.2.1. Preparación del levantamiento con escáner laser terrestre**

Para elaborar el levantamiento con escáner laser terrestre se debe primero hacer una preparación en oficina del trabajo a realizar en campo; esta labor con la experiencia se torna menos tediosa y es importante por cuanto define cómo será el flujo de trabajo desde la etapa de levantamiento hasta la producción de los entregables.

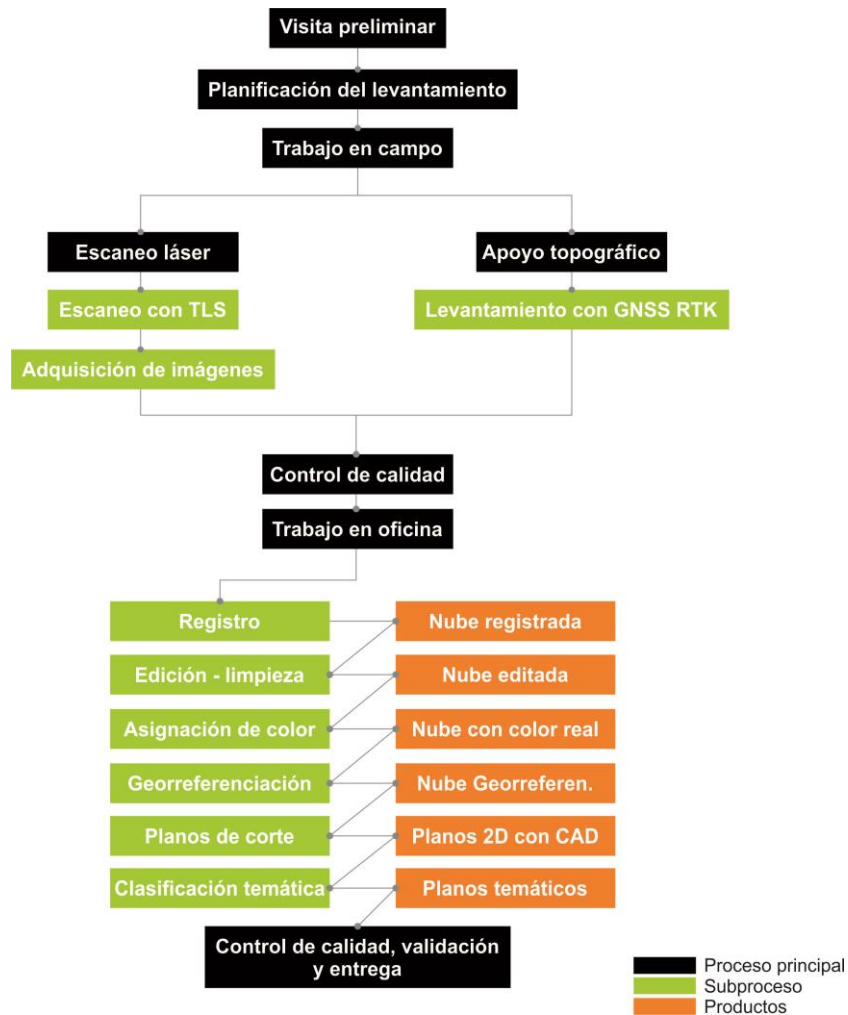
En Figura 11 se describen las diferentes etapas del flujo de trabajo para la elaboración de un levantamiento con escáner láser terrestre; entre las etapas presentadas se tiene una primera visita preliminar que permite conocer la zona de trabajo y la recolección de información primaria, fotografías, y mediciones iniciales que permitan el siguiente proceso de planeación del levantamiento, donde se decide con la información en qué zonas es posible ubicar el escáner para recopilar la información, que dificultades podrían presentarse y cómo solventarlas, así como qué métodos, equipo y personal se dispondrá para dicha tarea.

Posteriormente, en el trabajo en campo con escáner láser terrestre se hace el barrido en cada posición de escaneo y se toma el registro fotográfico para la asignación de color a la nube de puntos con trabajo de apoyo topográfico donde

se definen mojones con coordenadas para georreferenciación de la nube de puntos, actualmente este proceso puede darse de forma tradicional o con el uso de sistemas de posicionamiento global GNSS precisos.

Con la información de campo se hace un primer control de calidad para verificar si los datos levantados cumplen las expectativas y si es necesario volver a campo para recopilar más información, para posteriormente empezar a hacer el trabajo de oficina o procesamiento de la información, allí se hace el registro de las nubes de puntos separadas, es decir, la unión de las nubes de puntos de forma correspondiente, se edita para filtrar aquellos elementos no deseados como ruido y redundancia de puntos para luego asignar el color verdadero o RGB de cada punto con las logrando un modelo mucho más realista. Un siguiente proceso de georreferenciación se puede hacer si se han definido elementos reflectores y/o mojones con coordenadas conocidas que permitan espacializar la información en un sistema de referencia definido, ya con el modelo a ese nivel es posible elaborar planos de corte a cualquier nivel deseado con posibilidad de exportarlos a otro software para su posprocesamiento y la creación de planos en planta o de fachada, junto con la elaboración de diferentes planos temáticos que permitan mostrar la información con clasificaciones por reflectancia, color real, altura, entre otros; finalizando con la validación de los productos obtenidos y la respectiva entrega a quien solicite el levantamiento.

**Figura 11.** Flujo de trabajo del levantamiento



Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1.1. Recopilación de información primaria

Generalmente las estructuras escaneadas son demasiado grandes y/o extensas para abarcarlas con un solo escaneo como es el caso del edificio Álvaro Beltrán Pinzón de modo que para definir las posiciones de escaneo se parte de un trabajo de reconocimiento de campo y recolección de información primaria. De primera mano se hizo un registro fotográfico de la zona de estudio con una cámara fotográfica tradicional así como unos vuelos aéreos que permitieran tener un ortomosaico de la estructura, la herramienta utilizada para la recolección de

información primaria fue un avión Swinglecam de la marca Sense fly, equipo adquirido por el grupo de investigación Geomática que suministró el equipo y procesó las fotografías para obtener el modelo preciso de la zona de estudio.

**Figura 12.** Vista de fotografías aéreas con UAV y avión utilizado.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa cómo el sector norte del edificio colindante con el muro del campus será un obstáculo importante a la hora de elaborar el levantamiento con el escáner laser debido a que crea zonas de poco espacio para lograr el alcance mínimo necesario del láser y además permite conocer los elementos circundantes, accesos, obstáculos y demás condiciones que no se detecta con las fotografías o la visita de campo pero que influyen en el levantamiento.

**Figura 13.** Muestra del registro fotográfico del edificio.



Fuente: Elaboración propia.

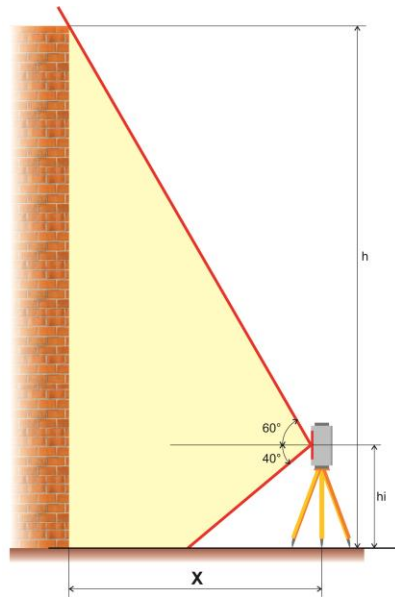
Con la información primaria recolectada se definieron unas primeras condicionantes para el levantamiento con escáner láser terrestre:

- La distancia mínima entre el escáner laser y la estructura debe ser suficiente, teniendo en cuenta la altura aproximada del edificio en su parte más alta (13 metros aproximadamente) y el alcance angular en vertical de  $100^\circ$  del instrumento, dicha separación evidentemente variara en campo y en algunos casos no podrá desarrollarse por completo.
- Se debe ubicar el escáner de modo que no se presenten ángulos muy agudos entre el haz y la estructura debido a que el rayo puede verse distorsionado y generar valores erróneos.
- Aunque el instrumento no requiere nivelación como en un levantamiento topográfico convencional se debe localizar con la mejor orientación posible.
- Las posiciones de escaneo deben estar localizadas de forma que rodeen la estructura, evitando zonas de sombra u oclusiones y presenten suficientes planos de traslapo para que el proceso de registro sea más preciso.

#### 2.2.1.2. **Determinación de las posiciones de escaneo**

La distancia mínima entre el escáner y algún plano vertical de la estructura se propuso calcular teniendo en cuenta algunas suposiciones, como que el escáner estará aproximadamente nivelado en cada punto, la altura del instrumento ( $h_i$ ), y la máxima altura del edificio ( $h$ ); de esta forma y conociendo los ángulos de deflexión en vertical del escáner laser se tiene que una primera noción de la distancia mínima ( $x$ ) está dada por:  $\tan^{-1}(60^\circ) = (h-h_i)/x$ , luego la distancia está dada por  $x = (h-h_i)/\sqrt{3}$ , de modo que suponiendo que la fachada del edificio es de 13 metros, que el instrumento será armado a 1.7 metros se tiene una frontera de 6.52 metros horizontales. Esta longitud da una primera noción de cómo debe ser armado el escáner laser y variará en función de las diferentes condiciones del terreno y desarrollo geométrico del edificio.

**Figura 14.** Esquema de rango mínimo de captura y filtrado por rango.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 15.** Distribución de las posiciones de escaneo y puntos de control



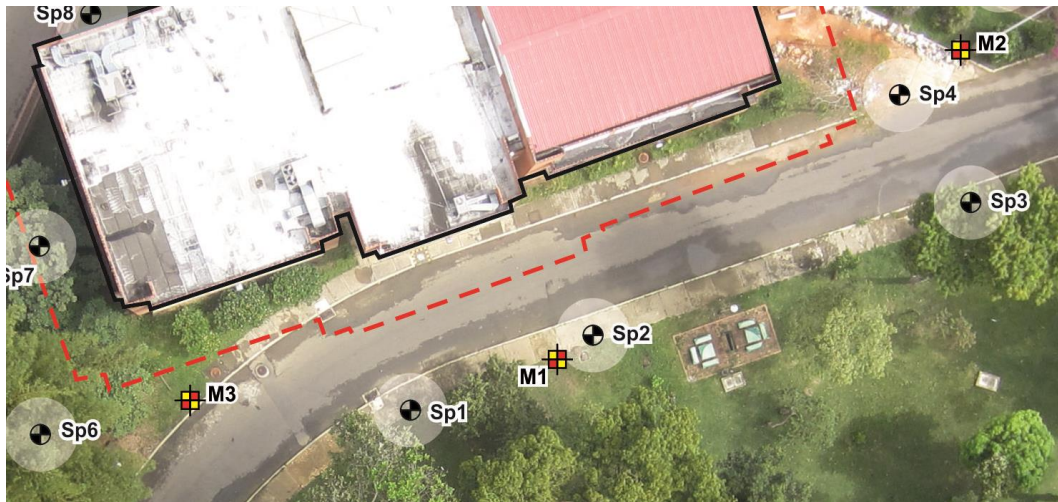
Fuente: Elaboración propia.

Se propuso con la información recopilada y las diferentes visitas de campo que para este proyecto deben existir por lo menos 12 posiciones de escaneo distribuidas alrededor de la edificación que proporcionen el suficiente detalle y traslapo para el proceso de registro de la nube de puntos. Se aprecian las dificultades para escanear en espacios como la parte posterior y oriental de la estructura por la cercanía con el muro, que impide el desarrollo del rango mínimo de posicionamiento del escáner laser para capturar el edificio en toda su altura.

#### 2.2.1.3. **Determinación de puntos de control**

Para la georreferenciación tanto de la nube de puntos como del levantamiento topográfico se establecen 3 mojones como puntos de amarre; el primero localizado en la parte frontal del edificio cruzando la acera, el segundo y el tercero en la parte lateral derecha e izquierda respectivamente (Figura 16). Sobre los mojones se localizaran reflectores (targets) de alta reflectancia. Para la distribución espacial de los mojones se tuvo en cuenta que: estuvieran localizados en zona firme (enterrados en este caso), distanciados lo suficiente uno de otro sin obstáculos que impidan recibir señales de satélite sobre los mismos y ser visibles desde por lo menos tres posiciones de escaneo. Si bien en topografía para georreferenciar un plano en planta (bidimensional) de la zona levantada tan solo se requiere dos puntos de amarre, la nube de puntos requiere más tres que garanticen tener control sobre la posición, rotación y escala de la misma, muchos puntos reducen posibles errores de georreferenciación y pueden incluso servir para registrar las diferentes escenas de escaneo en una sola.

**Figura 16.** Posiciones de los puntos de control M, M2 y M3



Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.1.4. Elección de equipos y métodos

El **grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas** adscrito a la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander mostró en 2010 su interés en la adquisición de un equipo láser terrestre, iniciando un proceso de consulta y análisis de mercado que permitiera conocer los diferentes equipos existentes y elegir aquel que se acomodara mejor a las necesidades de trabajo en campo y que igualmente tuviera las especificaciones adecuadas de precisión y tecnología, es por eso que la Tabla 2 del capítulo 1.4 fue una primera base para la selección del modelo VZ-400 de la casa RIEGL como el escáner láser terrestre a utilizar.

Este equipo a diferencia de otros como los producidos por la empresa FARO es resistente a factores ambientales tales como el polvo o la lluvia, su peso es adecuado con menos de 10 Kg, y su precisión tiene valores de 3 mm. Según el fabricante, puede tomar hasta 122.000 puntos por segundo cuando está configurado en su modo velocidad. En 2012 el equipo fue finalmente adquirido empezando una etapa de pruebas preliminares y tras una capacitación en Estados

Unidos por parte de profesionales del grupo de investigación donde participó el director del presente proyecto se empezó a poner a prueba el equipo al tiempo que se adquirió equipo adicional con tecnología complementaria como el avión para toma de fotografías aéreas Sensefly, equipos GNSS para toma de puntos de alta precisión y computadoras WorkStation de altas especificaciones para el procesamiento de la información y la generación de modelos, toda esta tecnología junto con la calidad y el conocimiento de los profesionales fueron puestos al servicio del desarrollo de la presente investigación.

Contando con el equipo necesario, las respectivas licencias y el software necesario para el levantamiento de la información y el postprocesamiento fue posible llevar a cabo este proyecto, en la Tabla 3 se resume las especificaciones del escáner láser RIEGL VZ 400.

**Tabla 3.** Propiedades del escáner RIEGL VZ-400 en modo velocidad.

<b>PROPIEDADES DEL ESCÁNER EN MODO VELOCIDAD</b>	
<b>Mínimo Rango</b>	1,5 m
<b>Máximo Rango (con Reflectividad)</b>	350 m con 90% 160 m con 20%
<b>Precisión</b>	3 mm
<b>Cantidad de ptos. por seg.</b>	122,000 ptos/seg
<b>Velocidad de Escaneo Vertical</b>	300kHz
<b>Ángulo de Escaneo Vertical</b>	100° (+60° / -40°)
<b>Ángulo de Escaneo Horizontal</b>	360°
<b>Cámara Integrada</b>	(Opcional) 12,1 Mpx
<b>Almacenamiento</b>	Flash Memory <b>32GB</b>
<b>Tecnología del Escáner</b>	Tiempo de Vuelo
<b>Clase</b>	Clase I
<b>Peso</b>	9,6 Kg
<b>Software propio</b>	RiScan Pro

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se muestra una imagen del equipo utilizado, con sus accesorios principales: Batería externa, trípode, reflectores, flexómetro, y reflectores

**Figura 17.** Escáner laser terrestre con su estuche y accesorios.



Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.1.5. Resolución

La resolución hace referencia a la cantidad de puntos en un área determinada, o lo que es igual, la distancia entre dos puntos medidos consecutivamente. El escáner registra un punto por cada cierta rotación horizontal y vertical en pasos iguales, por lo tanto, definir un trabajo en campo con alta resolución resultara en una mayor cantidad (Densidad) de puntos en la nube, mayor tiempo de escaneo y un aumento en el tamaño de los datos. No siempre el escaneo más detallado es el mejor pues cuando se capturan muchos puntos puede haber más ruido presente y por el contrario, una resolución muy pobre puede no dar el detalle deseado. Para el levantamiento del edificio Álvaro Beltrán Pinzón y tras la planeación se apreció que se trata de una edificación de geometría regular sencilla con planos y ángulos

bien definidos que no requieren de una gran densidad de puntos, sin embargo pretendiendo generar planos para comparar con la topografía tradicional se buscó un detalle fino de la fachada y por lo tanto de las configuraciones predeterminadas propias del escáner se seleccionó “PANORAMA 40” cuyas propiedades se aprecian en la Tabla 4. Este levantamiento en cada posición de escaneo se moverá 100° en vertical y 360° en horizontal con un movimiento angular de 0.04°, es decir, una distancia de 7cm cada 100 metros entre los puntos medidos. El tiempo promedio de cada escaneo con esta configuración es de aproximadamente 3 minutos y el peso de los datos recolectados es en promedio de 1.3 Gb por cada posición aproximadamente, los parámetros de la siguiente tabla definen: alcance vertical en grados como el espacio dentro del cual el escáner puede tomar puntos partiendo del eje Z (vertical) del equipo, el alcance horizontal para las mediciones con giros horizontales, el incremento como el valor en grados que rota el equipo tanto en vertical como en horizontal entre un punto medido y el siguiente, la duración con máxima velocidad como el tiempo que tarda en tomar los puntos bajo con configuración para elementos no tan alejados buscando una mayor velocidad y menos tiempo de escaneo, y duración con largo alcance como el tiempo que tarda en hacer un escaneo configurado para detallar elementos a la máxima distancia posible para el equipo

**Tabla 4.** Propiedades de la configuración Panorama 40

PROPIEDADES DEL LEVANTAMIENTO PANORAMA 40	
ALCANCE VERTICAL	30.000°-130.000° (0.04°)
ALCANCE HORIZONTAL	0.000°-360.000° (0.04°)
INCREMENTO	0.04° = 7cm@100M
DURACIÓN CON MÁXIMA VELOCIDAD	3 min
DURACIÓN CON LARGO ALCANCE	9 min

Fuente: Elaboración propia.

## **2.2.2. Preparación del levantamiento topográfico**

La topografía tradicional ha sido el estándar para la representación del terreno y las mediciones durante muchos años con una avanzada sofisticación en los instrumentos utilizados pero aun siendo fiel a los mismos principios. Cuando se hace referencia a topografía tradicional se habla de los levantamientos que mediante el uso de teodolitos o estaciones totales se encarga de representar la localización espacial relativa en planos de los elementos que representan la tierra como accidentes topográficos, estructuras, lotes, vías o demás elementos de interés en función del campo requerido basándose en principios de medición de distancias y ángulos tanto horizontales como verticales. Este campo no solo ha servido de apoyo para la creación de representaciones planimétricas y altimétricas sino que también han complementado el trabajo realizado en fotogrametría y geodesia.

Para un levantamiento topográfico las etapas de trabajo en campo y oficina se pueden considerar como:<sup>1</sup>

### **Trabajo en campo**

- Reconocimiento del terreno
- Selección del método de levantamiento
- Selección de los instrumentos de medición
- Mediciones y materialización de puntos

### **Trabajo en oficina**

- Cálculo de distancias, ángulos, direcciones, áreas, proyecciones, coordenadas, etc.
- Dibujo de planos topográficos con toda la información requerida.

---

<sup>1</sup> CASTELLANOS, Jorge A. TOPOGRAFÍA, Universidad Industrial de Santander, pág. 24. 2003

Sin embargo y para tener un mayor control del trabajo a realizar y de los productos a entregar se debe hacer una adecuada planificación con anterioridad, que van desde examinar información existente del sitio hasta definir sistemas coordinados y proyecciones a utilizar de ser necesario.

#### 2.2.2.1. **Estudio de cartografía e información previa**

Se hizo una recopilación de información del edificio Álvaro Beltrán Pinzón que consistía en las fotografías tanto terrestres como aéreas; de existir planos de la estructura a levantar se optó por no hacer recopilación de los mismos para considerarlo como un proyecto a crear desde cero, es decir, para recrear una situación donde no se ha hecho ningún estudio previo. Dicha información primaria sirvió como insumo para posteriormente elegir los puntos de control y de amarre que sirvieran a la poligonal.

#### 2.2.2.2. **Elección del sistema de referencia del trabajo**

El levantamiento topográfico se hace para tener una representación en un sistema local que depende de los mojones materializados, es decir, en una primera etapa tan solo se hace la medida de distancias y ángulos necesarios y después serán proyectados a un sistema global para tener en cuenta la georreferenciación de los mismos. Los mojones que servirán de apoyo a la cartografía se levantaron en el sistema MAGNA SIRGAS cuyo origen es el Observatorio Astronómico Bogotá, el mismo al que el dibujo se amarró una vez se calcularon las respectivas proyecciones.

#### 2.2.2.3. **Métodos de posicionamiento**

Para el posicionamiento del levantamiento se hizo uso del sistema global de posicionamiento por satélite GNSS, que con equipos de corrección en tiempo real logran precisiones de menos de 1 cm. Estos se usaron para los mojones M1, M2 y M3 de donde se proyectaron las coordenadas de los otros puntos levantados. La configuración del sistema coordinado es el descrito anteriormente.

#### 2.2.2.4. Diseño de poligonal para el proyecto

Teniendo los sitios para materializar los puntos de control M1, M2 y M3, se traza una poligonal aproximada que sirva como envolvente desde los cuales proyectar las coordenadas para los puntos de interés en el levantamiento. Dicha poligonal incorporará los tres deltas. Como se observa en la Figura 18, son 6 los sitios para localizar la estación total en cada vértice de la poligonal.

**Figura 18.** Poligonal para el proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.2.5. Selección de equipos, métodos y personal

Para hacer un levantamiento topográfico se puede elegir entre dos métodos, con instrumentos tradicionales como teodolito o estaciones totales o con sistemas de posicionamiento global; una combinación de ellos es lo que se propuso para este ejercicio donde los sistemas de satélites proporcionan la localización geodésica del proyecto y la topografía tradicional permite materializar los puntos y vértices necesarios. Se decidió utilizar el siguiente equipo para hacer el levantamiento.

- Estación total TOPCON, cuyas especificaciones se observan en la siguiente tabla, con la ayuda de plomada, estacas, jalones y prismas principalmente.

**Tabla 5.** Especificaciones de la estación total TOPCON ES-101

<b>Angle Measurement</b>	
Min. Resolution/Accuracy	0.5"/1"
IACS (Independent Angle Calibration System)	Standard om 1" & 2" models
Compensation	Dual-axis compensator
<b>Distance Measurement</b>	
Prism EDM Range	4000m (ES-107 3000m)
Prism EDM Accuracy	2mm+2ppm
Non-Prism Range	500m
Non-Prism Accuracy	3mm+2ppm (0.3-200m)
Measuring Time	Fine: 0.9 sec
	Rapid: 0.7 sec
	Tracking: 0.3 sec
<b>Communications</b>	
LongLink™ rover communications utilizing Class 1 Bluetooth	
USB 2.0 Slot	
RS-232C Serial	
<b>General</b>	
Display/Keyboard	Dual, Graphic, Backlit
	LCD (ES-107 Single)
Battery Operation	up to 36 hours
Dust/Water Protection	IP66
Wireless Connection	Bluetooth Class 1
Operating Range	-20C to +50C

Fuente: TOPCON, fabricante del equipo; disponible en:

<http://www.topconpositioning.com/products/total-stations/conventional-construction/es-series>. Consultada en febrero de 2013.

En cuanto al personal a utilizar para el levantamiento topográfico se contó con 1 topógrafo y 2 cadeneros:

Este levantamiento, por realizarse dentro de la Universidad Industrial de Santander cuenta de por si con seguridad, en otros casos es necesario contratar un servicio privado para garantizar la integridad de los instrumentos y del personal.

### 3. TRABAJO EN CAMPO

#### 3.1. PUNTOS DE CONTROL

##### 3.1.1. Materialización de los puntos de control

Establecidos en oficina el uso de 3 puntos de amarre (mojones), definidos en este caso como M1, M2 y M3 se procede a materializarlos en campo utilizando probetas de concreto enterradas en suelo firme para que la coordenada del punto no se mueva en el tiempo y marcadas para su fácil identificación en visitas posteriores.

**Figura 19.** a) Excavación para materialización del mojón con la coordenada de amarre, b) localización del mojón respecto al edificio a levantar. c) mojón M2 marcado.



a

B

C

Fuente: elaboración propia.

Una vez que se han colocado los mojones se procede a armar un trípode con un cilindro reflector propio de la casa RIEGL (fabricante del escáner laser), que permitirá localizar el punto materializado en el piso y trasladado al target de modo que sea fácilmente identificable en la nube de puntos. La ubicación de estos

reflectores se hizo nivelando un trípode para que estuviera exactamente sobre el punto deseado como se observa en la Figura 20.

**Figura 20.** Reflector nivelado y localizado sobre uno de los puntos de amarre.



Fuente: elaboración propia.

los targets serán de momento una referencia para el láser del punto con coordenadas globales conocidas.

### **3.1.2. Puntos de control**

En este levantamiento y tanto para la topografía como para el escáner laser terrestre el punto de control se proyecta para ser una referencia de coordenada conocida y de alta precisión a la cual se pretende amarrar los planos topográficos y la nube de puntos. Una inexactitud puede repercutir en la georreferenciación de los modelos e incluso en la escala y por ello es importante que se haga correctamente.

Se decidió materializar la coordenada de los puntos de control utilizando tecnología GNSS (mal llamada GPS) RTK de alta precisión. Estos equipos fueron proporcionados por el grupo de investigación Geomática tras ser adquiridos en el

año 2012 como equipos de alta tecnología para la materialización de estos puntos, se trata de dos equipos marca TOPCON modelo GR-3, estos equipos son dos receptores que reciben señales de diferentes constelaciones de satélites y envía correcciones en tiempo real; el uso de esta tecnología sobre tradicionales se prefirió porque:

- La precisión con la cual el receptor GNSS establecen el valor de la coordenada del punto de amarre tiene de error menor a 1 cm.
- Trabajando con dos equipos se pueden establecer uno como base estático sobre una coordenada conocida de una red geodésica y un equipo móvil (Rover) para recolectar las coordenadas disminuyendo los tiempos para toma de coordenadas.
- La coordenada de los puntos de control estarían definidos por una tecnología diferente a la usada para hacer los dos levantamientos, es decir, el levantamiento topográfico y el levantamiento con escáner laser terrestre parten de conocer estos puntos de control.

Con los equipos en campo y los mojones materializados se procedió a hacer el levantamiento de las coordenadas; primero, se ubicó uno de los receptores sobre uno de los vértices materializados en el 2006 cuya coordenada está documentada y forma parte de la red MAGNA-SIRGAS de Colombia adoptada por el IGAC, el nombre del vértice es GPS-ST-UIS-1 y está localizado al costado norte del estadio 1° de marzo junto al monumento de las banderas de la Universidad Industrial de Santander. Al receptor TOPCON inicializado como base se le ingresó el valor de la coordenada conocida la cual se encuentra en el documento “PROYECTO RED GEODÉSICA – UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER<sup>2</sup>” y se aprecian en la Figura 21

---

<sup>2</sup> Soluciones Geoinformáticas Ltda, (2006). PROYECTO RED GEODÉSICA – UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

**Figura 21.** Localización del vértice GPS-UIS-1 en una fotografía aérea



Fuente: elaboración propia.

El sistema de coordenadas utilizado es el del OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE BOGOTÁ y se encuentran como valores Geodésicos, Geocéntricos, Planos y cartesianos, para este caso teniendo en cuenta que los equipos trabajaban con el mismo sistema de referencia se escogieron las Planas de Gauss-Kruger y la altura elipsoidal del punto cuyos datos se aprecian en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Coordenada GPS UIS 1

COORDENADAS DEL VERTICE GPS-UIS-1	
<b>Norte</b>	1'281.577.559 m
<b>Este</b>	1'105.938.129 m
<b>Altura elipsoidal</b>	1006.342 m

Fuente: Elaboración propia.

Este punto sobre el cual se arma el equipo base cuya coordenada es conocida se utiliza para inicializar la base, es decir, el receptor base recibe su localización a partir de los satélites que este percibiendo y se le ingresa dichos valores de modo que la coordenada calculada se compara con la materializada y permite generar correcciones para enviar al receptor móvil.

Una vez la base estuvo recibiendo las correcciones se procedió a trasladar el equipo Rover hasta los mojones M1, M2 y M3 localizados en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón que recibió correcciones en tiempo real, se programó el equipo para que solo tomara medidas cuando la desviación del error fuera menor a 1 centímetro, además, para cada punto se tomaban 10 lecturas que se promedian para saber su coordenada.

**Figura 22.** a) Estación Base Enviando correcciones RTK sobre el mojón GPS-UIS-1.  
b) levantamiento de la coordenada sobre el mojón M1 con el receptor Móvil RTK.



a.



b.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidas las coordenadas en oficina se descarga la información teniendo las coordenadas de los puntos de control levantados, los cuales se detallan junto con el valor de la desviación del error.

**Tabla 7.** Coordenadas de los mojones y la estación base con sus respectivas desviaciones de error

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Std Dev Hz (m)
<b>BASE</b>	1.281.577,229	1.105.938,129	1.005,765	
<b>M1</b>	1.281.704,210	1.105.585,042	982,296	0,003
<b>M2</b>	1.281.714,849	1.105.620,954	983,643	0,002
<b>M3</b>	1.281.707,652	1.105.555,270	982,078	0,002

Fuente: Elaboración propia.

La anterior tabla muestra las coordenadas de la Base en Norte y Este, así como su elevación. Se aprecia que las coordenadas de la base son las mismas con las que se inicializó, adicional a esto el equipo en función de los parámetros de corrección y la coordenada de inicialización calcula una desviación estándar del medición en horizontal que se puede ver en la columna Std Dev Hz (m) donde en el peor de las casos la incertidumbre fue de 3 mm. Algo muy preciso si se compara con otros métodos.

### **3.1.3. Ubicación de targets para la calibración de las fotografías y la nube de puntos.**

El levantamiento en una posición de escaneo tiene dos fases principales a la hora de recolectar la información; la primera, corresponde al barrido del escáner para registrar los puntos y la segunda el registro fotográfico, cada una de ellas cuenta con su propio sistema de coordenadas por hacerse con instrumentos diferentes que presentan cierta variación, de modo que para calibrar la información recopilada se utilizaron reflectores adhesivos ubicados sobre las paredes del edificio. Estos targets altamente reflectivos se convirtieron en puntos comunes

tanto de la nube de puntos como de la fotografía que en la etapa de posprocesamiento fueron identificados y relacionados en el software bajo el concepto de punto de amarre (Tie point). Los reflectores se adhieren a la estructura buscando que estén distribuidos en todos los planos del edificio y que sean visibles desde diferentes escaneos, en la Figura 23 se muestra uno de los reflectores localizados en un muro de la parte del lado este del edificio.

**Figura 23.** Reflector adhesivo



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2. LEVANTAMIENTO EN CAMPO CON EL ESCÁNER LASER**

Habiendo localizado los puntos de control y teniendo preestablecidas las posiciones de escaneo se procede a hacer el levantamiento del edificio con el escáner laser en un proceso que se torna automático

**Figura 24.** Escáner localizado en el punto Sp1, frente a la entrada del edificio



Fuente: Elaboración propia.

Localizados en el punto inicial frente a la fachada frontal del edificio y con visibilidad a los puntos de control M1 y M3 se arma el trípode firmemente y se localiza el escáner, si bien, el instrumento no necesita ser nivelado como las estaciones totales es conveniente que no sea mucha la inclinación y giros del mismo en los diferentes ejes coordinados.

Seguros de la ubicación del mismo se define en el instrumento mediante la interfaz del escáner un nuevo proyecto, , que contendrá todos los puntos levantados en las diferentes posiciones, asegurándose de contar con espacio de almacenamiento suficiente en el dispositivo. Posteriormente se define la primera posición de escaneo llamada ScanPos001, se revisa que el patrón de escaneo asignado al levantamiento sea PANORAMA 40 ( $0.04^\circ$ ) que fue el escogido en oficina y se

procede a inicializar el trabajo. Tras buscar satélites GPS con el receptor incorporado y referenciar su posición procede a hacer un barrido de  $100^\circ$  en vertical y  $360^\circ$  en horizontal cada  $0.04^\circ$  tomando puntos; el tiempo aproximado de captura de la nube de puntos fue de aproximadamente 3 minutos. A medida que se fue haciendo el escaneo se mostró en pantalla la nube de puntos con valores de reflectancia para llevar un control del trabajo y pausarlo de ser necesario.

Posteriormente la cámara fotográfica hace un barrido tomando 7 fotografías traslapadas entre sí que permitirán asignar un valor de color RGB a cada uno de los puntos de ser necesario es posible realizar otro escaneo en la misma posición.

**Figura 25.** a) Escáner con las propiedades del patrón de escaneo, b) Escáner con la nube de puntos escaneada de fondo mientras hace el registro fotográfico.



a



b

Fuente: Elaboración propia.

Se llevó a cabo un registro de cuánto tardaba el levantamiento en cada posición de escaneo donde se contabilizaba la hora de inicio de trabajo del escáner y el tiempo aproximado de levantamiento que representa la duración en campo de: recolección de la nube de puntos, toma de fotografías, transporte del equipo a la

siguiente posición, nivelación y programación del nuevo escaneo. Los resultados se muestran en la Tabla 8 junto con la cantidad de puntos escaneados.

**Tabla 8.** Registro de hora de inicio de cada escaneo y tiempo aproximada de levantamiento.

Posición	Hora de inicio	Duración (min)	Número de puntos
ScanPos001	03:30 p.m.	12	18'464.039
ScanPos002	03:42 p.m.	16	17'807.348
ScanPos003	03:58 p.m.	10	16'673.098
ScanPos004	04:08 p.m.	16	17'075'974
ScanPos005	04:24 p.m.	12	19'302.218
ScanPos006	04:36 p.m.	10	23'546.276
ScanPos007	04:46 p.m.	12	21'382.222
ScanPos008	04:58 p.m.	10	14'089.848
ScanPos009	05:08 p.m.	10	14'622.807
ScanPos010	05:18 p.m.	9	14'085.010
ScanPos011	05:27 p.m.	11	18'493.269
ScanPos012	05:38 p.m.	10	10'708.778
<b>TOTAL</b>		2,3 horas	206'250.887

Fuente: Elaboración propia.

Algunos sitios presentaban muchos inconvenientes para posicionar el escáner laser y como se había detallado en la etapa de planificación del trabajo en campo la parte posterior del edificio no proporcionaba el espacio suficiente para cumplir un rango adecuado que permitiera tener el detalle de todos los pisos del edificio lo cual es un inconveniente importante para el escáner laser ya que esto requeriría localizar el equipo en una plataforma elevada o en alguna otra edificación cercana. En este caso de estudio esos problemas se documentaron para posteriormente.

**Figura 26.** Escáner Láser ubicado en las diferentes posiciones de escaneo.



ScanPos001



ScanPos002



ScanPos003



ScanPos004



ScanPos005



ScanPos006



ScanPos007



ScanPos008



ScanPos009



ScanPos010



ScanPos011



ScanPos012

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.1. Control de calidad de los datos en campo

Es muy importante al finalizar el escaneo tener un control de calidad de los resultados obtenidos, esto se puede dar observando la panorámica de nube de puntos con los valores de reflectancia, como el que se muestra en la Figura 27, donde la escala de colores además de mostrar todo el panorama resalta aquellas zonas no medidas por el instrumento (azul) y aquellas de alta reflectancia (rojo), para poder verificar que no haya obstáculos indeseados; igualmente las fotografías asociadas al modelo y el espacio disponible para el siguiente escaneo deben ser revisados pues la exposición a la luz en ciertas horas del día en una cámara no calibrada puede generar valores de RGB que no representen a la estructura de la mejor forma. Tomar el tiempo suficiente para estas verificaciones evita tener que volver a campo posteriormente para correcciones y levantamientos complementarios. En este ejercicio hubo necesidad de repetir el escaneo de la ScanPos003 debido a que cuando se tomó la fotografía transitaban personas que no quedaron registrados en la nube de puntos y la proyección de los valores RGB se proyectarían erróneamente sobre los puntos de la estructura, sin embargo esto no alargó mucho el trabajo en esa posición, las dos nubes de puntos y las 14 fotografías para ambos escaneos se dejan intactos en la memoria del dispositivo y el filtro se hace posteriormente en el software RISCANPRO utilizado para el posprocesamiento de los datos.

**Figura 27.** Imagen panorámica bidimensional del levantamiento en la posición 001.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. LEVANTAMIENTO EN CAMPO CON TOPOGRAFÍA**

El levantamiento en campo se hizo siguiendo los métodos tradicionales con el uso de una estación total; midiendo principalmente con una carterera electrónica ángulos y distancias donde las principales etapas se detallan a continuación.

#### **3.3.1. Reconocimiento de campo**

Se realizó un recorrido de inspección cuyo perímetro alcanza los 300 metros y un área de aproximadamente 2.5 Ha. de corredores y zonas aledañas para reconocer su ubicación, alineamientos y demás detalles significativos al momento de iniciar los trabajos, de este modo se pudo apreciar los sitios a los cuales se le realizaría topografía especial y otras especificaciones necesarias para el levantamiento topográfico general.

#### **3.3.2. Amarres**

El levantamiento topográfico fue amarrado a los mojones M1, M2 y M3 proyectados a partir del mojón GPS-UIS1 con sistema de posicionamiento global GNSS con corrección RTK en tiempo real.

#### **3.3.3. Poligonal**

La poligonal de cierre se materializo dónde para efectos de replanteo y visitas reiteradas a campo se dejaron referencias y deltas en sitios estratégicos, en la Figura 28 se muestra uno de esos elementos.

**Figura 28.** Muestra de una estaca-vértice de la poligonal.



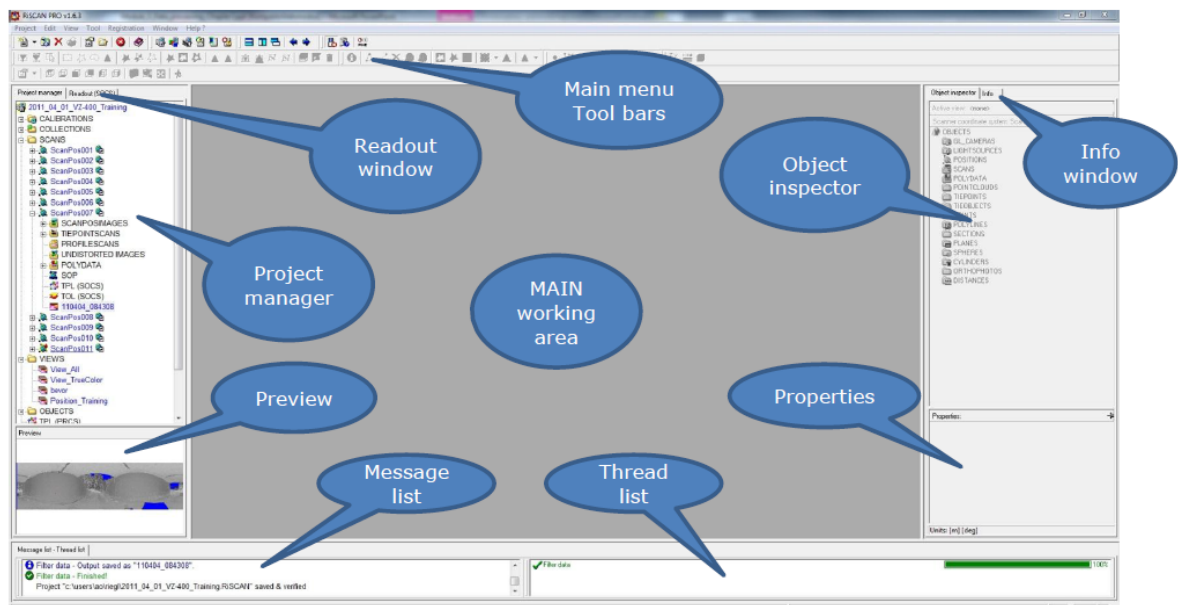
Fuente: Elaboración propia.

## 4. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

### 4.1. RISCAN PRO

Una vez que se completó el trabajo en campo se procedió a realizar el procesamiento de los datos, es esta la etapa que más tiempo consume debido a que la intervención por parte del operario es alta y requiere conocimiento del software. Para este proceso se utilizó el software del fabricante RiSCANPRO, que no solo permite procesar en oficina los datos levantados sino que también puede ser usado para el trabajo en campo con conexión al equipo.

**Figura 29.** Interfaz gráfica del software con la descripción del espacio de trabajo.



Fuente: RIEGL. Training Material for RIEGL VZ-XX, Module 5. Data Processing (part I), Disponible en: [www.riegl.com](http://www.riegl.com), consultado en noviembre de 2012.

El software es propio del fabricante del equipo y fue adquirido por el grupo de investigación Geomática adicional a la adquisición del escáner láser, y para este trabajo se contó con una licencia de procesamiento adicional a la licencia del registro por Multi Station Adjustment, evidentemente en este tipo de trabajos de

procesamiento cada funcionalidad tiene costos adicionales. Los requerimientos operativos del equipo para que el software corra así como las características de la computadora utilizada para el procesamiento se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Especificaciones de requerimiento y del equipo usado.

Característica	Requerimiento mínimo	Equipo usado
<b>Sistema operativo</b>	Windows XP Professional, Windows VISTA Professional, Windows 7 Professional, sistema operativo de 32 o 64 bits.	Windows 7 Professional, sistema operativo de 64 bits.
<b>Requerimientos de memoria</b>	1024 Mb de RAM Mínimo, 2045 MB (32 bit) / 4096 MB(64 bit)	16384 Mb de RAM (16 Gb)
<b>Requerimientos de espacio en disco</b>	Aproximadamente 30 MB para el programa y aproximadamente 700 MB para el proyecto de ejemplo.	Aproximadamente 100 GB disponibles
<b>Interfaz de comunicación</b>	TCP/IP Ethernet interface (LAN/WLAN 2.5 o 5Ghz, Wpa), Serial y ECP.	TCP/IP Ethernet interface (LAN/WLAN 2.5 o 5Ghz, Wpa), Serial y ECP.
<b>Requerimientos gráficos</b>	Acelerador de gráficos OpenGL, nVIDIA GeForce recomendado	Tarjeta de video nVIDIA Quadro 2000

Fuente: Elaboración propia.

Debido a las altas especificaciones que deben tener las computadoras utilizadas el grupo de investigación Geomática proporciono para el desarrollo de este proyecto una estación de trabajo “Workstation DELL PRECISION T166” que proporciona la capacidad suficiente para llevar a cabo el postprocesamiento de la información y facilito la generación de los resultados deseados. Algunas computadoras convencionales pueden cumplir con las especificaciones mínimas para correr el software y procesar los datos, sin embargo, se busco en este proyecto no estar

limitados por la capacidad de la computadora y al final, se evidencio que este equipo es una parte muy importante en el flujo de trabajo que puede agilizar o ralentizar el proceso, por lo tanto se recomienda que adicional a la adquisición de estos equipos se haga inversiones en computadoras tipo Workstation o de más altas especificaciones.

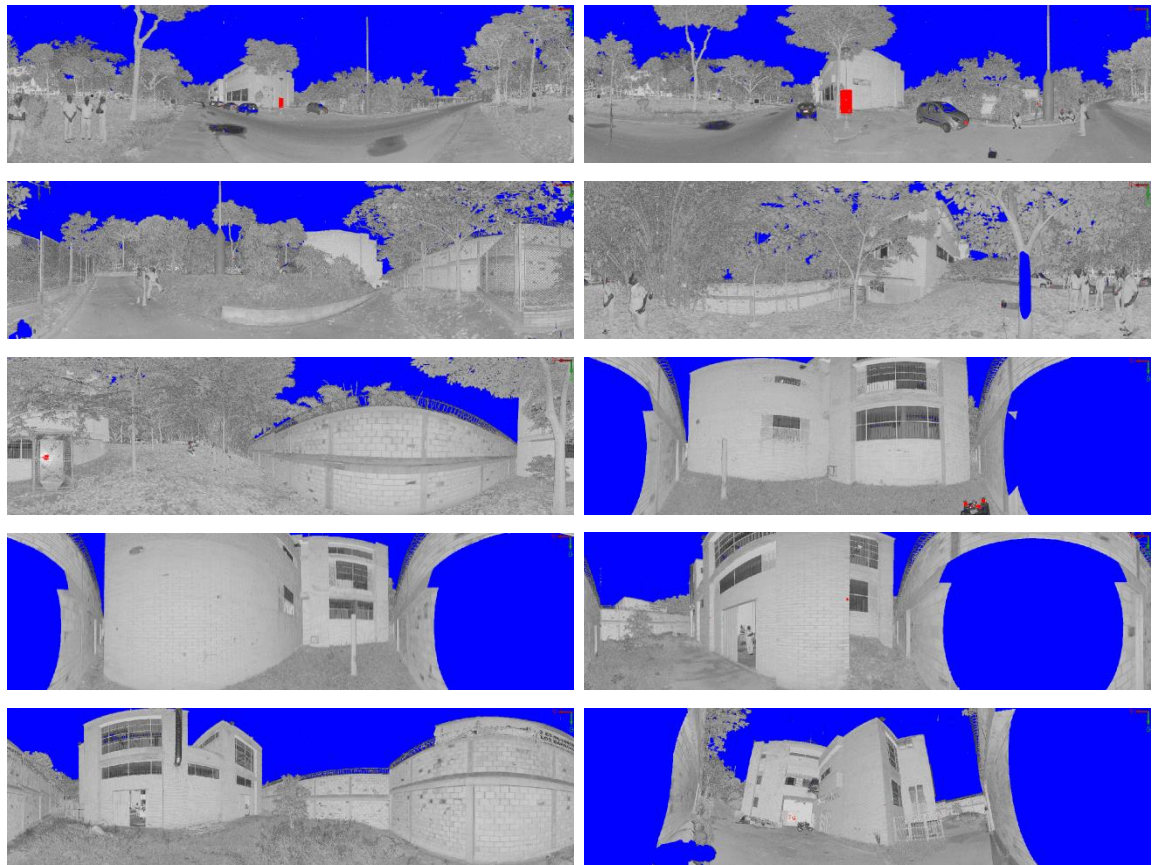
#### 4.2. PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una vez finalizado el trabajo en campo y contando con el equipo adecuado, el software y la respectiva licencia se procede a descargar los datos;. El proyecto está almacenado por posiciones de escaneo, es decir, toda la información está contenida dentro de un folder con el nombre del proyecto donde se encuentran las diferentes posiciones de escaneo (ScanPos001 a ScanPos012) y contiene los archivos de la nube de puntos y las 7 fotografías respectivas a cada levantamiento, el tamaño aproximado de la información contenida en cada posición de escaneo es de 1.3 Gb, de modo que el proyecto final tiene un tamaño de 15.7 Gb. La información “cruda” no puede ser procesada a menos que se cree un proyecto y se haga un proceso de importación inicial en el software que permitirá trabajar la nube pero que duplicara la información para no modificar la original.

Se evalúan los escaneos mediante una visualización panorámica directamente desde la interfaz del escáner láser o la computadora si se tiene conectada para observar la nube de puntos.

**Figura 30.** Visualización por valores de reflectancia de las posiciones de escaneo de la ScanPos001 a la ScanPos012.

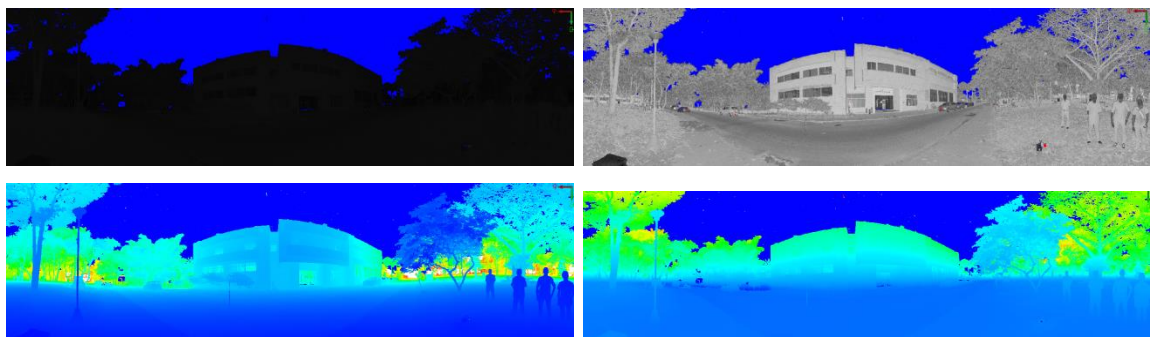




Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31 se puede ver una representación de la misma escena en sus diferentes tipos de visualización.

**Figura 31.** Visualización de una escena de escaneo representada por : Amplitud, reflectancia, rango, Altura y color verdadero.

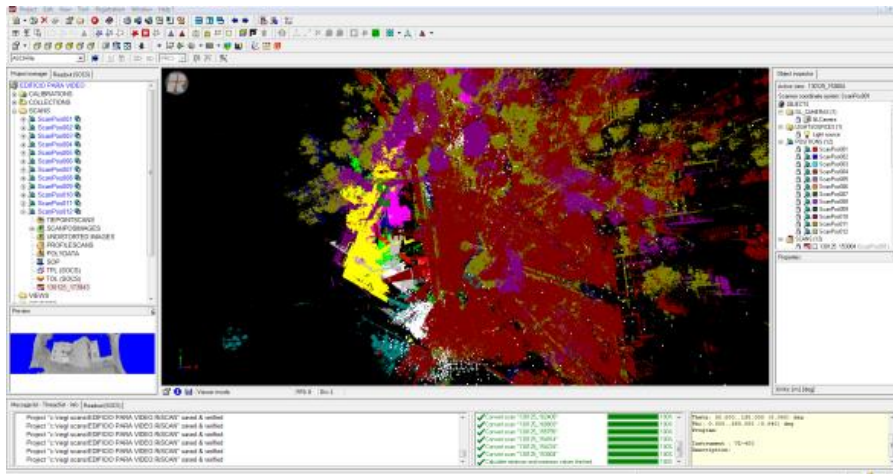




Fuente: Elaboración propia.

El registro se hizo teniendo todas las nubes en una misma escena teniendo claridad de los diferentes sistemas coordinados del proyecto, el SOC (Scanner Own Coordinate System) que es el sistema coordinado propio de cada escaneo, el PRCS (Project Coordinate System) que es el sistema coordinado de todo el proyecto y el asumido por la nube registrada y el GLCS (Global Coordinate System) que es el sistema coordinado global, el adquirido cuando la nube esta georreferenciada.

**Figura 32.** Nubes de puntos de las posiciones de escaneo en planta



Fuente: Elaboración propia.

La localización de cada nube de puntos se da según la coordenada del GPS, es decir, la precisión del equipo define en qué sitio se previsualizaran los datos. Debido a que el error de medición del GPS incorporado al equipo es bastante grande, de más de 1 metro en horizontal y vertical no se puede aceptar esta localización como absoluta y definitiva, de ahí la necesidad de contar con puntos

de control que permitan amarrar tanto la nube de puntos como el levantamiento topográfico.

Teniendo en cuenta los atributos de cada posición de escaneo, en la Tabla 10 se aprecian las diferentes incertidumbres de medición cuando se tiene en cuenta la posición como aquella proporcionada por el GPS integrado, es decir, el error que presentaba el receptor GPS del escáner para tomar la coordenada en cada uno de los puntos de armado, este valor es proporcionado por el escáner en el software de procesamiento.

**Tabla 10.** Incertidumbre con medida de GPS

<b>Posición</b>	<b>Incertidumbre de medida (m)</b>
<b>ScanPos001</b>	4,612
<b>ScanPos002</b>	3,827
<b>ScanPos003</b>	3,267
<b>ScanPos004</b>	3,254
<b>ScanPos005</b>	5,771
<b>ScanPos006</b>	6,666
<b>ScanPos007</b>	6,101
<b>ScanPos008</b>	16,863
<b>ScanPos009</b>	11,392
<b>ScanPos010</b>	15,810
<b>ScanPos011</b>	6,307
<b>ScanPos0012</b>	13,761

Fuente: Elaboración propia.

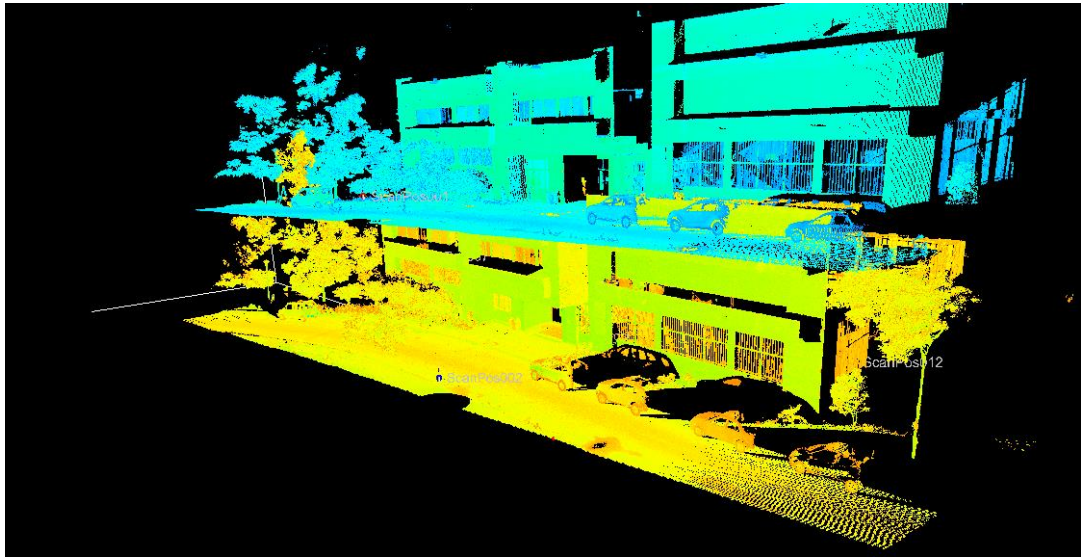
Como se pudo ver, en las posiciones 8, 9, 10 y 12 la incertidumbre fue de más de 10 metros, esto se debe a que fueron aquellos lugares donde el GPS se encontraba en la parte posterior del edificio y habían obstáculos como el muro, la infraestructura y la vegetación que impedían al receptor recibir una adecuada

señal, en los otros casos el error también fue grande de modo que no son coordenadas completamente confiables.

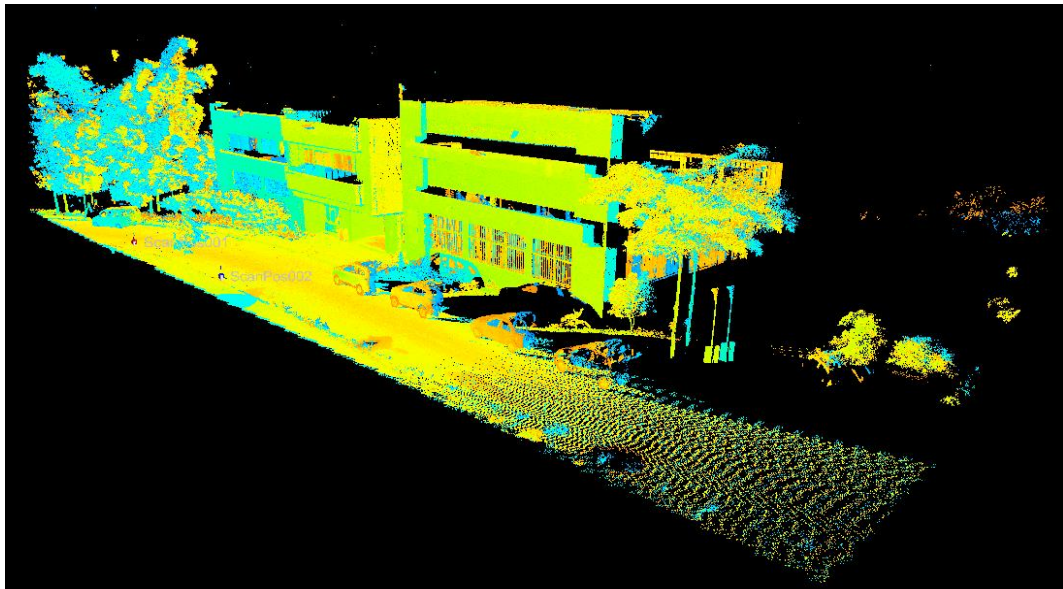
### **4.3. PRE-REGISTRO DE LA NUBE DE PUNTOS**

El método seleccionado para hacer el registro de las diferentes nubes de puntos fue el “Mullti-station adjustmen” que mediante un algoritmo iterativo minimiza la diferencia entre planos comunes en diferentes nubes de puntos, esto evita tener que utilizar reflectores o targets para hacer el registro, sin embargo al ser un método iterativo que involucra conceptos como la diferencia por mínimos cuadrados, la posición inicial de las nubes puede entorpecer el registro por encontrarse dos planos comunes fuera del rango de búsqueda, es decir, cuando dos nubes de puntos difieren mucho en orientación y posición los resultados obtenidos pueden no ser los esperados e incluso el proceso puede tardar más tiempo de lo normal, por ello, es recomendable hacer un primer “registro” mediante desplazamientos de las nubes para encontrar concordancia por inspección visual. En la Figura 33 se aprecian dos nubes de puntos, la azul corresponde a la posición ScanPos001 y la amarilla a la ScanPos002, apreciándose la diferencia en altura de ambas escenas, el hecho de que se aprecie visualmente una discrepancia de aproximadamente 10 metros se debió a la incertidumbre del GPS incorporado.. Este es el primer factor que se corrigió dejando la nube de la Scan Possition 1 como referencia para la otra que fue desplazó el eje Z, y de igual forma en los ejes X y Y hasta encontrar una concordancia visual.

**Figura 33.** a) ScanPos001 y ScanPos002 georreferenciadas según su sistema propio de coordenadas. b) ScanPos001 y ScanPos002 referenciadas manualmente.



a

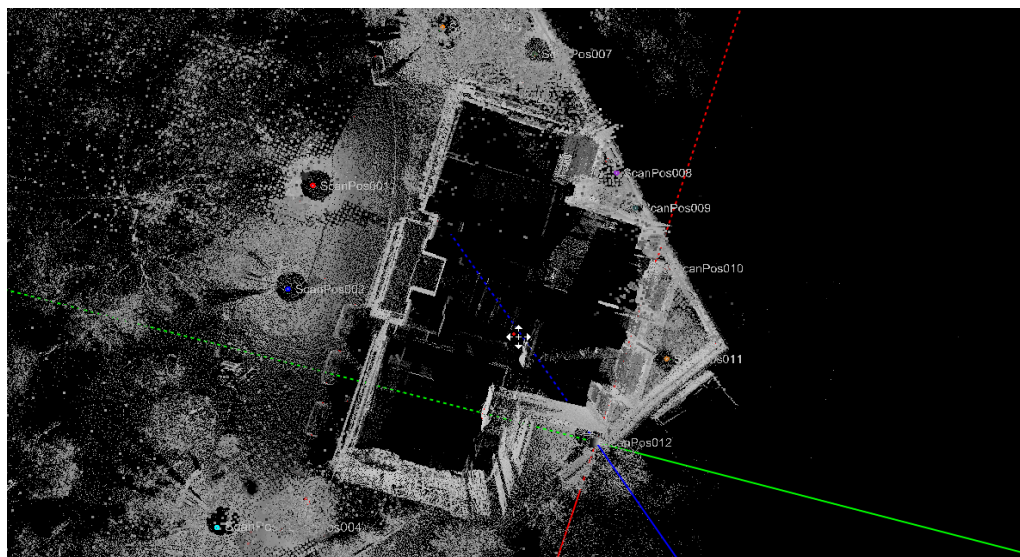


b

Fuente: Elaboración propia.

Con las nubes de las diferentes posiciones en una sola vista se procedió a repetir el procedimiento anterior para tener una nube de puntos más homogénea y posteriormente iterar mediante Multi-Station, el resultado se ve en la Figura 34.

**Figura 34.** Nube de puntos referenciada manualmente vista en planta.



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.4. REGISTRO DE LA NUBE DE PUNTOS CON MULTI STATION ADJUSTMENT (MSA)**

El registro de la nube de puntos mediante el ajuste de múltiples estaciones (MSA por sus siglas en inglés) es un método que está basado en una modificación del algoritmo ICP (iterative closest point algorithm), este algoritmo permite encontrar el punto más cercano de una nube de puntos con otro punto de la segunda nube, para ello se busca encontrar la transformación rígida que comprende traslación  $t$  y rotación  $R$ , partiendo de planos comunes entre las dos de las cuales se calcula su centroide y se minimiza el error de posición entre las dos minimizando la distancia cuadrática media, este algoritmo fue creado en 1991 por Chen Medioni y Bels y McKay y ha pasado por múltiples modificaciones que afectan los diferentes pasos del mismo.

En el caso del método usado en el software RiSCAN PRO superficies planas son detectadas dentro de la nube de puntos, esos planos son representados por un punto que indica el centro de gravedad del plano y un vector normal al mismo que representa la orientación del plano, esos puntos son los que permite que al estar

presentes en diferentes nubes de puntos puedan ser alineados y que gracias al pre-registro manual tiene un grado de precisión mayor desde las primeras iteraciones.

#### 4.5. PREPARACIÓN DE LOS DATOS PARA MULTI STATION ADJUSTMENT

Para poder empezar a ejecutar la herramienta MSA fue necesario prepara los datos, proceso que consistió en establecer definir los planos variando diferentes parámetros dentro del software. Se seleccionaron las nubes de puntos de las 12 posiciones de escaneo y se utilizó la función “Plane Patch Filter”, que permite ingresar los siguientes parámetros:

**Figura 35.** Parámetros en la preparación de los datos para MSA

PLANE PATCH FILTER

Maximum plane error [m]: 0.005

Minimum number of points per plane: 10

Minimum search cube size [m]: 1.024

**Note:**  
This filter replaces the "Plane surface filter" of previous program versions.  
Please refer to the manual, chapter "Data registration > Multi Station Adjustment" for details.

ADDITIONAL SETTINGS

Operating buffer: 10000 MB

Combine data  Keep uncolored points

Store Reflectance as Amplitude ([show details](#))

**Note:**  
This buffer is only used for data processing.  
Source data and octree data will increase memory consumption.

OK Cancel Help

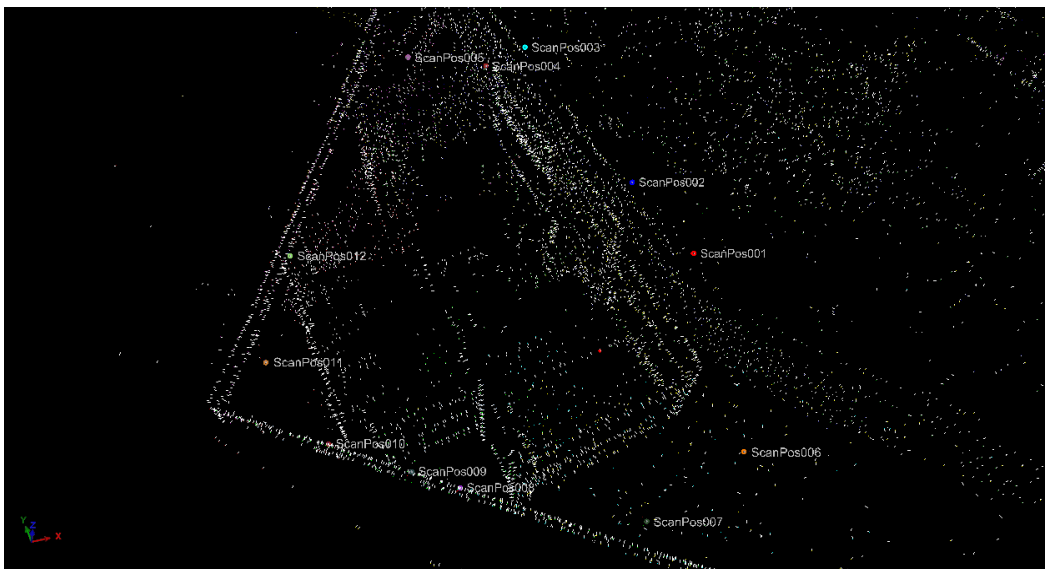
Fuente: Elaboración propia.

Donde el Máximo plane error (m) es usado para decidir si un par de puntos representan un plano o no, define el límite para la desviación estándar de los residuos, los valores posibles según el fabricante tienen valores entre 0.003 – 0.01 metros para aplicaciones de arquitectura y 0.02 – 0.03 para aplicaciones de minería, en este caso se utilizó un valor de 0.005 por tratarse de un ejercicio de representación arquitectónica del edificio Álvaro Beltrán Pinzón. La segunda variable define el número mínimo de puntos por plano, de modo que se

seleccionaran aquellos planos que cumpliendo con la condición anterior contengan al menos el número de puntos definidos, para este caso 10 puntos por plano.

La última variable define el límite del tamaño mínimo del cubo de búsqueda que para discretizar este ejercicio se utilizó el tamaño predeterminado más pequeño de 1.024 (m), definiendo planos con una densidad de puntos buena; al final se generaran con estos parámetros un nuevo Polydata (archivo que contiene los puntos extraídos de la nube de puntos original que cumplieron los criterios de selección), para cada nube de puntos se generara su respectiva Polydata de modo que cargándolas todas en una misma escena e indicándole que se vieran los vectores normales de cada punto se tiene una densa referencia de los planos a utilizar como se aprecia en la Figura 36.

**Figura 36.** Polydata de puntos para MSA con sus planos normales.



Fuente: Elaboración propia.

Los planos que sirvieron para aplicar el Multi Station Adjustmen como se observó fueron el muro alrededor del edificio, las paredes del mismo y la vía contigua, sin embargo hubo gran ruido alrededor del edificio procedente de los árboles y la

vegetación circundante que contiene una gran densidad de puntos con una baja cantidad de planos. Con estos datos ya fue posible empezar a iterar el algoritmo hasta registrar la nube de puntos.

#### **4.6. MULTI STATION ADJUSTMENT**

El método requiere que por lo menos una de las nubes sea la referencia para que los planos comunes de las otras converjan hacia ellas y pudiendo servir cualquier posición de escaneo para tal fin se decidió que la ScanPos009 tendría restricciones de desplazamiento, rotación y escala, es decir, las demás nubes de puntos debieron converger hacia ella. Además para una mejor visualización cada nube tenía asignado un color plano diferente y así se podía observar los desplazamientos y rotaciones en cada iteración.

#### **4.7. OPCIONES Y PARÁMETROS DEL MULTI STATION ADJUSTMENT**

Las opciones que controlan la herramienta se van variando y refinando en cada paso de modo que se pueda controlar el error y los parámetros principales son:

- Uso de polydata: Se activó para poder utilizar el algoritmo teniendo en cuenta las superficies asociadas al punto y vector normal definidos en la preparación de datos.

Los parámetros a variar en el algoritmo son, para la búsqueda de puntos cercanos:

- Modo: permite seleccionar entre todos los puntos cercanos o el punto más cercano en todas las nubes, aunque más lento se optó por trabajar con todos.
- Radio de búsqueda (m): Define la distancia límite dentro de la cual el algoritmo busca los planos comunes entre nubes.

- Máximo ángulo de inclinación (grados): cada plano está definido por un vector normal, cuando el ángulo entre la superficie normal de dos planos es más pequeña que el máximo ángulo de inclinación definido entonces los planos son considerados correspondientes.

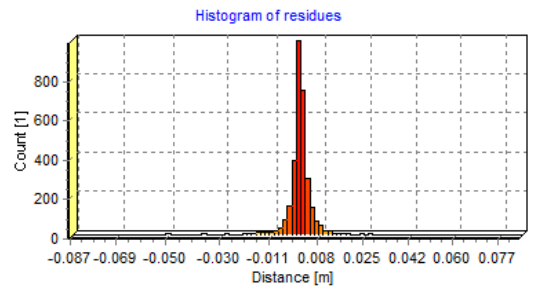
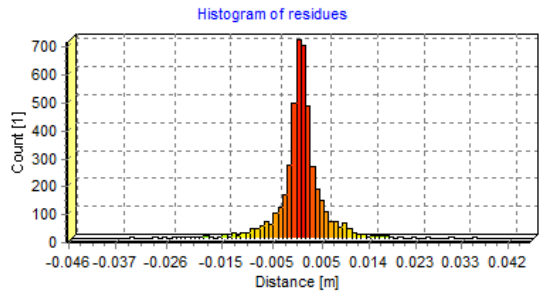
Los parámetros a variar en el algoritmo son, para el ajuste:

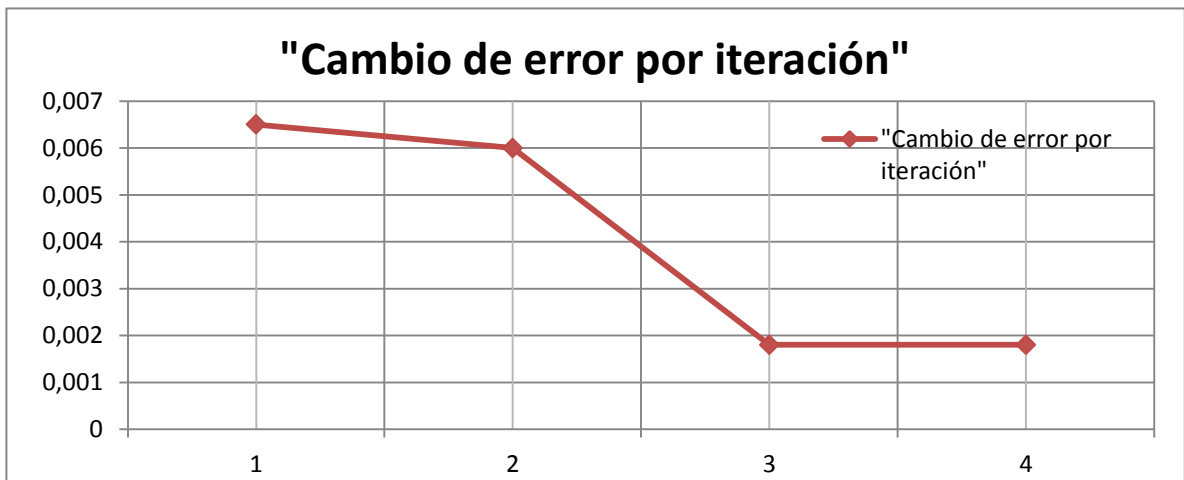
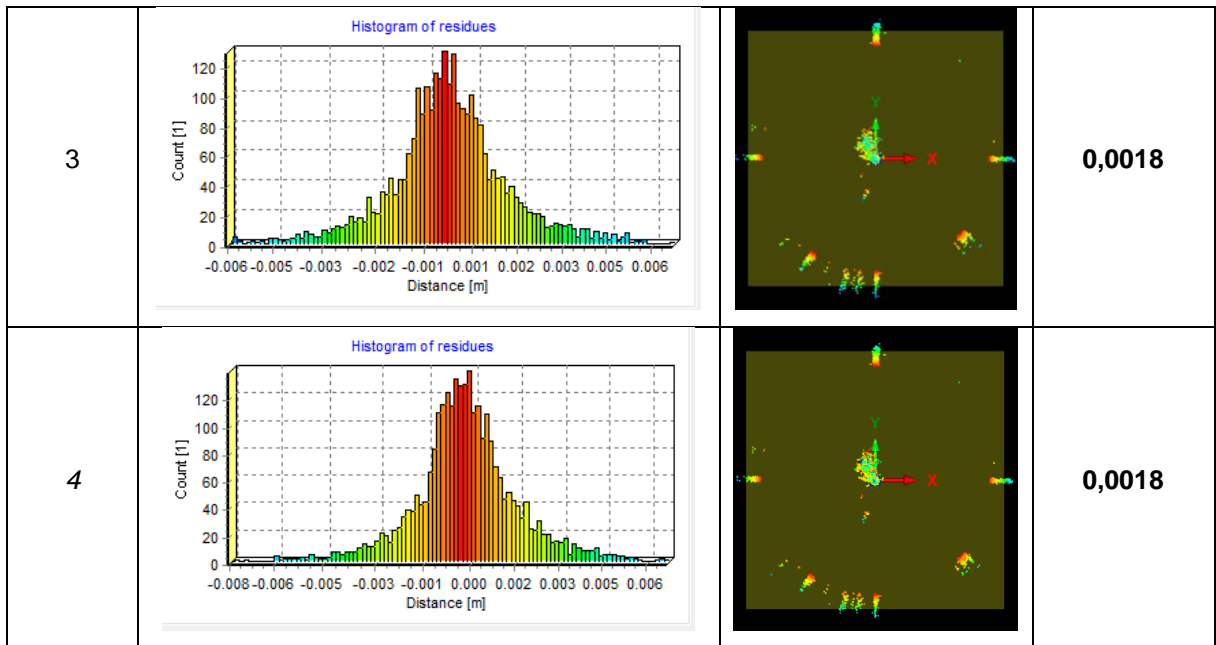
- Cambio mínimo del error 1 (m): Si la mejora entre la alineación entre dos iteraciones seguidas es menor que el valor establecido en este parámetro el algoritmo se detiene y busca nuevos planos correlacionados, entonces la alineación empieza nuevamente.
- Cambio mínimo de error 2 (m): El alineamiento iterativo se ejecuta hasta que la mejora entre dos iteraciones seguidas es menor al cambio de error 2, en ese caso finaliza la alineación.
- Límite de valores atípicos: Cuando el cambio mínimo de error 2 ha sido alcanzado, opcionalmente valores atípicos pueden ser removidos y una última iteraciones es calculada, el histograma de errores muestra una distribución normal alrededor de cero, el valor atípico es aquel definido por los planos correspondientes fuera de una vez la desviación del error del histograma el cual es removido cuando esta opción esta activa.
- Modo de cálculo: permite seleccionar entre ajuste por mínimos cuadrados utilizando la distancia cuadrada entre un par de puntos y un ajuste robusto que utiliza la distancia absoluta, esta opción puede tomar más tiempo porque las iteraciones se dan en pasos más pequeños.
- Actualizar la pantalla: Muestra el progreso en la vista 3D paso a paso, se recomienda que esté desactivada pero en este caso se activó para observar los diferentes movimientos aunque hacía el proceso un poco más lento.

#### 4.8. REGISTRO

Referente a aquella etapa donde las nubes son unidas hasta lograr un mínimo error de cierre se ejecutó variando los diferentes parámetros del complemento Multi Station Adjustment hasta tener un error en la desviación del registro muy pequeño (menor a 5 mm.), este error corresponde a la diferencia entre un plano de la nube de referencia y su respectivo plano presente en otra nube de puntos a referenciar- donde El número de iteraciones necesarias fue pequeño por toda la preparación inicial que se hizo a los datos y la forma como se definieron los planos comunes en la preparación de datos. En Tabla 11 se aprecia la distribución del error de registro con sus respectivos histogramas que siguen una distribución normal cuya media tiende a 0, este es el comportamiento esperado al finalizar el registro.

**Tabla 11.** Error de registro con histogramas de residuos

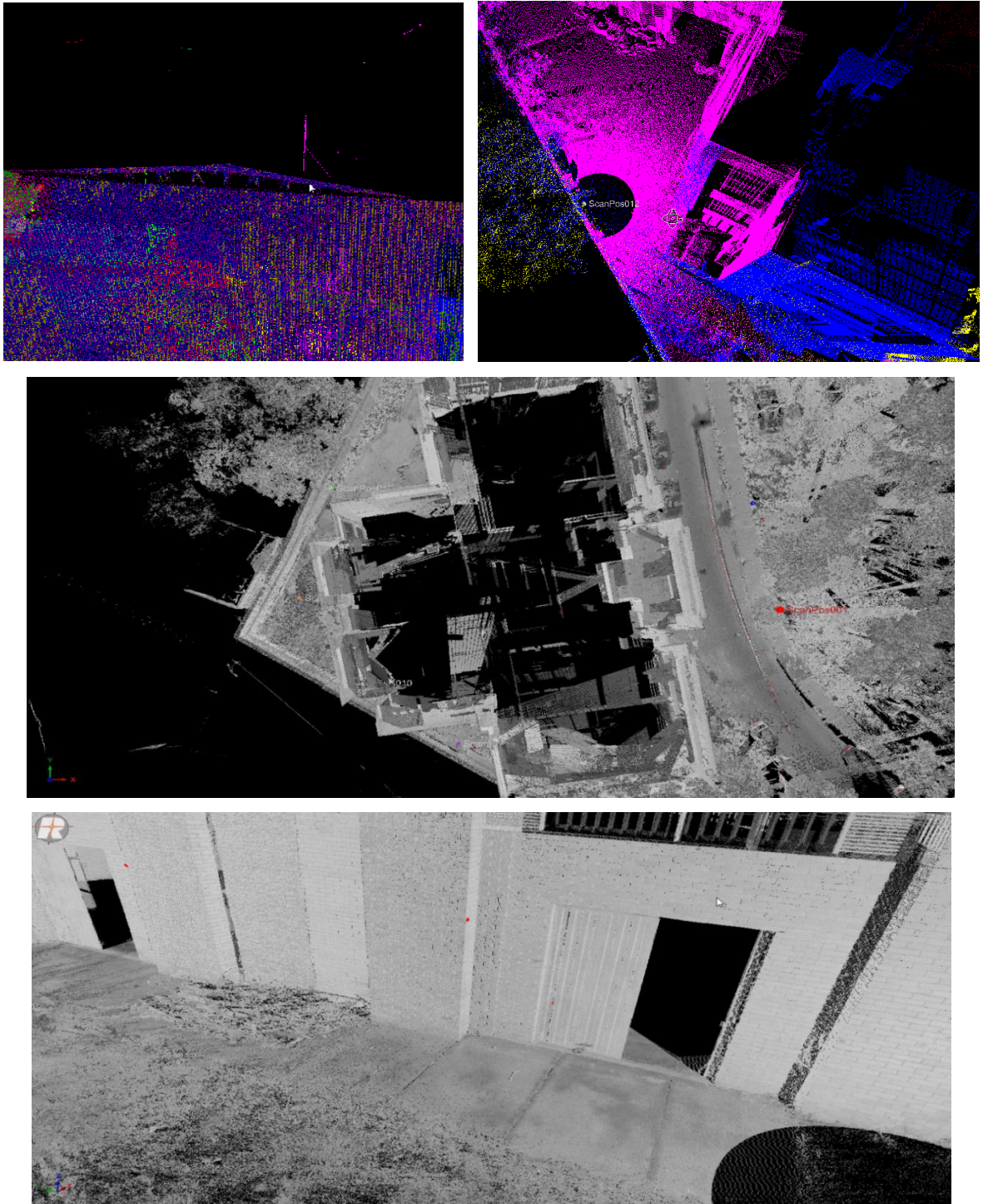
Iteración	Histograma de residuos	Error StdDev(m)
1		0,0065
2		0,0060



Fuente: Elaboración propia.

Una vez se registró la nube de puntos con un error de 1.8 mm con el método de Multi Station Adjustment se puede apreciar en la Figura 37 el resultado, lo que se tiene al final es una escena donde las diferentes nubes de puntos se ven como una sola.

**Figura 37.** Nubes de puntos registradas con diferente representación.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9. ASIGNACION DE COLOR REAL RGB

Una vez que se hizo el registro de la nube de puntos el siguiente paso fue poder visualizar los datos por su color verdadero RGB, este procedimiento es válido cuando una cámara digital proporciona las fotos de la sección escaneada. El barrido se hace para un escaneo de 360 grados en horizontal con 7 fotografías que cuentan con cierto porcentaje de traslapo. Debido a que las fotografías tienen una orientación y posición acorde con la del escáner puede vincularse inmediatamente el color a los puntos y tener una visualización adecuada pero no tan precisa; lo anterior se debe a que hay errores de calibración que pueden hacer que los colores de un objeto se proyecten sobre puntos diferentes y es ahí cuando haber localizado targets reflectivos en la edificación cobró importancia.; el proceso consiste en crear un vínculo entre el centroide del target en la fotografía y en la nube de puntos, ,haciendo una calibración de los datos y asignando el color. Este procedimiento se hace para cada nube de puntos por separado y un ejemplo para la ScanPos001 puede verse en Figura 38.

**Figura 38.** Nube de puntos con Tiepoint en un reflector.



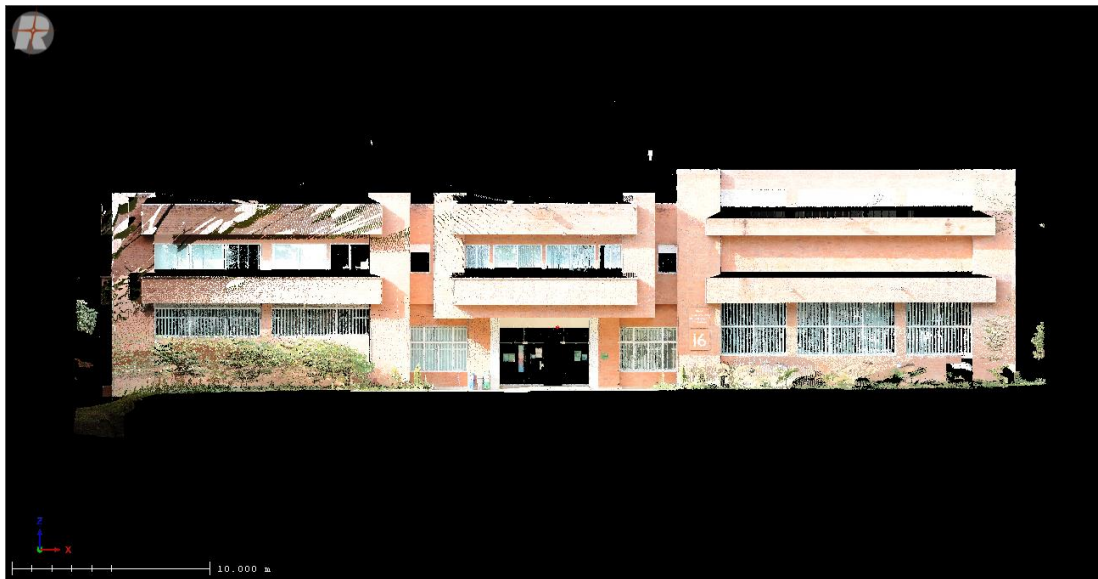
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39.** Fotografía mostrando el Tiepoint del reflector vinculado al del modelo.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 40.** Vista frontal a escala del edificio representado por color verdadero.



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.10. ELIMINACION DE RUIDO Y FILTRADO DE LA NUBE DE PUNTOS.**

El ruido corresponde a puntos indeseados bien sea porque son el reflejo de mediciones erróneas por vegetación, vehículos o personas presentes en una escena indeseada, elementos muy lejanos y vegetación que no interesa

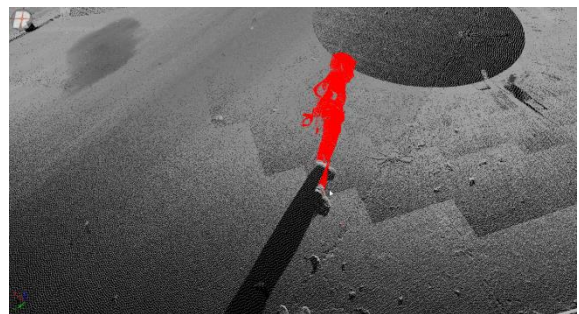
conservar; de modo que para este caso donde la prioridad fue la estructura y la calidad del escaneo pone en decremento la capacidad de la computadora fue mejor trabajar con modelos más limpios. El software ofrece la posibilidad de trabajar con algoritmos que crean filtros para limpiar el modelo y fueron los filtros por valores de desviación así como los filtros de vegetación y una propuesta de filtro propio.

En el siguiente ejemplo se muestra el caso de una persona localizada sobre la vía frontal a la entrada del edificio Álvaro Beltrán Pinzón que fue detectado por la ScanPos004. Debido a que solo fue detectado por dicha estación podría clasificarse como ruido, es un tipo de ruido donde los puntos presentan una buena densidad y conforman un cumulo con cierto ángulo entre lo que parece ser una superficie, este tipo de parámetros son identificados por el filtro que selecciona esos puntos y permite eliminarlos; esto fue un proceso manual y permitió quitar a la persona de la nube, sin embargo los zapatos permanecían en la escena y fue necesario hacer una modificación en los parámetros del algoritmo de vegetación para tener una escena más limpia que aunque..

**Figura 41.** a) Silueta de una persona representada por ruido. b) Puntos seleccionados tras aplicar el filtro de vegetación. c) Residuos del ruido seleccionados con filtro modificado propio. d) nube sin ruido.



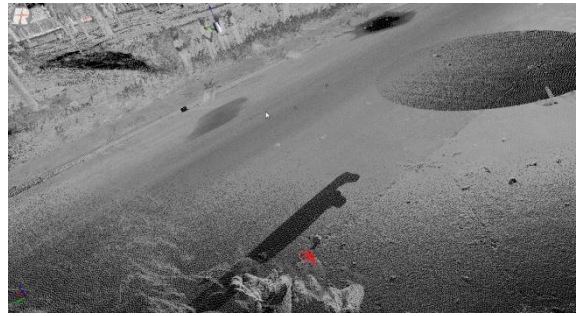
a.



b.



c.



d.

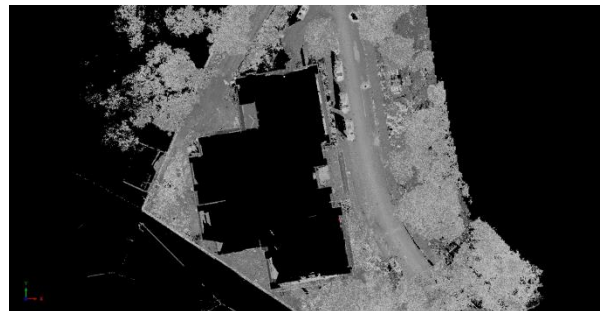
Fuente: Elaboración propia.

Los filtros fueron aplicados a carros, personas y vegetación principalmente. El otro proceso usado fue un proceso de limpieza de aquellos puntos dentro de la edificación que entraron por espacios abiertos y por materiales como el vidrio, aunque esos puntos representan en algunas zonas las divisiones y dimensiones de algunos salones y espacios se pueden interpretar como ruido y no dan mayor detalle, por ello para conservar una mayor limpieza del modelo se optó por eliminar los puntos internos en la estructura; es una tarea de seleccionar manualmente y eliminar los puntos que toma cierto tiempo.

**Figura 42.** a) edificación con ruido en su interior. b) edificación sin ruido.



a.



b.

Fuente: Elaboración propia.

El otro filtro utilizado fue uno automático que selecciona de todos los puntos presentes aquellos que en este caso cumplían con una condición de desviación

dada, esta desviación se asignó como  $\geq 75$ , esto género que automáticamente se seleccionaran y eliminaran 10'102.571 puntos considerados ruidos por estar muy dispersos presentes sobretodo en la vegetación.

**Figura 43.** Puntos seleccionados con filtro por desviación.



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.11. CREACIÓN DEL POLYDATA DE LA ESTRUCTURA REGISTRADA**

Teniendo la estructura registrada, con menos ruido, y con su valor de RGB asignado fue necesario generar un polydata (nueva nube de puntos) que contuviera los puntos de todas las posiciones de escaneo en uno solo; el archivo que se generó por contener tantos puntos no puede ser creado con la calidad de escaneo y es necesario eliminar densidad de puntos en zonas donde redundan. Este polydata nuevo se exporta a diferentes formatos aprovechables en otros software, estos formatos son principalmente:

- LAS 1.3 para visores gratuitos de nubes de puntos como QuickTerrain.
- ASCII para software de la casa de Autodesk.

#### 4.12. CREACIÓN DE SECCIONES EN PLANTA DE LA NUBE DE PUNTOS Y CREACIÓN DE PLANOS 2D

Con el fin de comparar planos de secciones en 2D con el levantamiento topográfico fue necesario exportar secciones de nube de puntos; el proceso consiste en definir unos planos de corte que con un área aferente se exportan para ser aprovechados por otro software, el formato seleccionado fue ascii .txt. En el proceso de generar el nuevo archivo es posible seleccionar qué parámetros queremos llevarnos y debido a que Autocad Civil 3D soporta archivos XYZ\_RGB, fueron estos los valores exportados. La Figura 44 muestra la nube de puntos con los diferentes planos seleccionados.

Fueron 3 los cortes seleccionados, uno en la parte superior de la estructura (corte del 2 nivel), otro de la zona central (Corte del 1 nivel), y un corte del piso inferior (corte nivel -1). Los tres en conjunto generan un único plano con sus respectivos detalles. Otros planos generados como producto entregable de la nube de puntos fueron los de la fachada Norte, sur, este y oeste del edificio para hacer una restitución en 2D de los mismos.

**Figura 44.** a) Nube de punto 3D con la selección del corte. b) corte de la sección en planta.



a.

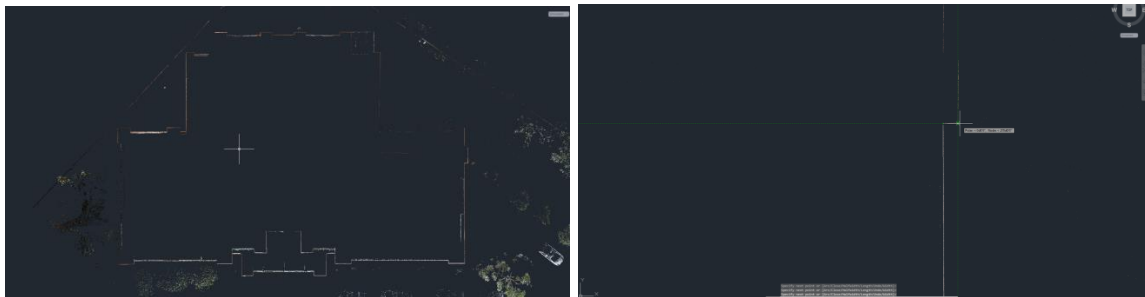


b.

Fuente: Elaboración propia.

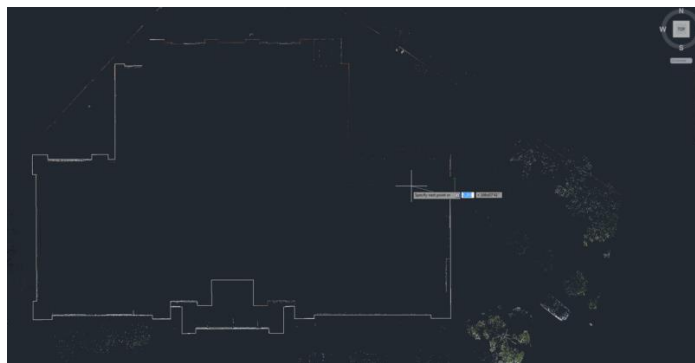
Una vez se exportó el corte de la nube de puntos, este fue cargado en Autocad Civil 3D con su complemento Point Cloud y visualizado a partir de su color verdadero como se observa en la Figura 45. La localización de la nube de puntos corresponde a la georreferenciación del modelo con las coordenadas del GPS integrado en el escáner, coordenadas que se encuentran en el sistema coordenado global WGS 84. Luego, se sigue un proceso de dibujo mediante polilíneas sobre los contornos generados por la densidad de puntos exportados que permite detallar paredes, muros, puertas, ventanas, con apoyo visual de las fotografías de la zona y de la nube de puntos registrada. En la Figura 45 se observa el proceso de digitalización y el producto casi terminado sin la nube de puntos.

**Figura 45.** Esquema de modelamiento en planta a partir de la nube de puntos mostrando. a) nube de puntos en AutoCAD b) dibujo sobre la nube de puntos c) modelo en planta más completo.



a.

b.



c.

Fuente: Elaboración propia

Como se escanearon los reflectores localizados sobre los mojones M1, M2 y M3 de coordenadas conocidas en el sistema de referencia del observatorio astronómico de Bogotá (diferente al WGS84 con el que el modelo está georreferenciado) fue posible identificarlos en Autocad y se procedió a hacer una proyección del producto final hasta las coordenadas de los puntos de control, por la bidimensionalidad del producto este método corrigió desplazamientos y giros en el plano XY. Este modelo sirvió posteriormente para compararlo con el hecho topográficamente.

#### **4.13. CREACIÓN DE PLANOS DE FACHADA A PARTIR DE LA NUBE DE PUNTOS**

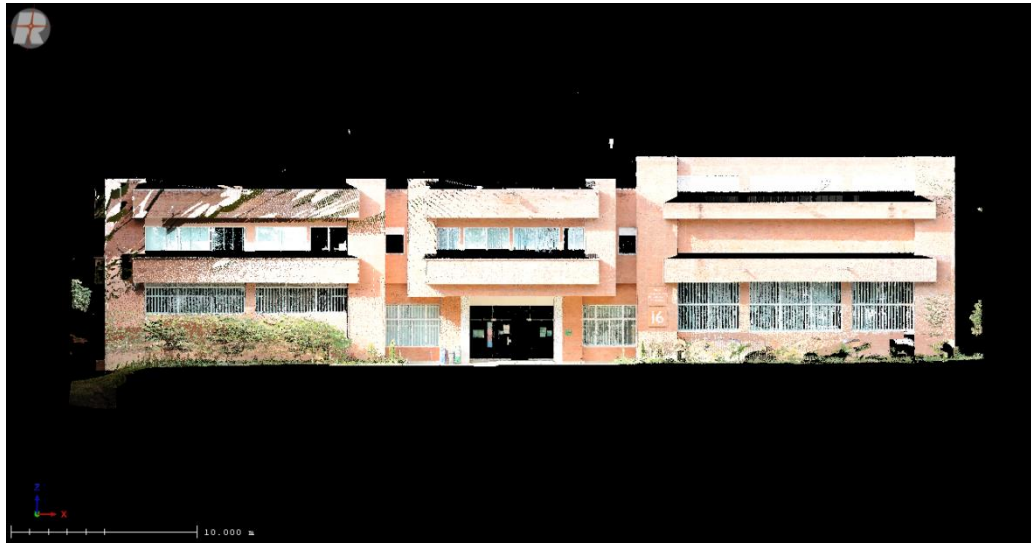
El levantamiento topográfico solamente entrega detalle bidimensional en planta de la estructura, vías y muros cercanos, detalla algunas alturas como la de puertas pero no se creó un plano de fachada por la dificultad de contemplar detalles con la metodología tradicional de levantamiento; por ello y como valor agregado se crearon planos georreferenciados de fachada partiendo de las nubes de puntos.

De forma general el procedimiento consistió en:

- Exportar la sección a trabajar del software RiSCAN PRO (fachada frontal y lateral como ejemplo), en formato ASCII (XYZ\_RGB).
- Importar el archivo exportado en Autocad Civil 3D como una nueva Point Cloud con visualización por color verdadero (True Color).
- Digitalización por identificación de aristas y vértices apoyados en el modelo tridimensional de la nube de puntos y de fotografías de la zona.
- Asignación de texturas para dar información adicional sobre fachada, identificando materiales como vidrio, ladrillo, concreto, etc.

El modelo presentado cuenta con dimensiones reales siendo posible medir elementos directamente sobre el dibujo usando el software Autocad así como crear las respectivas acotaciones.

**Figura 46.** Fachada representada con nubes de puntos en color real



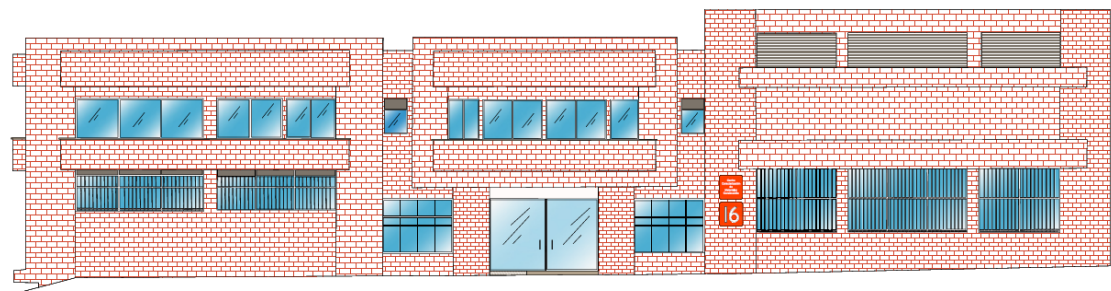
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 47.** Fachada representada con nubes de puntos importada a AutoCad



Fuente: Elaboración propia.

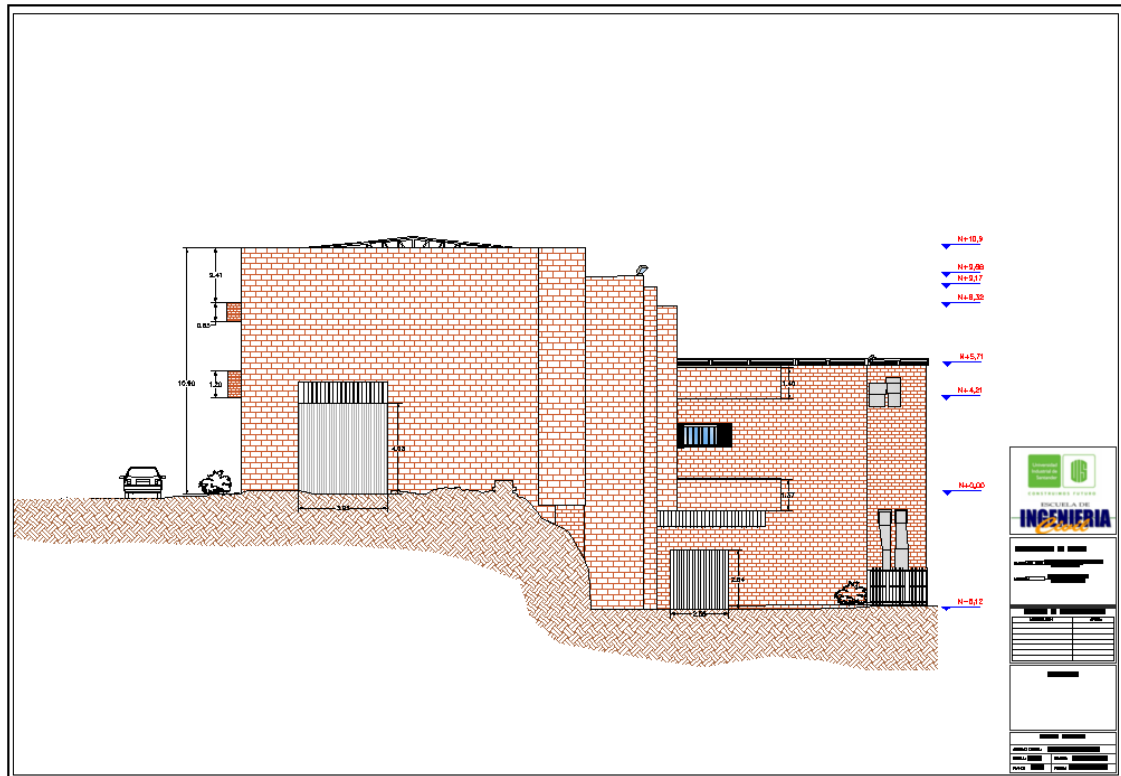
**Figura 48.** Detalle de fachada



Fuente: Elaboración propia.

Otro ejemplo de un plano con la fachada este del edificio, a escala, rotulado y con algunas cotas y dimensiones se muestra en la Figura 459.

**Figura 49.** Detalle de la fachada este del edificio



Fuente: Elaboración propia.

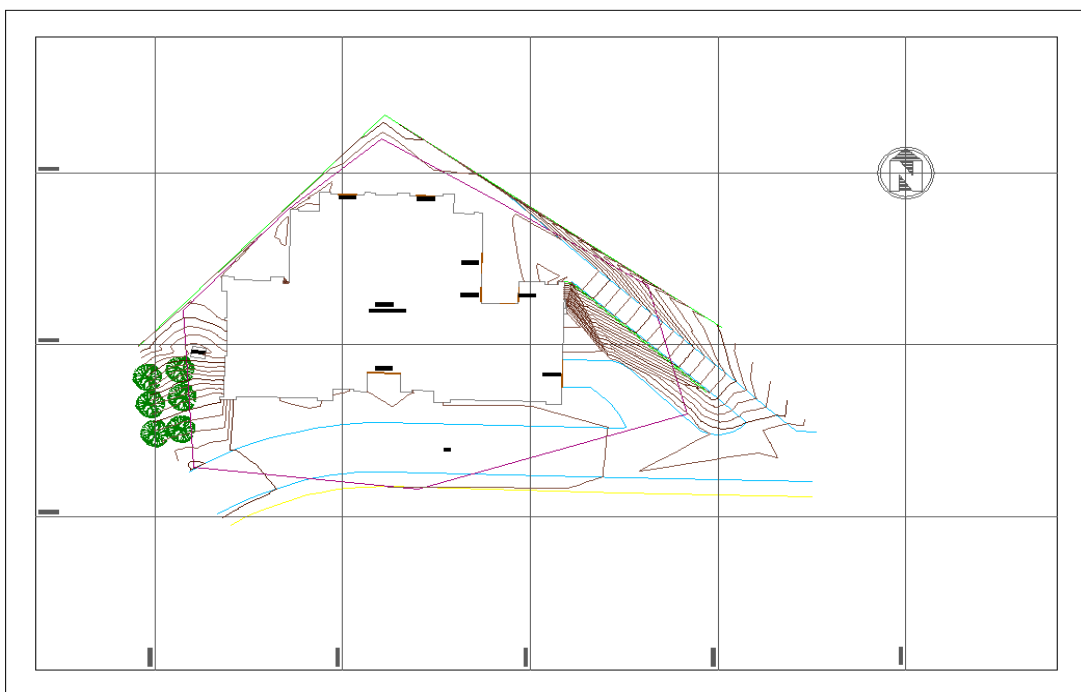
#### 4.14. CREACIÓN DE PLANOS 2D A PARTIR DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para elaborar los planos en planta del edificio partiendo de topografía tradicional se utilizó el software AutoCad de la casa Autodesk donde se localizaron los puntos obtenidos en la cartera de coordenadas anotando su código y elevación para unir con polilíneas los diferentes vértices; las curvas de nivel se hicieron mediante la interpolación que el programa ejecuta de forma automática definiendo los límites para ello y tomando la altura de los puntos. Todo debidamente georreferenciado y

corregido con las coordenadas de amarre de RTK. Un esquema del plano entregable se puede ver en la Figura 50.

Los entregables posibles con esta metodología abarcan solamente planimetría, debido a que obtener un detalle de fachada del edificio resultaría muy costoso y no sería realmente confiable o detallado; además la información en campo no permite llegar a realizar estos productos.

**Figura 50.** Plano topográfico del edificio



Fuente: Elaboración propia.

## **5. COMPARACIONES ENTRE EL USO DE UN ESCÁNER LÁSER TERRESTRE Y EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL**

### **5.1. TIEMPO DEDICADO A CADA UNA DE LAS ETAPAS DE TRABAJO**

Durante las diferentes etapas de trabajo para la recolección, procesamiento de los datos y creación de modelos por los dos métodos estudiados se llevó un registro de cuánto tiempo tardó cada una de las tareas, esto no solo permite llevar control sobre la dedicación que se debe dar para la elaboración de los diferentes productos como insumo para comparar el flujo del tiempo con escáner láser y topografía.

Empezando por el uso del escáner láser terrestre en la Tabla 12 se muestra en orden cronológico la duración de cada actividad presente, además, en el campo etapa principal se clasifica cada actividad en una de las siguientes: Adquisición para lo relacionado a preparación del levantamiento y trabajo en campo, registro que abarca todo lo concerniente a procesamiento de la nube de puntos, asignación de color, limpieza que permitan generar el insumo para la última etapa que es el modelamiento donde se generan imágenes, planos y nubes en otros formatos.

**Tabla 12.** Duración de actividades con el uso de escáner láser

<b>Duración de actividades con el uso de escáner láser terrestre</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Etapas Principales</b>
Planificación del levantamiento	1	Adquisición
Levantamiento en campo	2,5	Adquisición
Control de calidad de los datos escaneados en campo	1	Adquisición
Registro de las nubes de puntos escaneadas	8	Procesamiento
Edición y limpieza de la nube de puntos	4	Procesamiento
Asignación de color a la nube de puntos registrada	2	Procesamiento
Creación de vistas, planos de corte e imágenes a partir de la nube de puntos así como la creación de nube de puntos en otros formatos	4	Modelamiento
Creación de plano en planta (2D) con dimensiones reales y detalle en Autocad a partir de la nube de puntos	6	Modelamiento
Creación de 2 planos de fachada con detalle, uno de la parte frontal y otro del sector este del edificio en Autocad a partir de la nube de puntos	12	Modelamiento
Control de calidad de los productos realizados	1	Modelamiento
<b>TOTAL</b>	<b>42,5</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del levantamiento topográfico se llevó igualmente registro del tiempo que tardo cada actividad en sus etapas de adquisición, procesamiento de los puntos levantados en campo y modelamiento, solo que en esta última etapa hay que tener en cuenta que solo se llegó a generar un plano en planta como producto final partiendo de los datos de campo procesados y corregidos.

En la Tabla 12 se aprecia el resumen del tiempo por etapas donde para el TLS se ve cómo a medida que la etapa va avanzando el tiempo dedicado es considerablemente mayor, esto se debe a varios factores; el primero es que durante el trabajo en campo el número de personas es más elevado así como el grado de automatización que se tiene para procesar los datos, donde el trabajo usualmente se limita a 1 con mucho trabajo manual. En el caso del levantamiento topográfico el tiempo de trabajo en campo es más alto pero el procesamiento de los datos es considerablemente más corto, acá hay que tener en cuenta la

densidad de puntos recolectados con topografía y el tipo de procesamiento que requiere, finalmente el tiempo se va reduciendo progresivamente hasta la etapa de modelamiento.

A nivel de comparación se aprecia que la topografía toma menos tiempo, pero hay que tener en cuenta los productos tan limitados que se pueden; sin embargo y aunque solo sea para generar planos en planta se evidencia que en el caso de requerir levantar mucha información el procesamiento con TLS genera un “cuello de botella” difícil de solventar.

La Tabla 13 muestra los procesos y su duración para el caso del levantamiento con topografía tradicional.

**Tabla 13.** Duración de actividades con el uso de topografía tradicional

<b>Duración de actividades con el uso de topografía tradicional</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Etapas Principales</b>
<b>Planificación del levantamiento</b>	1	Adquisición
<b>Levantamiento en campo</b>	4	Adquisición
<b>Control de calidad de los datos levantados</b>	1	Adquisición
<b>Procesamiento de los datos para cálculo de cartera de coordenadas</b>	3	Procesamiento
<b>Edición, correcciones de los datos levantados</b>	2	Procesamiento
<b>Creación de plano en planta (2D) con dimensiones reales y detalle en Autocad a partir de los puntos levantados</b>	6	Modelamiento
<b>Control de calidad de los productos realizados</b>	1	Modelamiento
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	

Fuente: Elaboración propia.

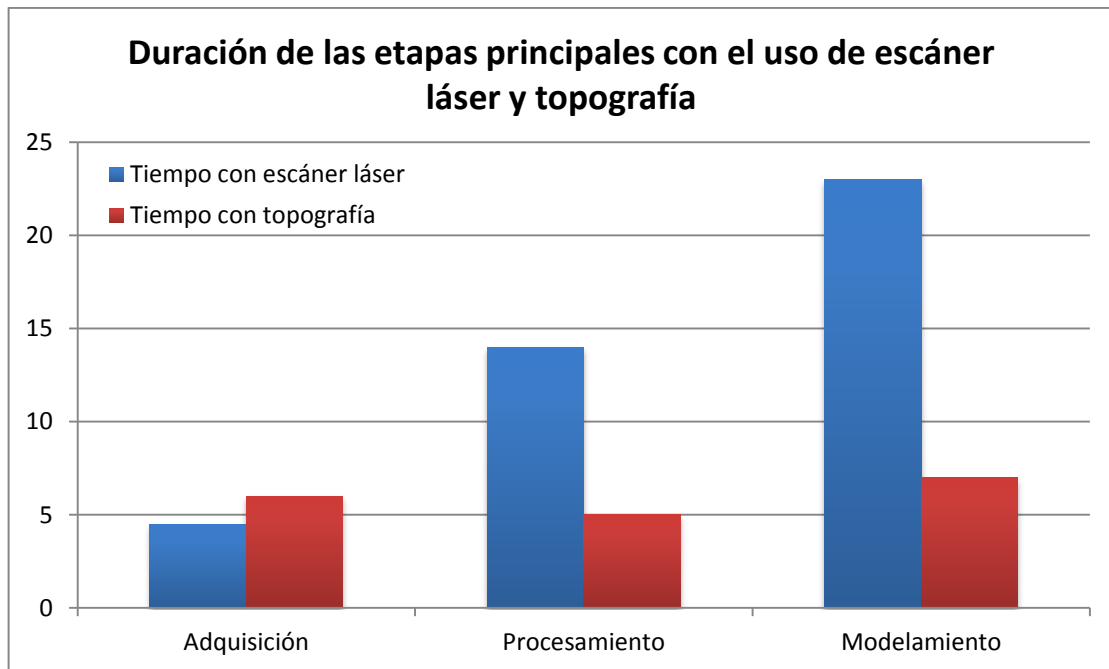
**Tabla 14.** Duración de las etapas principales con el uso de escáner láser y topografía tradicional

Duración de las etapas principales con el uso de escáner láser y topografía tradicional		
Etapa	Tiempo con TLS	Tiempo con Top. Tradicional
<b>Adquisición</b>	4,5	6
<b>Procesamiento</b>	14	5
<b>Modelamiento</b>	23	7
Total	41,5	18

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 51 resume lo mencionado anteriormente.

**Figura 51.** Duración de las etapas principales con el uso de escáner láser y topografía



Fuente: Elaboración propia

Con el fin de concluir acerca de los dos levantamientos, se hizo la comparación de ciertos factores, algunos cualitativos y otros cuantitativos como el error de cierre, error de medición, nivel de detalle y georreferenciación, para finalizar con una

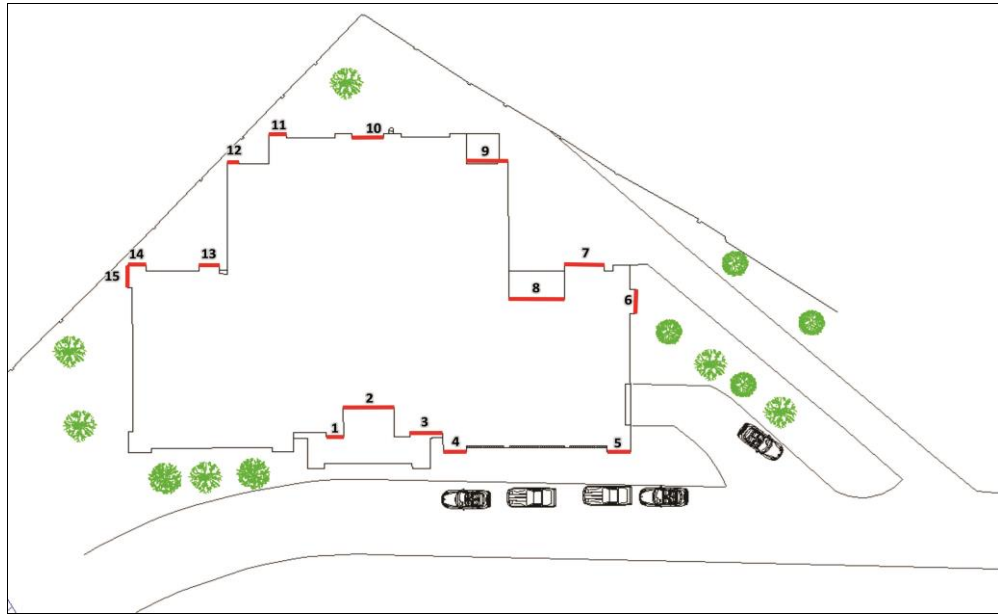
matriz de comparación que permite a un futuro usuario seleccionar el método más apropiado en función de las diferentes variables evaluadas.

A modo de comparación, si se quisiera utilizar cada uno de los métodos para obtener los mismos productos, es decir, un plano topográfico en planta se evidencia que con el escáner se necesitaría de aproximadamente 30 horas contra las 18 del levantamiento topográfico tradicional, mucho más tiempo con el láser aunque sin tener en cuenta el valor agregado de los otros productos a realizar y el nivel de detalle obtenido.

## **5.2. ERROR DE MEDICIÓN**

Para calcular el error en mediciones de longitudes con los diferentes métodos se hizo una selección de elementos como muros que en campo fueron medidos con un instrumento preciso; para ello seleccionando una cinta métrica y múltiples mediciones promediadas en una y asumidas como real se extrajo de los planos realizados en 2D la dimensión de dichos elementos, (15 en total) y en la Tabla 15 se evidencia la diferencia entre la longitud medida con topografía y con el escáner laser respecto a la real. Denotando al final el cuadrado del error medio cuadrático. En la Figura 52 se muestra la imagen de los elementos que fueron medidos.

**Figura 52.** Muros medidos para cálculo de error en longitudes.



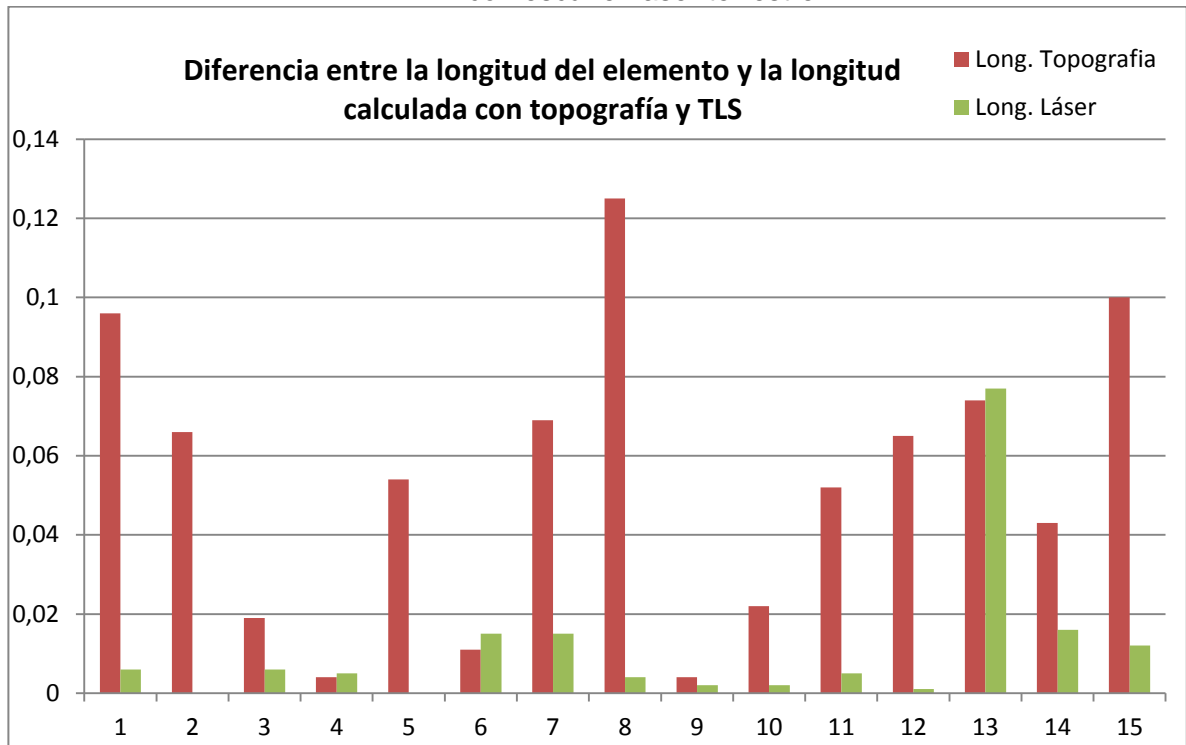
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15.** Longitud de elementos aleatorios real, medidas con topografía, medidas con escáner láser terrestre.

PUNTO	L real (m)	L topografía (m)	L láser (m)
1	1,593	1,689	1,587
2	4,583	4,517	4,583
3	2,944	2,925	2,95
4	2,129	2,133	2,124
5	2,122	2,176	2,122
6	2,07	2,059	2,085
7	3,426	3,495	3,441
8	5,035	4,91	5,031
9	3,787	3,783	3,789
10	2,908	2,93	2,906
11	1,578	1,526	1,573
12	1,052	1,117	1,051
13	1,711	1,785	1,788
14	1,666	1,709	1,65
15	2,128	2,228	2,14
EMC		± 0,0041	± 0,0005

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 53.** Longitud de elementos aleatorios real, medidas con topografía, medidas con escáner laser terrestre.



Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia que en la mayoría de los casos la longitud tomada con escáner laser terrestre es más acertada que la longitud medida con topografía lo que da una primera impresión sobre la magnitud del error en medición y el método más exacto. Para poder estimar un valor apropiado de la tolerancia de ambos instrumentos se calculó el cuadrado del error medio cuadrático para ambas técnicas de la siguiente forma:

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (li - Li)^2}{n}}$$

Obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 16.** Error medio cuadrático para ambas técnicas.

Método de medición	Cuadrado del error medio cuadrático
Topografía tradicional	0,0041 (m) = 4,1 mm
Escáner laser terrestre	0,0005 (m) = 0,5 mm

Fuente: Elaboración propia.

La anterior metodología es una adaptación de la utilizada para evaluar los errores de modelos digitales de elevación<sup>3</sup>.

### 5.3. ERROR DE CIERRE

Existe un error de cierre para ambos levantamientos que es distribuido a todos los puntos de los elementos escaneados. Tradicionalmente, cuando se realiza un levantamiento topográfico se calcula teniendo en cuenta la poligonal de cierre el error que es distribuido como un ángulo a cada vértice, en el caso del escaneo láser terrestre, el error de cierre se presenta cuando las nubes de puntos son registradas y teniendo en cuenta el método utilizado con el Multi Station Adjustment el software muestra cuál es el valor de dicho error.

A modo de comparación de precisión de los dos se muestra en la siguiente tabla dichos valores, en el caso del escáner láser para los instrumentos calibrados se obtuvo un error de cierre aproximado de 1:40.000, es decir, teniendo en cuenta la poligonal con una longitud de 187 metros, el error de cierre llega a ser del orden de 0,005 m. Con el escáner láser el error de “cierre” puede considerarse equivalente al error presente para registrar las diferentes nubes en una sola y el resumen se muestra en la siguiente tabla.

---

<sup>3</sup> PÉREZ, Azucena, (2008), Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación. Pág. 59. ISSN 0188-4611

**Tabla 17.** Error de cierre por método de levantamiento

Método de medición	Cuadrado del error medio cuadrático
Topografía tradicional	1:40.000
Escáner laser terrestre	0,0018

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4. ERRORES EN VERTICES

Los errores en vértices tienen una característica evidente en el dibujo por cuanto su evaluación será cualitativa, este se da por cierta ambigüedad entre la localización de cada vértice o arista de la estructura y la localización del prisma para el levantamiento topográfico tradicional; este problema no está presente con el levantamiento con escáner debido a que el rayo láser entra en contacto con el edificio y no se toma una medida distanciada y errónea. La siguiente figura muestra un ejemplo del problema de medir estos elementos de la forma tradicional.


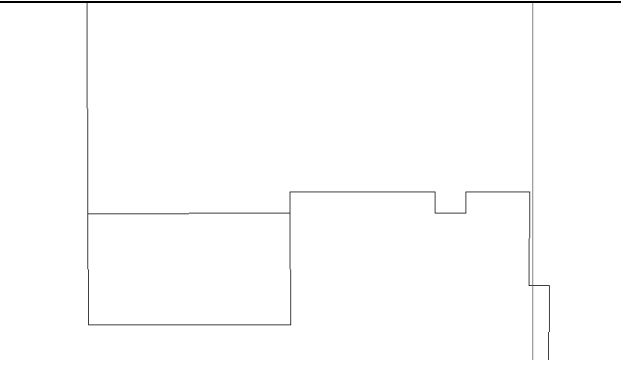
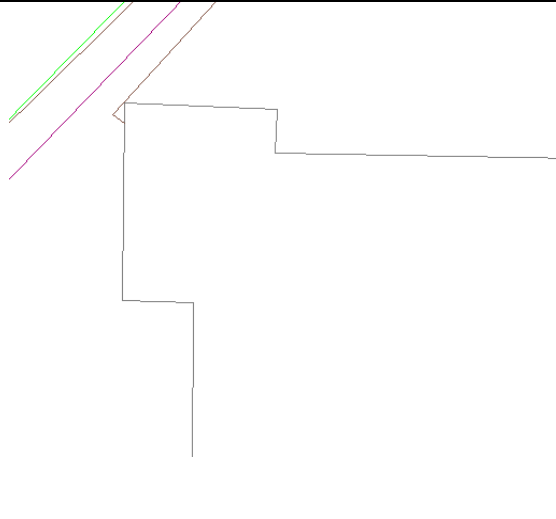
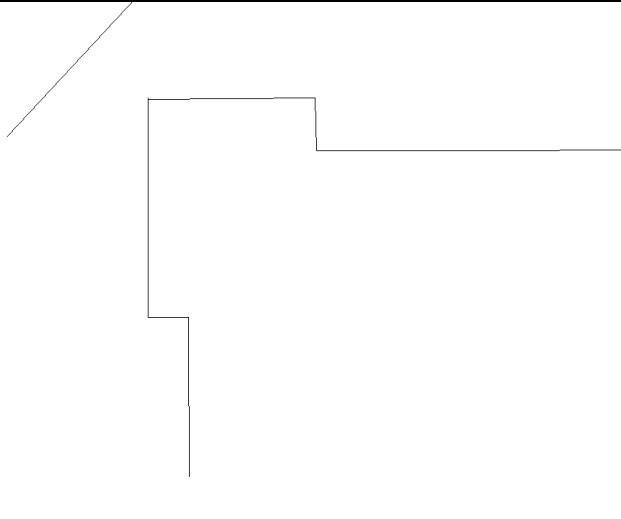
**Figura 54.** Errores en medición de aristas y esquinas por interferencia de la geometría del prisma



Fuente: Elaboración propia.

Estos errores se ven reflejados en el plano que contiene el levantamiento topográfico donde los ángulos de las esquinas son más pronunciados que los ángulos reales como se apreció en la inspección de campo, ejemplo de estos se puede ver en la tabla siguiente, extraídas de dicho entregable donde además se comparan con las elaboradas con el levantamiento con escáner láser terrestre.

**Tabla 18.** Comparación de geometría en vértices

Geometría elaborada con topografía tradicional	Geometría elaborada con escáner láser terrestre
	
	

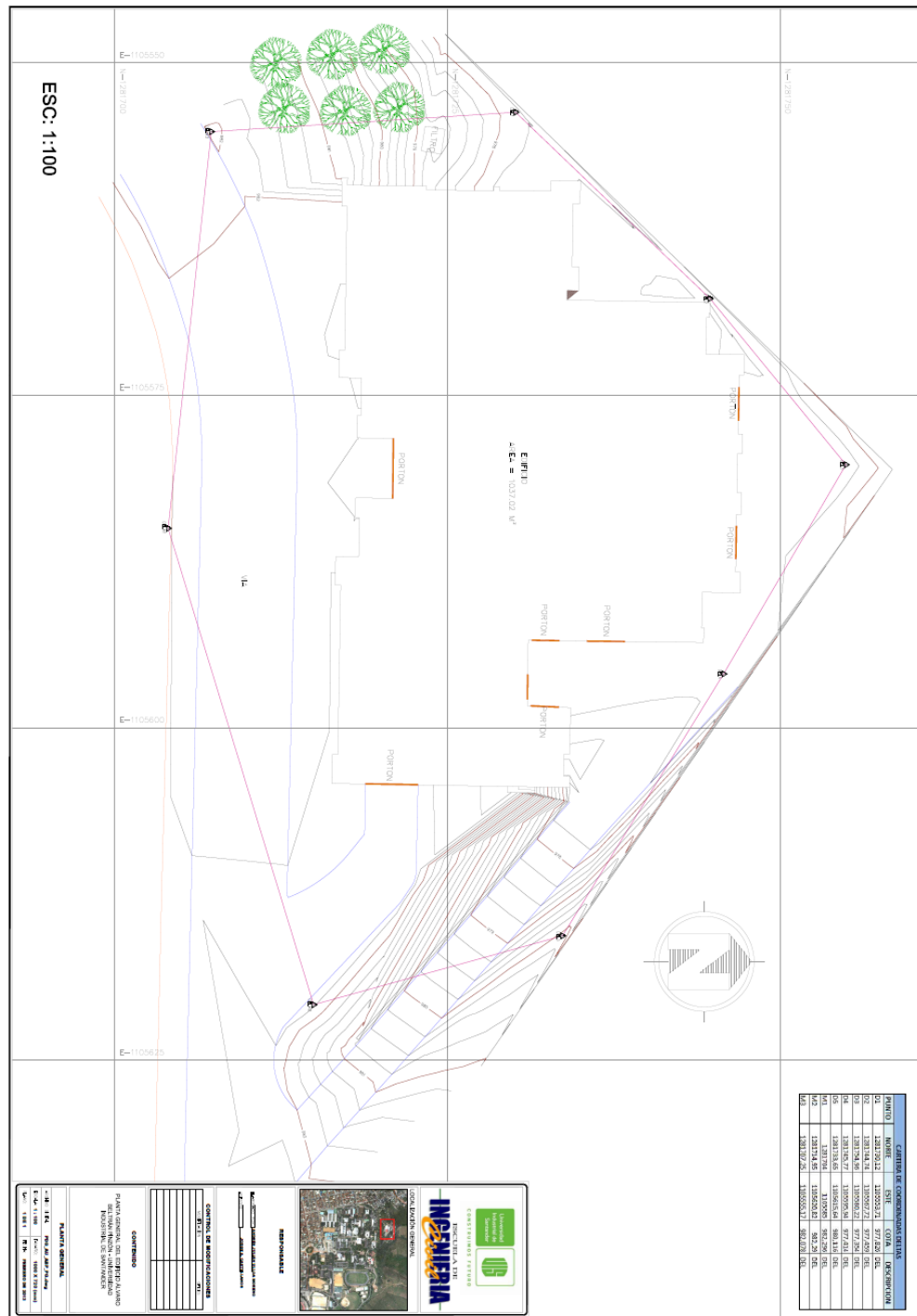
Fuente: Elaboración propia.

Aunque se presenta como una comparación cualitativa, se puede observar que evidentemente los ángulos de algunos muros son mucho más pronunciados con topografía tradicional lo que se debe al posicionamiento alejado del prisma respecto al punto real a digitalizar, además, el nivel de detalle que se logra con el escáner láser es mayor.

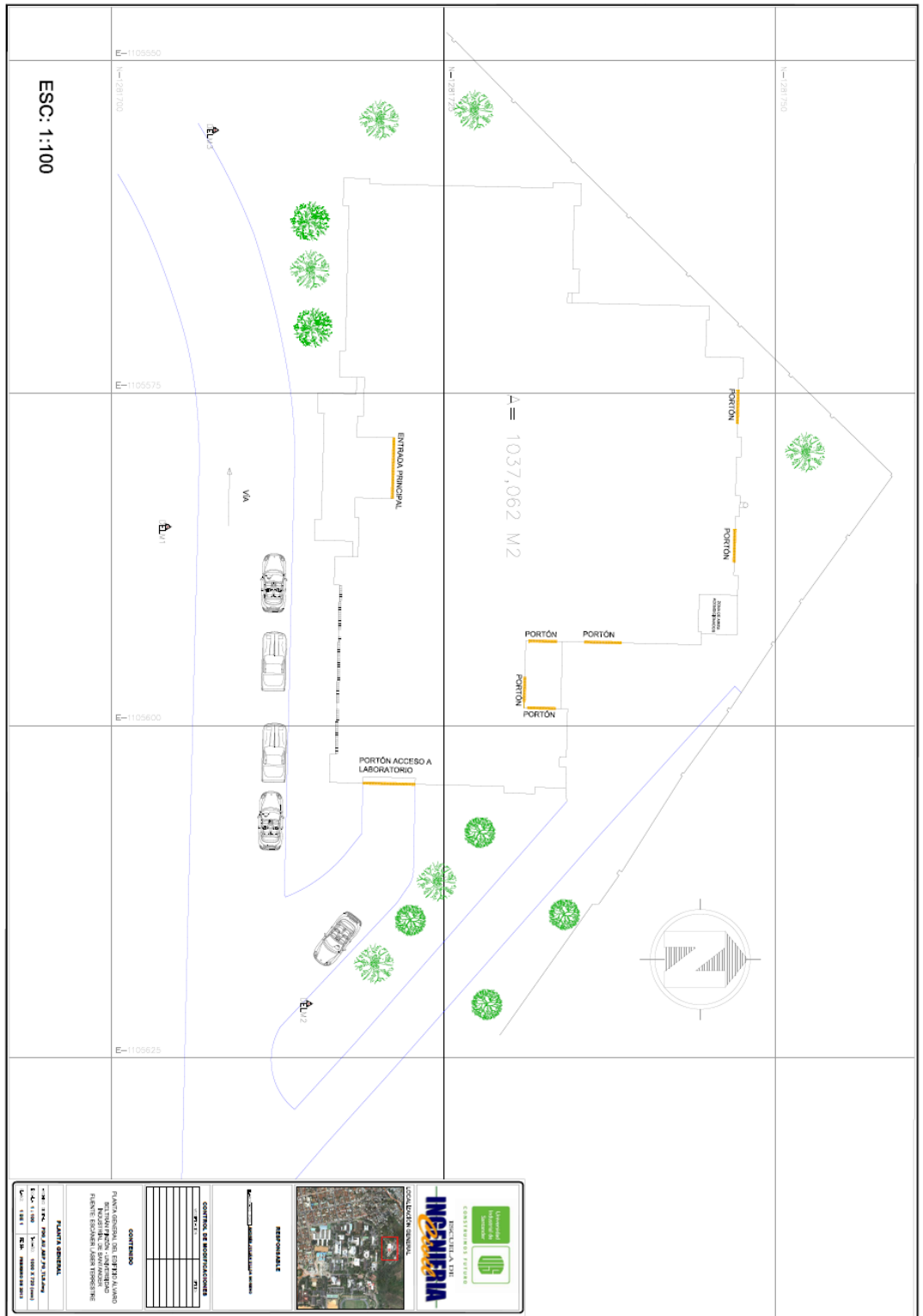
## **5.5. DETALLE DEL PRODUCTO ENTREGABLE**

La comparación entre ambos métodos se hizo mediante la elaboración de planos con los insumos que cada método proporcione, en el caso del escáner con restitución de líneas basado en los puntos densos y el levantamiento topográfico basado en los puntos medidos con la estación total; debido a que era fácil seccionar en la nube de puntos diferentes secciones se podía generar un plano en planta a cualquier elevación deseada, lo que para el caso de la topografía era más difícil pues el operario debía estar a la altura donde se quisiera detalle. En el caso de las curvas de nivel; no se dibujaron con el plano de TLS debido a que este proceso requiere un manejo de software diferente para eliminar la vegetación, crear una superficie con triangulación y las secciones que generarán las curvas de nivel; la gran densidad de puntos hizo que esta labor fuera más difícil y se optó por hacer una comparación más detallada en fachada de la infraestructura. En la Figura 55 se muestran los dos planos en planta evidenciando líneas que representan muros y elementos no detallados con estación total.

**Figura 55.** Plano en planta a) elaborado con topografía y b) elaborado con escáner láser.



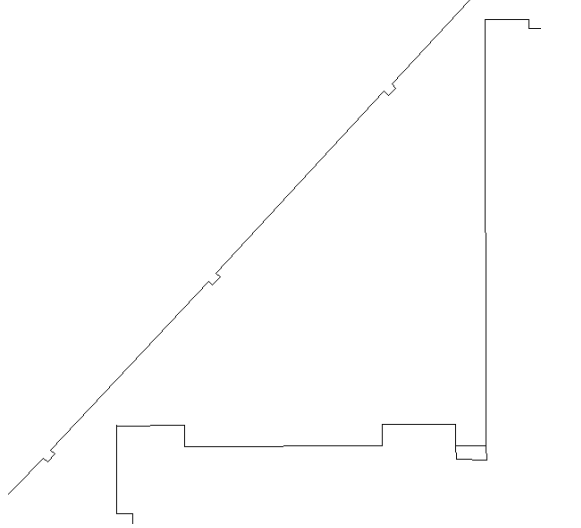
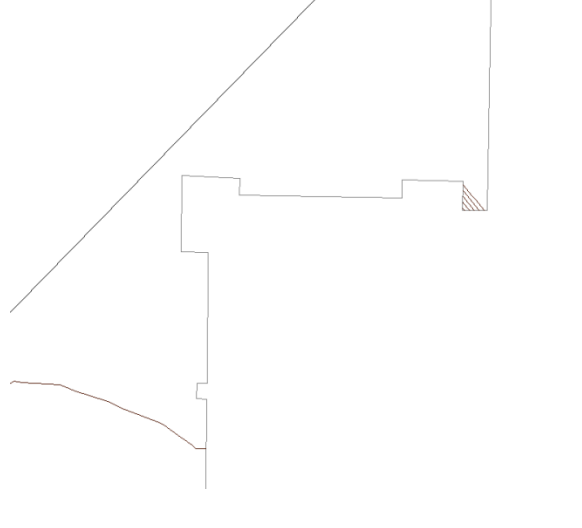
a



b

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19.** Detalle con ambos métodos.

Detalle con TLS	Detalle con topografía tradicional
	

Fuente: Elaboración propia.

Como se detalla en la tabla anterior si se observa el muro de cerramiento del edificio, con el TLS es posible visualizar las columnetas que no se distinguen con topografía tradicional debido a que esto hubiese requerido posicionar el prisma en cada uno de los vértices de dichos elementos, lo cual es muy tedioso con estación total pero no representaba mayor carga para el escáner; es aquí donde se puede entrar a evaluar la necesidad de detalle para seleccionar uno de los dos métodos, por ejemplo una restitución de una edificación patrimonio histórico requiere que se tenga el mayor detalle disponible y allí la tecnología TLS cobra un significado importante, por otro lado, si se desea levantar un predio o un lindero puede ser la topografía tradicional la más adecuada.

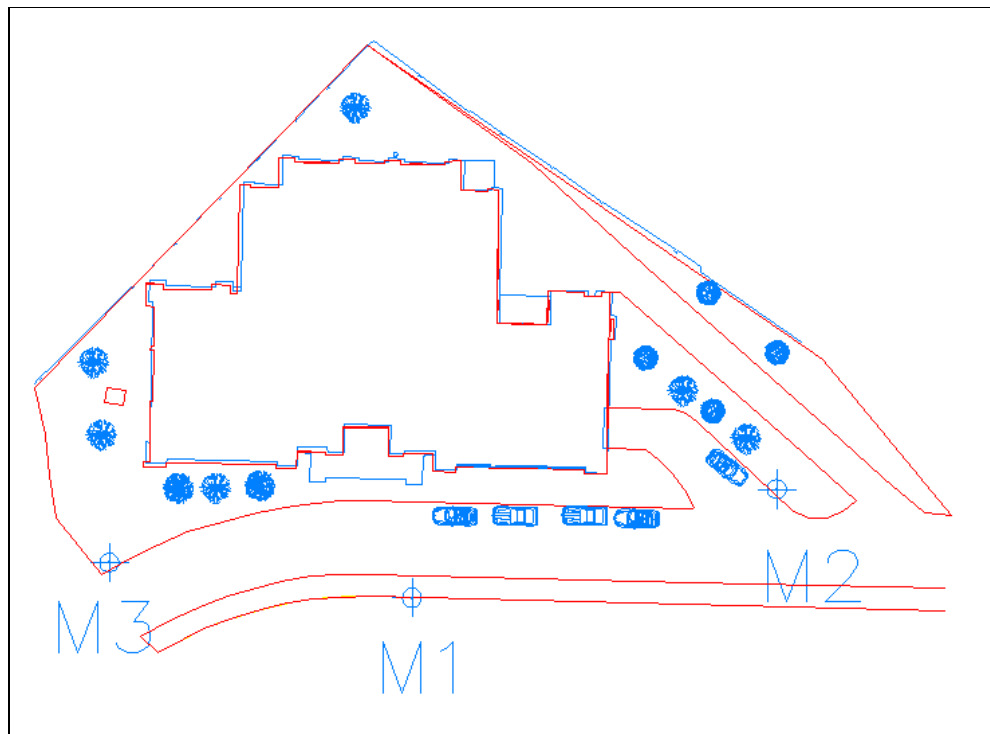
## 5.6. GEORREFERENCIACIÓN DE LOS PLANOS

Este parámetro se tuvo en cuenta partiendo de los deltas M1, M2 y M3 cuya coordenada fue levantada con los sistemas GNSS RTK. De modo que fuera

posible especializarlos respecto a un sistema coordinado global. En la figura siguiente se muestran el polígono que representa a la estructura en rojo con levantamiento topográfico y en azul con TLS para una sección del edificio que detalla su perimetria. Se aprecia una variación en el posicionamiento de ambas; sin embargo la evaluación describe un factor cualitativo donde el resultado obtenido va a ser diferente con ambos métodos pero no se tuvo un parámetro definitivo de espacialización que sirviera de base para el cálculo de errores, este ejercicio puede ser desarrollado en posteriores proyectos para encontrar la diferencia en georreferenciación utilizando escáneres láser.

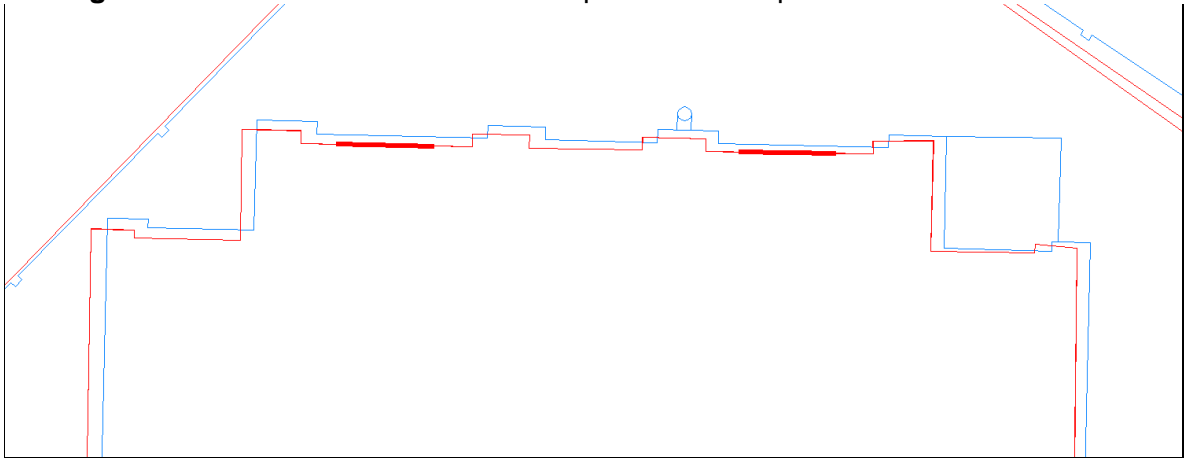
Esta ambigüedad se da porque los dos levantamientos corregían su respectivo error de cierre repartiendo ese valor entre los vértices y puntos cambiando las coordenadas de los mismos.

**Figura 56.** . Diferencia en georreferenciación de los dos levantamientos para el perímetro del edificio.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 57.** Detalle de la diferencia presente en la parte trasera del edificio.



Fuente: Elaboración propia.

La diferencia entre vértices del edificio llega a tener una magnitud de entre 0,2 metros y 0,6 metros lo cual es significativo para un nivel de detalle alto pero si el ejercicio representara el levantamiento de toda una ciudad con escalas mayores a 1:750 podría verse mitigada esta diferencia.

## **6. MATRIZ DE COMPARACIÓN DEL LEVANTAMIENTO CON AMBOS MÉTODOS**

En la siguiente tabla se resume la información del trabajo realizado para el levantamiento topográfico con escáner láser terrestre y métodos tradicionales, en ella se tienen en cuenta diferentes criterios de carácter técnico: que comprende precisiones, errores, personal y demás variables que son propias de los equipos y necesarias para realizar el trabajo tanto de campo como de oficina, criterios económicos: que se muestran como una estimación del valor del trabajo, del tiempo y de los productos obtenidos de forma cualitativa y cuantitativa; y finalmente el factor entorno: que engloba todos los factores externos que pueden influir en el trabajo especialmente de campo para la realización de los levantamientos y van de la mano con la capacidad de los equipos para trabajar en dichas condiciones.

**Tabla 20.** Matriz de comparación del levantamiento con ambos métodos

Criterios de comparación		Levantamiento topográfico	TLS (Terrain laser scanner)
<b>Técnicos</b>	Precisión	1 segundo	0,003 m
	Error de cierre	1:40.000	0,0018 m
	Estaciones requeridas	8	12
	Instrumentos requeridos para el levantamiento en campo	Estación total TOPCON ES-101	Escáner Láser terrestre RIEGL VZ-400
		Trípode	Cámara fotográfica NIKON
		Plomada	Trípode
		Bastón	Receptor GPS L1
		Cinta métrica	Batería
		Estacas	Cinta métrica Reflectores
	Instrumentos requeridos para el procesamiento	Software AutoCAD	Software RiSCAN PRO
		Excel	Software AutoCAD
		Computadora de especificaciones medias	Excel Computadora de especificaciones altas
	Personal requerido para el levantamiento	1 topógrafo	1 técnico
2 cadeneros		1 auxiliar	
Personal requerido para el procesamiento	1 técnico	1 técnico	
Calificación del personal	Media en manejo de autocad y Excel	Alta para el posprocesamiento con RiSCAN PRO y AutoCAD, Media con EXCEL	
Necesidad de rectificación (Visita posterior a campo)	Ocasional	Prácticamente Innecesaria	

	Volumen de la información	Bajo (Archivos de 10 MB aprox.)	Altísimo (Archivo de 30 Gb aprox.)
	Densidad de la información (nube de puntos)	Baja (120 puntos aprox.)	Altísima (203'250,000 puntos aprox.)
	Campos de aplicación	Agricultura Ingeniería Civil Cartografía Arquitectura Geodesia Minería	Agricultura Ingeniería Civil Cartografía Arquitectura Geodesia Minería Catastro Conservación del patrimonio Patología estructural Industria –petrolera Criminalística y ciencias forenses
	Nivel de detalle	Bajo-Nulo para planos fachada, medio-alto para curvas de nivel y planta	Alto para fachada, planta y demás detalles
	Productos entregables	Plano en planta (Planimetría) con curvas de nivel y georreferenciado	Plano en planta (Planimetría) georreferenciado Modelo tridimensional con nube de puntos y color real Imágenes realísticas Planos de fachada a escala
<b>Económicos</b>	Tiempo de levantamiento en campo (incluye planificación y revisión)	6 horas aprox.	4,5 horas aprox.
	Tiempo del procesamiento	5 aprox.	14 horas aprox.
	Tiempo de modelamiento	7 horas	23 horas

<b>Entorno</b>	Costo levantamiento	1'000.000 – 1'500.000 aproximadamente; varía en función del nivel de detalle, las condiciones del terreno y el área a levantar, e incorpora trabajo en campo, transporte de equipos, procesamiento y creación de planos.	Entre 2'500.000 y 3'500.000 aproximadamente por alquiler del equipo por día, dependiendo de si se incluye o no técnico para el trabajo en campo, los productos a generar adicionales como procesamiento, planos, modelo 3D, imágenes, etc. tienen costos adicionales cada uno. Estos valores son variables y apenas estimados.
	Valoración de los productos obtenidos	Media	Alta
	Disponibilidad de los equipos	Alta disponibilidad y variedad de fabricantes	Muy baja disponibilidad y limitada variedad de fabricantes
	Accesibilidad	Requiere buenas condiciones de accesibilidad y estabilidad así como contacto directo con la infraestructura	Requiere condiciones de estabilidad para el equipo pero no requiere contacto con la estructura, no es agresivo ni invasivo y puede ser usado en zonas de riesgo.
	Condiciones de iluminación	Buenas condiciones de iluminación, se debe realizar en horario diurno	No requiere de condiciones de iluminación, se puede realizar a cualquier hora del día, (En condiciones nocturnas solo se pierde detalle fotográfico para valor RGB del punto)
	Condiciones climáticas	Delicado en condiciones de lluvia, resiste factores contaminantes de polvo y presión atmosférica. Afectado por temperaturas extremas	Trabaja en condiciones de lluvia, resiste factores contaminantes de polvo y presión atmosférica. Afectado por temperaturas extremas
	Seguridad	Vigilancia privada para cuidado de equipos en exteriores	Vigilancia privada para cuidado del equipo en exteriores

Fuente: Elaboración propia.

## 7. CONCLUSIONES

- Tras el ejercicio de consulta sobre los diferentes tipos de escáner láser se identificaron tres modalidades principales: aerotransportados, móviles y terrestres, siendo esta última la más extendida y seleccionada para usar en el ejercicio de aplicación; el escáner RIEGL VZ-400 junto con los otros comparados pueden ser utilizados en los campos de la ingeniería civil, arquitectura, catastro, geodesia, minería, patología estructural, industria petroquímica, conservación del patrimonio histórico, topografía y criminalística entre otros.
- El levantamiento con escáner láser terrestre en campo fue considerablemente más rápido que el elaborado con topografía tradicional obteniendo muchísimo más detalle además de que requirió menos personal; el proceso se tornó más automatizado y la intervención de los operarios se limitó al transporte del equipo a cada posición de escaneo y a la programación por interfaz del levantamiento
- Los productos generados a partir del levantamiento topográfico fueron el plano en planta de la estructura con sus accidentes topográficos, polígono externo del edificio Álvaro Beltrán Pinzón, vías de acceso, muros y cerramientos, identificación de portones, entradas y demás detalles principales así como curvas de nivel, limitándose a un resultado bidimensional mientras que con el escáner láser terrestre se pudo generar un modelo bidimensional en planta de la infraestructura sin curvas de nivel de mucho mayor detalle que el obtenido con el levantamiento topográfico; además de planos de fachada; modelo tridimensional de nube de puntos con color real, imágenes de la estructura y planos de corte a diferentes niveles.
- Entre los principales beneficios identificados con el uso de tecnología TLS se encuentra: recolección de información en tiempo rápido con millones de

puntos de detalle, capacidad de trabajar en condiciones de pobre o nula iluminación, representación fiel de la escena escaneada, posibilidades de generar múltiples productos entregables de valiosa calidad, no requiere contacto directo con el objeto a levantar por lo cual se adecua a zonas de riesgo, inestabilidad y conservación de edificaciones históricas.

- En cuanto a las particularidades en la implementación del levantamiento mediante escáner láser terrestre se encontró que en nuestra región el cubrimiento de constelaciones de satélite suficiente para la georreferenciación de las posiciones de escaneo no se garantiza en todas las horas del día; la temperatura y condiciones climáticas fueron adecuadas para el trabajo. Por la falta de conocimiento de esta tecnología no se encuentran equipos disponibles fácilmente en el mercado Colombiano y tanto la capacitación como la adquisición del dispositivo requirió asesoría en otro país.
- Según los resultados obtenidos las medidas aleatorias de longitud en la estructura tomadas a partir de la nube de puntos son más precisas con un error de 0,5 mm respecto al levantamiento topográfico tradicional con error de 4,1 mm mostrando que en la mayoría de los casos fue más acertado el modelo del TLS. El error de cierre en el registro del modelo de nube de puntos hecho con escáner láser terrestre fue de 1,8 mm, cuyos residuos siguen una distribución normal que da garantía de que el producto realizado es tan confiable y preciso como el hecho con topografía con control sobre el error en cada paso del registro.
- La principal dificultad en campo con el uso del escáner laser se dio al medir la fachada del edificio en toda su altura en aquellas zonas donde no se logró desarrollar el rango mínimo en distancia entre el escáner y el objeto; como en el sector occidental del edificio donde fue necesario ejecutar más posiciones de escaneo sin poder solventar la pérdida de detalle.
- El flujo de trabajo para el levantamiento con TLS se caracterizó por ser considerablemente rápido en su etapa de preparación y ejecución en

campo pero muy lento en su procesamiento debido a que en oficina el trabajo se limitó a un operario con conocimientos avanzados en el manejo del software donde el tiempo paso de 2,5 horas en campo a 37 horas en oficina aproximadamente, lo cual aunque sigue siendo un tiempo relativamente corto teniendo en cuenta los productos finales no puede compararse con la agilidad para generar planos con topografía tradicional, además, la gestión de la información requiere a futuro un modelo de optimización por cuanto el volumen manejado en un solo proyecto ocupó más de 30Gb.

- El levantamiento con escáner láser terrestre no pretende reemplazar a la topografía tradicional, en vez de esto; puede apoyarse en ella para los diferentes trabajos en campo siendo una transformación que involucra los principios de los dos métodos para un fin común; y actualmente la selección del uso de los TLS se limita a aquellos escenarios donde son netamente necesarios para obtener detalle que definitivamente no se obtienen con topografía.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, Alberto B: Alineamiento de imágenes tridimensionales, disponible en:

[http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXI/documentos/ja00\\_029/ja00\\_029.pdf](http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXI/documentos/ja00_029/ja00_029.pdf). Consultado en octubre de 2012

BATTISTON, Federico. (2011): Medición con láser por triangulación, universidad tecnológica nacional.

CHEN, Xin: Next-generation map making- geo-referenced ground-level lidar point clouds for automatic retro-reflective road feature extraction, Disponible en: [http://www.ucalgary.ca/rswang/files/rswang/NAVTEQ\\_GIS.pdf](http://www.ucalgary.ca/rswang/files/rswang/NAVTEQ_GIS.pdf), Consultado en enero de 2013.

LERMA, José Luis. BIOSCA, Josep. (2008): Teoría y práctica del escaneado láser terrestre, material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas. Disponible en: [http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo\\_Tutorial\\_Final\\_vers5\\_SPANISH.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf), consultado en febrero de 2012.

MAÑANA, Patricia & RODRÍGUEZ, Anxo. (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). ISSN 1695-2731. Disponible en: <http://arqarqt.revistas.csic.es/index.php/arqarqt/article/download/87/84>. Consultado en febrero de 2012.

MARAMBIO, Alejandro, PUCCI, Barbara: La aplicación del escáner láser terrestre en la catalogación del patrimonio arquitectónico del casco histórico de Castellfollit de la roca.

MARIAMBO, Roca J. (2006): Modelos digitales de nubes de puntos de la Habana vieja, cuba. Disponible en: <http://www-cpsv.upc.es/documents/SG7pap138.pdf>. Consultado en agosto de 2012.

MÁRQUEZ, Antonio. (2010): Un tratado sobre el escáner terrestre TLS. Disponible en: <http://www.mecinca.com/papers/EscanerTLS.pdf>, consultado en enero de 2013.

PÉREZ, Azucena, (2008): Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación. Pág. 59. ISSN 0188-4611.

RESHETYUK, Yuriy. (2009): Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning. Doctoral thesis in infrastructure, geodesy. ISSN 1653-4468. SIBN 978-91-85539-34-5

RIEGL, (2011): Selection guide, Disponible en: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/selection-guide/print.html>. Consultado en febrero de 2012.

RODRÍGUEZ, A, VALLE-MELÓN, J.M, CASAR, JI, ESTEBAN, J, (2008): Aportaciones metodológicas a la gestión y explotación de nubes de puntos procedentes de escáneres tridimensionales, aplicados a la documentación geométrica del patrimonio. El caso de la portada de los hierros de la catedral de valencia. Disponible en: [http://www.ehu.es/docarq/LDA/publicaciones/cicop\\_2008.pdf](http://www.ehu.es/docarq/LDA/publicaciones/cicop_2008.pdf). Consultado en septiembre de 2012.

SCHUHMACHER, Jan: Georeferencing of terrestrial laserscanner data for applications in architectural modeling

STAIGER, R. (2007): Terrestrial laserscanning, scanner and methods, presentation at intergeo. East, Sofia, Bulgaria. Disponible en: <http://www.rgz.sr.gov.yu/DocF/Files/intergeo-east-2007/n48.pdf>.

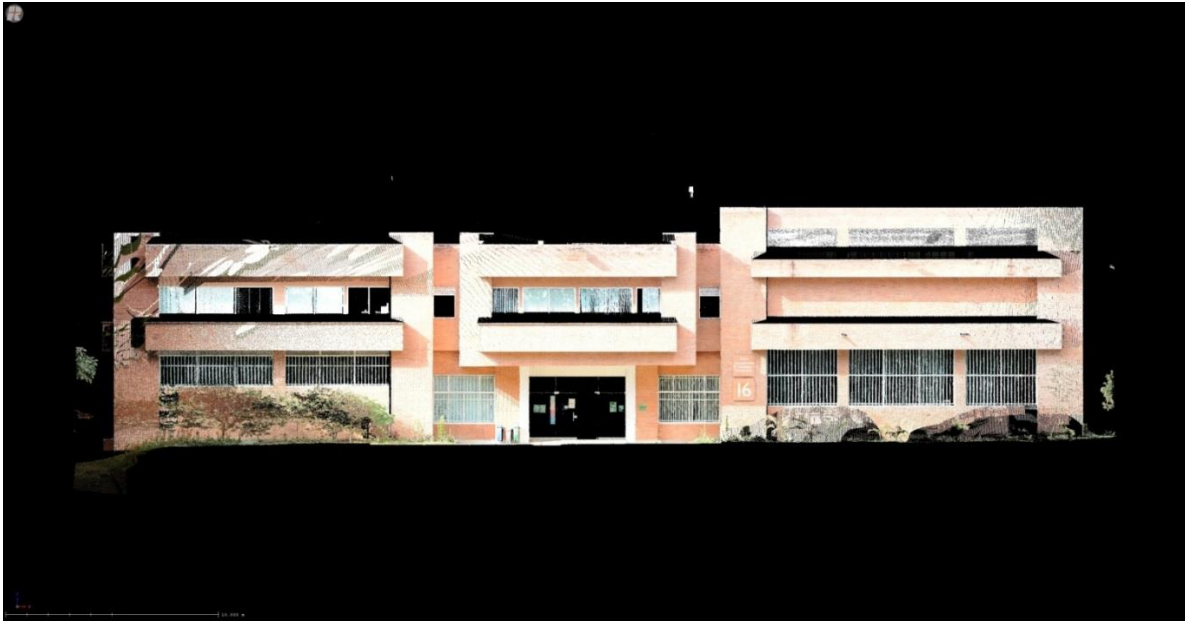
TOPCON, Recurso electrónico, disponible en: <http://www.topconpositioning.com/products/total-stations/conventional-construction/es-series>. Consultada en febrero de 2013.

WILKINSON, Benjamin. (2010): A novel approach to terrestrial lidar georeferencing.

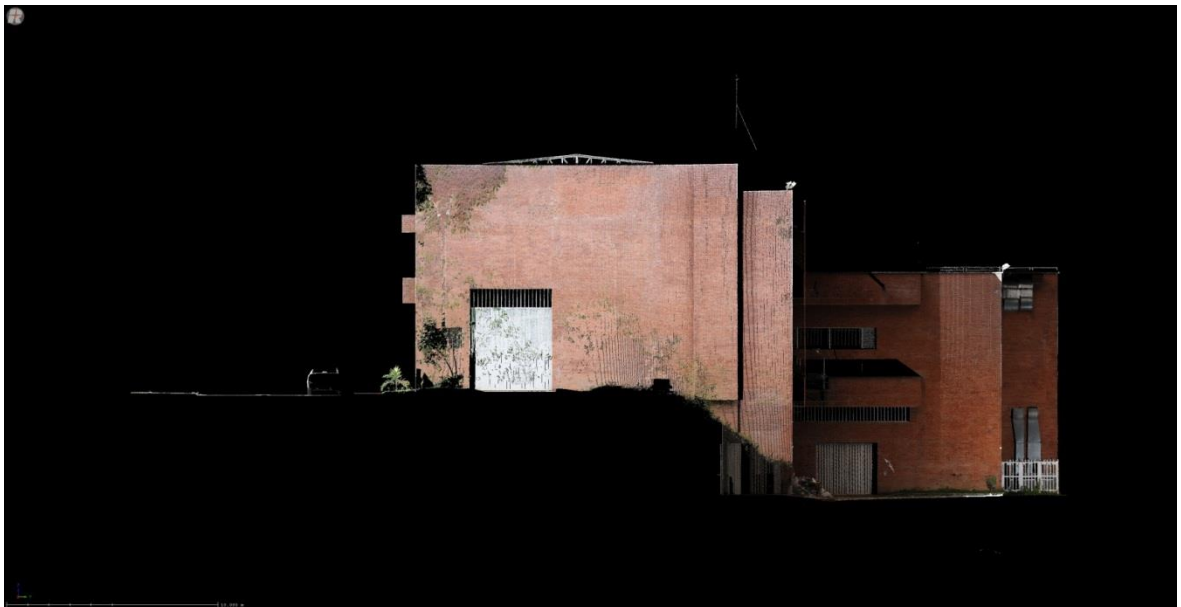
## ANEXOS

### Anexo a. Imágenes de fachada de la nube de puntos en color real

- Nube de puntos con vista frontal del edificio



- Nube de puntos con vista oriental del edificio



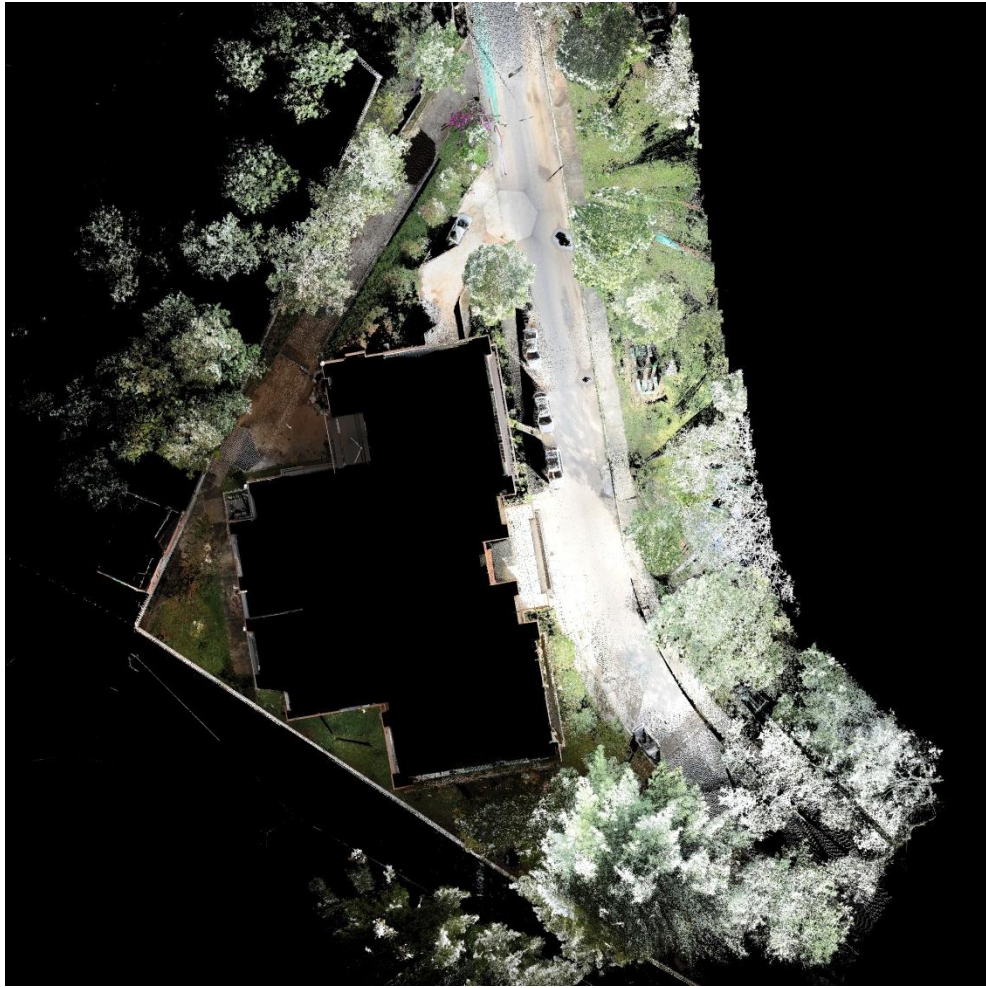
- Nube de puntos con vista posterior del edificio



- Nube de puntos con vista tridimensional del edificio



- Plano en planta de nube de puntos con color real



## Anexo b. Resultado estadístico de iteraciones de registro

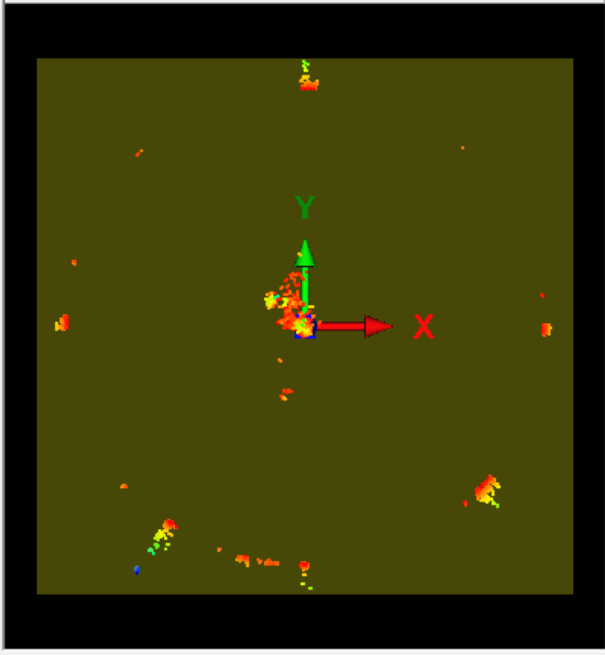
### ITERACIÓN 1

Multi Station Adjustment

Input Results  Switch to page "Results" automatically

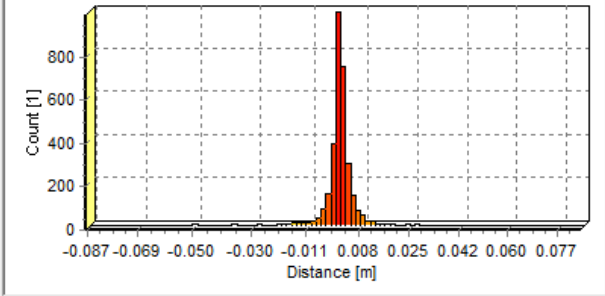
Graphical summary | Tabular summary

PLANE ORIENTATION



RESIDUES

Histogram of residues



Units: [m], [deg]

INPUT DATA

- Ignore tiepoints: 1
- Ignore tieobjects: 1
- Use polydata objects: 1
- Ignore measured scan positions: 1

PARAMETERS

Nearest point search:

- Mode: all nearest points (recommended)
- Search radius [m]: 1
- Max. tilt angle [deg]: 0.5

Adjustment:

- Min. change of error 1 [m]: 2
- Min. change of error 2 [m]: 1
- Outlier threshold [1]:  2
- Calculation mode: least square fitting
- Update display: seldom (recommended)

ADJUSTMENT

- Adjust range offset [m]: 0.000
- Adjust theta offset [deg]: 0.000
- Tie points: 2D mode (ignore range - EXPERIMENTAL).
- Time running: 00:00:04
- Current action: Finished.

STATISTICS

Error (StdDev) [m]: 0.0065

Number of observations used for calculation:

Tiepoints:	Tieobjects:	Polydata:	Scan pos. s:
0	0	3114	0

Save calculation statistics to file (\*.csv)...

Analyse Calculate

>> Minimize Undo last Undo all

Help Close

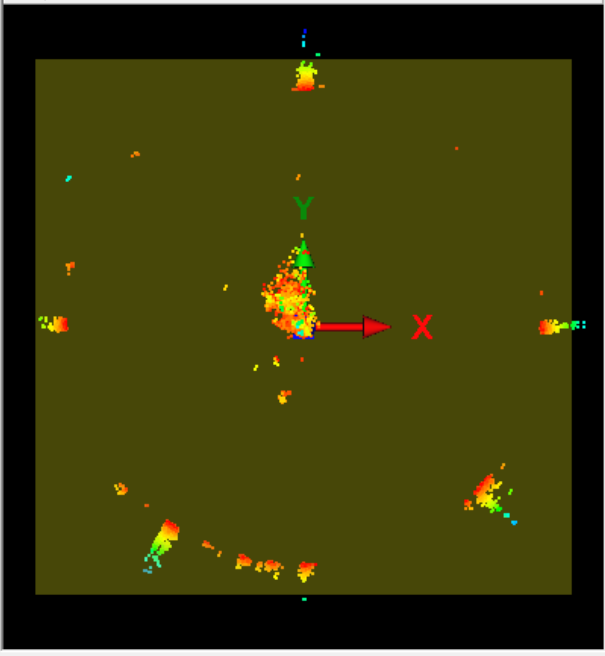
# ITERACIÓN 2

Multi Station Adjustment 83

Input Results  Switch to page "Results" automatically

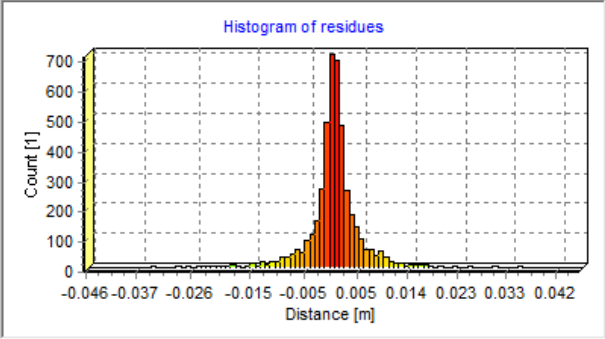
Graphical summary | Tabular summary

PLANE ORIENTATION



RESIDUES

Histogram of residues



Units: [m], [deg]

INPUT DATA

- Ignore tiepoints. 1
- Ignore tieobjects. 1
- Use polydata objects. 1
- Ignore measured scan positions.

PARAMETERS

**Nearest point search:**

Mode: all nearest points (recommended)

Search radius [m]: 1

Max. tilt angle [deg]: 1

**Adjustment:**

Min. change of error 1 [m]: 0.05

Min. change of error 2 [m]: 0.03

Outlier threshold [1]:  2

Calculation mode: least square fitting

Update display: seldom (recommended)

ADJUSTMENT

- Adjust range offset [m] 0.000
- Adjust theta offset [deg] 0.000
- Tie points: 2D mode (ignore range - EXPERIMENTAL).

Time running: 00:00:04

Current action: Finished.

STATISTICS

Error (StdDev) [m]: 0.0060

**Number of observations used for calculation:**

Tiepoints:	Tieobjects:	Polydata:	Scan pos.s:
0	0	4426	0

Save calculation statistics to file (\*.csv)...

Analyse Calculate

>> Minimize Undo last Undo all

Help Close

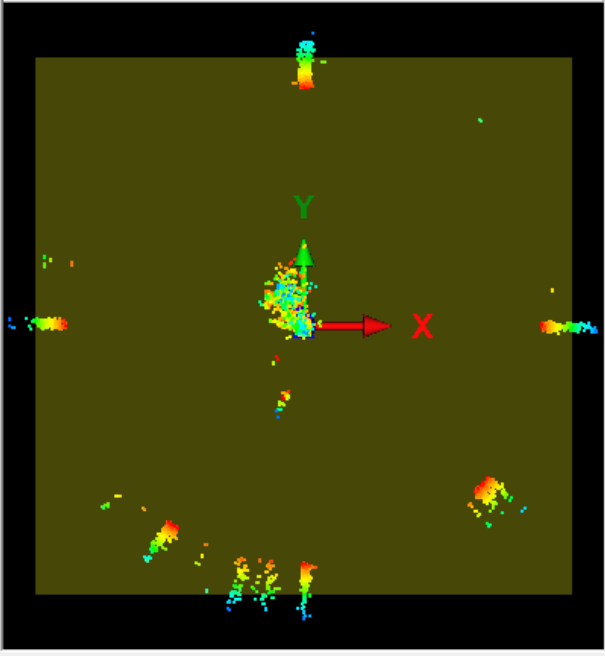
# ITERACIÓN 3

Multi Station Adjustment
Switch to page "Results" automatically

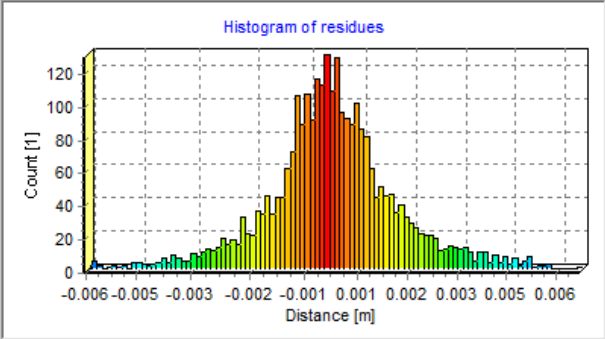
Input
Results

Graphical summary
Tabular summary

PLANE ORIENTATION



RESIDUES



Units: [m], [deg]

INPUT DATA

Ignore tiepoints: 1

Ignore tieobjects: 1

Use polydata objects: 1

Ignore measured scan positions: 1

PARAMETERS

Nearest point search:

Mode: all nearest points (recommended)

Search radius [m]: 0.5

Max. tilt angle [deg]: 1.000

Adjustment:

Min. change of error 1 [m]: 0.005

Min. change of error 2 [m]: 0.005

Outlier threshold [1]:  2

Calculation mode: least square fitting

Update display: seldom (recommended)

ADJUSTMENT

Adjust range offset [m]: 0.000

Adjust theta offset [deg]: 0.000

Tie points: 2D mode (ignore range - EXPERIMENTAL).

Time running: 00:00:05

Current action: Finished.

STATISTICS

Error (StdDev) [m]: 0.0018

Number of observations used for calculation:

Tiepoints:	Tieobjects:	Polydata:	Scan pos.s:
0	0	2779	0

Save calculation statistics to file (\*.csv)...

Analyse Calculate

>> Minimize Undo last Undo all

Help Close

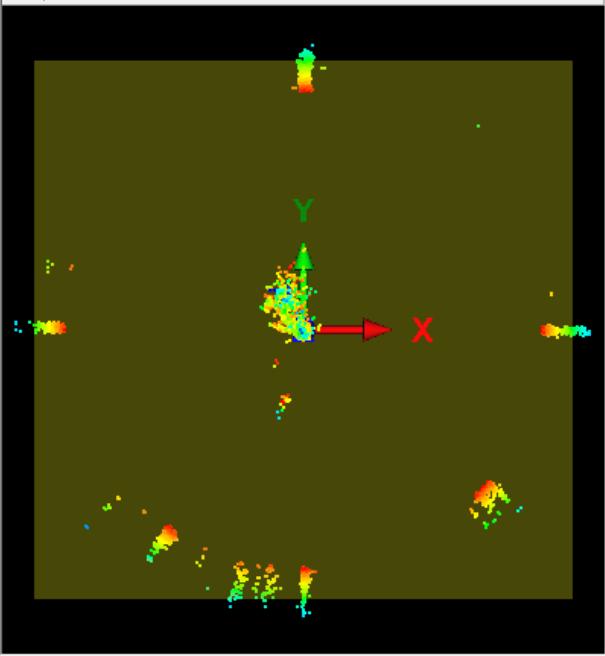
# ITERACIÓN 4

Multi Station Adjustment
Switch to page "Results" automatically

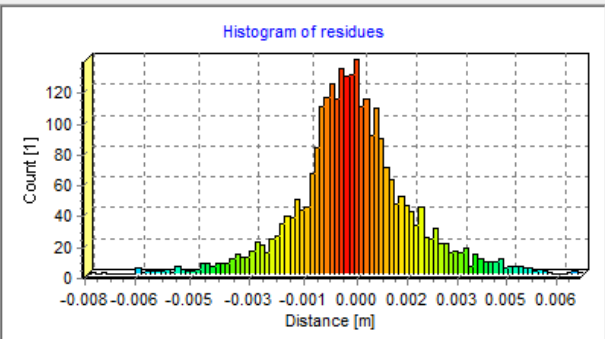
Input
Results

Graphical summary
Tabular summary

PLANE ORIENTATION



RESIDUES



Units: [m], [deg]

**INPUT DATA**

Ignore tiepoints: 1

Ignore tieobjects: 1

Use polydata objects: 1

Ignore measured scan positions: 1

**PARAMETERS**

**Nearest point search:**

Mode: all nearest points (recommended)

Search radius [m]: 0.5

Max. tilt angle [deg]: 1.000

**Adjustment:**

Min. change of error 1 [m]: 0.004

Min. change of error 2 [m]: 0.004

Outlier threshold [1]:  2

Calculation mode: least square fitting

Update display: seldom (recommended)

**ADJUSTMENT**

Adjust range offset [m] 0.000

Adjust theta offset [deg] 0.000

Tie points: 2D mode (ignore range - EXPERIMENTAL).

Time running: 00:00:03

Current action: Finished.

**STATISTICS**

Error (StdDev) [m]: 0.0018

**Number of observations used for calculation:**

Tiepoints:	Tieobjects:	Polydata:	Scan pos.s:
0	0	2777	0

Save calculation statistics to file (\*.csv)...

Analyse
Calculate

>> Minimize
Undo last
Undo all

Help
Close

Anexo c. Cartera de campo y de coordenadas

**CARTERA DE CAMPO**

<b>CARTERA DE CAMPO EDIFICIO ALVARO BELTRAN</b>							
<b>h instr</b>	<b>Delta</b>	<b>Punto</b>	<b>Prisma</b>	<b>Áng horizontal</b>	<b>Dist hrzt</b>	<b>Áng vertical</b>	<b>Descripción</b>
<b>1,489</b>	M1	M2	1,6	0°00'00.0000	37,451	0,105	DEL
	M1	1	1,6	358°58'02.0000	28,884	0,076	BV
	M1	2	1,6	13°24'17.0000	27,6	0,08	BV
	M1	3	1,6	261°17'18.0000	10,765	-0,092	BV
	M1	4	1,6	228°20'16.0000	4,841	-0,082	BV
	M1	5	1,6	201°57'15.0000	4,149	0,063	ANDEN
	M1	6	1,6	18°00'30.0000	26,923	0,106	ANDEN
	M1	7	1,6	197°37'25.0000	9,602	0,014	ANDEN
	M1	8	1,6	209°58'32.0000	10,176	-0,103	BV
	M1	9	1,6	235°21'42.0000	14,833	-0,13	BV
	M1	10	1,6	193°33'11.0000	14,818	-0,032	ANDEN
	M1	11	1,6	200°57'26.0000	15,787	-0,137	BV
	M1	12	1,6	213°44'44.0000	23,084	-0,164	BV
	M1	13	1,6	195°25'36.0000	20,517	-0,212	BV
	M1	14	1,6	189°16'43.0000	20,212	-0,062	ANDEN
	M1	15	1,6	201°34'10.0000	30,547	-0,254	BV
	M1	16	1,6	185°11'20.0000	25,456	-0,102	ANDEN
	M1	17	1,6	189°17'57.0000	26,857	-0,229	BV
	M1	18	1,6	223°16'56.0000	29,44	-1,244	PARAM
	M1	19	1,6	225°18'13.0000	27,516	-0,005	PARAM
	M1	20	1,6	240°50'00.0000	18,602	0,125	PARAM
	M1	21	1,6	245°32'44.0000	17,146	-0,047	PARAM
	M1	22	1,6	249°09'58.0000	18,405	0,182	PARAM
	M1	23	1,6	256°08'56.0000	16,561	0,037	PARAM
	M1	24	1,6	261°23'27.0000	15,741	0,061	PARAM
	M1	25	1,6	265°11'02.0000	18,24	0,21	PARAM
	M1	26	1,6	277°45'39.0000	14,284	0,208	PARAM
	M1	27	1,6	283°43'03.0000	14,105	0,067	PARAM
	M1	28	1,6	295°25'13.0000	14,485	0,006	PARAM

	M1	29	1,6	296°37'05.0000	12,78	0,042	PARAM
	M1	30	1,6	305°46'28.0000	13,262	0,084	PARAM
	M1	31	1,6	341°02'20.0000	21,015	0,079	PARAM
	M1	32	1,6	344°19'29.0000	22,793	0,188	PARAM
	M1	M3	1,557	203°14'26.0000	30,009	-0,15	DEL
<b>1,51</b>	M3	M1	1,6	359°59'59.0000	30,004	0,324	DEL
	M3	D1	1,6	260°07'52.0000	22,922	-4,161	DEL
	M3	33	1,6	277°58'25.0000	16,708	-3,37	PARAM
	M3	34	0,6	285°11'49.0000	11,004	-2,089	PARAM
	M3	35	1,6	274°47'38.0000	21,633	-4,238	PARAM
	M3	36	1,6	274°37'12.0000	22,087	-4,275	PARAM
	M3	37	1,6	273°44'09.0000	25,899	-4,392	PARAM
	M3	38	1,6	272°00'01.0000	25,804	-4,414	PARAM
	M3	39	1,6	241°10'42.0000	19,057	-4,239	PARAM
	M3	40	1,6	262°19'29.0000	16,078	-3,154	PARAM
	M3	41	1,6	269°00'53.0000	15,842	-3,165	PARAM
	M3	42	1,6	263°03'28.0000	17,587	-3,171	PARAM
	M3	43	1,6	256°32'17.0000	14,195	-2,483	ARBOL
	M3	44	1,6	255°01'34.0000	10,162	-1,391	ARBOL
	M3	45	1,6	246°10'23.0000	5,715	-0,598	ARBOL
	M3	46	1,6	216°48'21.0000	7,063	-0,64	ARBOL
	M3	47	1,6	231°16'56.0000	10,729	-1,514	ARBOL
	M3	48	1,6	238°20'42.0000	14,339	-2,928	ARBOL
<b>1,53</b>	D1	M3	1,6	0°00'01.0000	22,917	4,289	DEL
	D1	49	1,6	230°14'13.0000	7,117	-0,264	PARAM
	D1	D2	1,6	227°26'57.0000	20,252	-0,297	DEL
<b>1,482</b>	D2	D1	1,6	0°00'00.0000	20,25	0,483	DEL
	D2	50	1,6	352°16'59.0000	12,122	0,051	PARAM
	D2	51	1,6	329°47'11.0000	10,127	0,02	PARAM
	D2	52	1,6	319°38'00.0000	9,903	0,122	PARAM
	D2	53	1,6	315°37'29.0000	10,737	0,028	PARAM
	D2	D3	1,6	186°55'38.0000	16,143	0,013	DEL
	D2	54	1,6	227°40'53.0000	1,421	0,531	PARAM
<b>1,484</b>	D3	D2	1,6	359°59'59.0000	16,142	0,225	DEL
	D3	55	1,6	359°16'27.0000	15,916	0,221	PARAM
	D3	56	1,6	356°31'12.0000	11,284	0,283	PARAM

	D3	57	1,6	350°36'41.0000	10,234	0,157	PARAM
	D3	D4	1,6	249°36'10.0000	18,217	0,177	DEL
	D3	58	1,6	345°13'13.0000	9,943	0,206	PORTON
	D3	59	0	331°35'23.0000	8,737	-1,341	PORTON
	D3	60	0	325°49'51.0000	8,104	-1,358	PARAM
	D3	61	0	315°21'12.0000	7,846	-1,347	PARAM
	D3	62	1,6	294°18'23.0000	8,127	0,179	PARAM
	D3	63	1,6	283°56'27.0000	8,731	0,182	PARAM
	D3	64	1,6	280°01'05.0000	9,413	0,21	PORTON
	D3	65	1,6	268°34'58.0000	10,884	0,215	PORTON
	D3	66	1,6	263°52'21.0000	11,332	0,156	PARAM
	D3	67	1,6	258°47'29.0000	12,493	0,198	PARAM
	D3	68	1,6	134°57'09.0000	3,509	-0,423	PARAM
<b>1,57</b>	D4	D3	1,6	359°59'59.0000	18,211	-0,033	DEL
	D4	D5	1,6	181°16'06.0000	23,13	2,732	DEL
	D4	69	1,6	315°00'50.0000	6,357	0,068	PARAM
	D4	70	1,6	307°00'53.0000	3,734	0,037	PARAM
	D4	71	1,6	296°47'30.0000	2,811	0,075	PARAM
	D4	72	1,6	257°56'04.0000	7,824	0,064	PORTON
	D4	73	1,6	253°14'27.0000	10,575	0,064	PORTON
	D4	74	1,6	251°17'43.0000	12,606	0,079	PORTON
	D4	75	1,6	249°47'56.0000	14,644	0,093	PORTON
	D4	76	1,6	239°29'20.0000	14,734	0,081	PORTON
	D4	77	1,6	232°12'48.0000	14,852	0,078	PORTON
	D4	78	1,6	230°17'08.0000	14,704	0,086	PORTON
	D4	79	1,6	228°31'20.0000	12,616	0,076	PORTON
	D4	80	1,6	249°25'16.0000	14,903	0,087	PARAM
	D4	81	1,6	230°28'46.0000	14,955	0,08	PARAM
	D4	82	1,6	227°12'16.0000	11,779	0,044	PARAM
	D4	83	1,6	203°14'06.0000	14,39	0,13	PARAM
	D4	84	1,6	203°14'07.0000	14,391	0,133	PARAM
	D4	84	1,6	208°44'36.0000	13,458	0,061	PARAM
	D4	85	1,6	212°08'10.0000	13,059	0,455	PARAM
	D4	86	1,6	200°15'34.0000	15,061	0,284	MURO
	D4	87	1,6	199°53'04.0000	15,053	0,124	BV
	D4	88	1,6	186°26'10.0000	15,121	0,168	BV

	D4	89	1,6	101°17'10.0000	1,449	0,016	BV
<b>1,5</b>	D5	D4	1,6	0°00'00.0000	23,135	-2,611	DEL
	D5	M2	1,6	222°56'26.0000	19,406	2,28	DEL
	D5	90	1,6	211°24'07.0000	17,226	0,801	MURO
	D5	91	1,6	210°50'11.0000	17,215	0,659	BV
	D5	92	1,6	199°15'47.0000	16,636	0,751	BV
	D5	93	1,6	205°07'17.0000	23,849	1,981	BV
	D5	94	1,6	196°37'06.0000	23,719	1,737	BV
	D5	95	1,6	195°15'07.0000	28,955	2,448	BV
	D5	96	1,6	192°00'14.0000	30,979	2,405	BV
	D5	97	1,6	200°57'15.0000	35,912	2,374	BV
	D5	98	1,6	196°47'47.0000	15,016	0,839	RREJA
	D5	99	1,6	180°24'45.0000	11,525	1,03	MURO
	D5	100	1,6	317°47'58.0000	11,189	-0,171	PARAM
	D5	101	0	311°20'48.0000	11,245	0,835	PARAM
	D5	102	1,6	307°29'27.0000	11,549	1,277	PARAM
<b>1,56</b>	M2	D5	1,6	359°59'59.0000	19,398	-2,156	DEL
	M2	M1	1,6	268°27'47.0000	37,45	0,061	DEL
	M2	103	1,6	298°37'56.0000	17,054	0,148	PORTON
	M2	104	1,6	310°48'25.0000	18,338	0,169	PORTON
	M2	105	1,6	322°54'38.0000	12,672	0,15	BV
	M2	106	1,6	302°05'40.0000	13,393	0,093	BV
	M2	107	1,6	325°01'23.0000	11,471	0,134	BV
	M2	108	1,6	298°47'30.0000	11,765	0,089	BV
	M2	109	1,6	325°48'31.0000	9,992	0,116	BV
	M2	110	1,6	272°11'27.0000	8,289	0,01	BV
	M2	111	1,6	159°08'52.0000	2,852	0,071	BV

## CARTERA DE COORDENADAS

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
1	1281712,94	1105612,47	982,261	BV
2	1281705,73	1105612,55	982,265	BV
3	1281713,7	1105580,33	982,093	BV
4	1281706,52	1105580,87	982,103	BV
5	1281704,36	1105580,87	982,248	ANDEN
6	1281703,52	1105611,92	982,291	ANDEN
7	1281704,11	1105575,4	982,199	ANDEN
8	1281706,29	1105575,08	982,082	BV
9	1281713,21	1105573,37	982,055	BV
10	1281703,11	1105570,21	982,153	ANDEN
11	1281705,09	1105569,25	982,048	BV
12	1281710,66	1105562,9	982,022	BV
13	1281703,44	1105564,49	981,973	BV
14	1281701,29	1105564,97	982,123	ANDEN
15	1281706,44	1105554,55	981,931	BV
16	1281698,79	1105560,08	982,083	ANDEN
17	1281700,41	1105558,39	981,956	BV
18	1281717,04	1105558,61	980,941	PARAM
19	1281717,05	1105560,78	982,18	PARAM
20	1281716,89	1105571,58	982,31	PARAM
21	1281716,85	1105573,65	982,138	PARAM
22	1281718,54	1105573,71	982,367	PARAM
23	1281718,22	1105576,51	982,222	PARAM
24	1281718,2	1105578,2	982,246	PARAM
25	1281720,94	1105578,22	982,395	PARAM
26	1281718,1	1105582,71	982,393	PARAM
27	1281718,08	1105584,2	982,252	PARAM
28	1281718,33	1105587,12	982,191	PARAM
29	1281716,6	1105587,14	982,227	PARAM
30	1281716,56	1105589,27	982,269	PARAM
31	1281716,34	1105602,01	982,264	PARAM

32	1281716,3	1105604,19	982,373	PARAM
33	1281723,45	1105559,26	978,618	PARAM
34	1281717,49	1105559,18	980,899	PARAM
35	1281728,48	1105559,3	977,749	PARAM
36	1281728,94	1105559,32	977,713	PARAM
37	1281732,76	1105559,64	977,596	PARAM
38	1281732,79	1105558,85	977,574	PARAM
39	1281724,84	1105547,84	977,749	PARAM
40	1281723,32	1105554,76	978,833	PARAM
41	1281723,02	1105556,61	978,823	PARAM
42	1281724,83	1105554,94	978,817	PARAM
43	1281721,33	1105553,38	979,505	ARBOL
44	1281717,29	1105553,62	980,596	ARBOL
45	1281712,69	1105553,44	981,389	ARBOL
46	1281712,07	1105550	981,348	ARBOL
47	1281716,3	1105549,4	980,474	ARBOL
48	1281720,2	1105549,01	979,06	ARBOL
49	1281735,02	1105558,88	977,492	PARAM
50	1281734,95	1105560,58	977,392	PARAM
51	1281734,9	1105565,34	977,362	PARAM
52	1281734,86	1105567,13	977,463	PARAM
53	1281734,01	1105567,83	977,369	PARAM
54	1281744,71	1105569,14	977,872	PARAM
55	1281744,73	1105568,03	977,459	PARAM
56	1281747,3	1105571,93	977,521	PARAM
57	1281747,28	1105573,46	977,395	PARAM
58	1281746,91	1105574,38	977,444	PORTON
59	1281746,88	1105576,9	977,497	PORTON
60	1281747,19	1105577,91	977,48	PARAM
61	1281747,16	1105579,39	977,491	PARAM
62	1281747,11	1105582,32	977,417	PARAM
63	1281747,07	1105583,95	977,42	PARAM
64	1281746,75	1105584,82	977,448	PORTON

65	1281746,71	1105587,31	977,453	PORTON
66	1281747,01	1105588,29	977,394	PARAM
67	1281747,01	1105589,86	977,436	PARAM
68	1281758,45	1105580,56	976,815	PARAM
69	1281744,16	1105589,79	977,452	PARAM
70	1281744,33	1105592,5	977,421	PARAM
71	1281744,24	1105593,58	977,459	PARAM
72	1281738,34	1105593,49	977,449	PORTON
73	1281735,49	1105593,46	977,448	PORTON
74	1281733,42	1105593,4	977,463	PORTON
75	1281731,35	1105593,37	977,477	PORTON
76	1281731,03	1105595,99	977,466	PORTON
77	1281731,04	1105597,87	977,462	PORTON
78	1281731,26	1105598,34	977,471	PORTON
79	1281733,39	1105598,38	977,46	PORTON
80	1281731,08	1105593,42	977,472	PARAM
81	1281731	1105598,33	977,464	PARAM
82	1281734,26	1105598,49	977,428	PARAM
83	1281734,19	1105604,49	977,515	PARAM
84	1281734,18	1105603,67	977,48	PARAM
85	1281734,19	1105601,98	977,84	PARAM
86	1281734,13	1105605,51	977,668	MURO
87	1281734,2	1105605,58	977,508	BV
88	1281736,72	1105608,06	977,553	BV
89	1281746,85	1105596,9	977,401	BV
90	1281718,3	1105623,47	980,818	MURO
91	1281718,39	1105623,61	980,675	BV
92	1281720,75	1105626,15	980,767	BV
93	1281713,71	1105628,73	981,998	BV
94	1281715,96	1105631,45	981,753	BV
95	1281712,53	1105635,45	982,465	BV
96	1281712,29	1105638,08	982,421	BV
97	1281705,14	1105637,48	982,391	BV

<b>98</b>	1281722,42	1105625,62	980,855	RREJA
<b>99</b>	1281727,54	1105625,42	981,046	MURO
<b>100</b>	1281731,59	1105604,65	979,845	PARAM
<b>101</b>	1281730,35	1105604,89	982,451	PARAM
<b>102</b>	1281729,53	1105604,86	981,293	PARAM
<b>103</b>	1281718,83	1105604,21	982,398	PORTON
<b>104</b>	1281722,79	1105604,25	982,419	PORTON
<b>105</b>	1281722,65	1105610,76	982,399	BV
<b>106</b>	1281718,78	1105607,99	982,342	BV
<b>107</b>	1281722,25	1105611,98	982,384	BV
<b>108</b>	1281717,66	1105609,37	982,338	BV
<b>109</b>	1281721,41	1105613,2	982,366	BV
<b>110</b>	1281713,04	1105612,75	982,259	BV
<b>111</b>	1281712,65	1105622,51	982,321	BV
<b>D1</b>	1281730,12	1105553,71	977,826	DEL
<b>D2</b>	1281744,74	1105567,72	977,459	DEL
<b>D3</b>	1281754,96	1105580,22	977,354	DEL
<b>D4</b>	1281745,77	1105595,94	977,414	DEL
<b>D5</b>	1281733,65	1105615,64	980,116	DEL
<b>M1</b>	1281704	1105585	982,296	DEL
<b>M2</b>	1281714,95	1105620,82	982,29	DEL
<b>M3</b>	1281707,25	1105555,17	982,078	DEL