

**APLICACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER TERRESTRE EN LA DOCUMENTACIÓN
DE EDIFICIOS EMBLEMÁTICOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

YURLEY ROJAS GELVEZ

HELMER CORDERO REBOLLEDO

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

2016

**APLICACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER TERRESTRE EN LA DOCUMENTACIÓN
DE EDIFICIOS EMBLEMÁTICOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

YURLEY ROJAS GELVEZ

HELMER CORDERO REBOLLEDO

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

Director:

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

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

2016

DEDICATORIA

*A nuestras familias por su apoyo
incondicional especialmente a nuestros padres,
quienes día a día se han esforzado
por brindarnos lo mejor,
a ellos dedicamos este proyecto que
culmina nuestro paso por la universidad
y define nuestra formación como ingenieros.
A todos los que aportaron conocimiento,
tiempo y esfuerzo para que este proyecto
se llevara a cabo,
sin lugar a dudas fue un gran aprendizaje
no sólo para nosotros sino también
para todos aquellos que en algún
momento se involucraron y
nos aportaron sus valiosas experiencias.*

Yurley y Helmer

AGRADECIMIENTOS

*A Dios, a nuestros padres
Y a todos los profesionales
Que colaboraron directa e
indirectamente en la realización
de este proyecto
Especialmente agradecemos
a la Universidad Industrial de Santander
por su formación académica e integral,
resaltamos también el apoyo del grupo
de investigación Geomática
de los ingenieros Jesús, Duvan, Gustavo, Ludving
y Omar Gallo pertenecientes a este.
A el director del proyecto,
el profesor Jhon Jairo Cáceres,
por su guía durante el desarrollo de esta tesis.*

Yurley y Helmer

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág |
|--|-----|
| INTRODUCCIÓN..... | 19 |
| 1. OBJETIVOS..... | 20 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL..... | 20 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 20 |
| 2. DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DE ALTA DEFINICIÓN..... | 21 |
| 3. ESCANEADO LÁSER..... | 22 |
| 4. TIPO DE ESCANER LÁSER..... | 23 |
| 4.1 CLASIFICACIÓN POR MÉTODO DE MEDICIÓN..... | 23 |
| 4.1.1 Mediciones con láser por triangulación..... | 23 |
| 4.1.2 Mediciones con láser por tiempo de vuelo..... | 24 |
| 4.1.3 Mediciones con láser por diferencia de fase..... | 25 |
| 4.2 CLASIFICACIÓN POR CAMPO DE ACCIÓN..... | 25 |
| 4.2.1 Escáner estático..... | 25 |
| 4.2.2 Escáner dinámico..... | 26 |
| 4.3 APLICACIONES DEL ESCANEADO LÁSER TERRESTRE..... | 27 |
| 4.3.1 Industria..... | 27 |
| 4.3.2 Patología estructural..... | 28 |
| 4.3.3 Cartografía..... | 28 |
| 4.3.4 Ingeniería civil..... | 28 |
| 4.3.5 Arquitectura..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 4.3.6 Topografía..... | 28 |
| 4.3.7 Minería..... | 28 |
| 4.3.8 Conservación del patrimonio..... | 28 |
| 5. ERRORES PRESENTES EN LEVANTAMIENTO CON ESCÁNER LÁSER..... | 30 |
| 5.1 ERRORES INSTRUMENTALES..... | 30 |
| 5.1.1 Propagación del haz láser-..... | 30 |
| 5.1.2 Error del borde partido..... | 31 |
| 5.1.3 Ambigüedad angular..... | 31 |
| 5.1.4 Errores en los ejes de un escáner láser terrestre..... | 31 |
| 5.1.5 Errores relacionados con los objetos..... | 31 |
| 5.2 ERRORES POR EL ENTORNO..... | 32 |
| 5.2.1 Temperatura..... | 32 |
| 5.2.2 Atmósfera..... | 32 |
| 5.2.3 Distorsión de los datos por movimiento..... | 32 |
| 5.2.4 Errores metodológicos..... | 32 |
| 6. ESCANEADO LÁSER COMO TÉCNICA DE DOCUMENTACIÓN HISTÓRICA DE EDIFICIOS..... | 34 |
| 6.1 IMPORTANCIA DE LA DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL..... | 34 |
| 6.2 VENTAJAS DE LA DOCUMENTACIÓN HISTORICA CON ESCÁNER LÁSER..... | 35 |
| 7. TEORÍA DEL ESCANEADO LÁSER EN LA PRÁCTICA..... | 37 |
| 7.1 PLANIFICACIÓN..... | 37 |
| 7.2 DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS..... | 37 |
| 7.3 PLANIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 7.3.1 Recopilación de información primaria..... | 38 |
| 7.3.2 Determinación de la técnica de registro y georreferenciación a utilizar..... | 38 |
| 7.3.3 Registro y georreferenciación indirecta..... | 38 |
| 7.3.4 Registro y georreferenciación directa..... | 39 |
| 7.3.5 Determinación de las posiciones de escaneo y ubicación de los puntos de control | 40 |
| 7.3.6 Elección del patrón de escaneo..... | 40 |
| 7.3.7 Almacenamiento y procesamiento de los datos..... | 41 |
| 8. CASO DE ESTUDIO..... | 42 |
| 8.1 PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA..... | 42 |
| 8.2 OBJETIVO..... | 42 |
| 8.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA..... | 42 |
| 8.3.1 Localización general del área de estudio..... | 42 |
| 8.3.2 Inspección visual..... | 43 |
| 8.4 DETERMINACIÓN DE LA TÉCNICA DE REGISTRO Y GEORREFERENCIACIÓN A UTILIZAR..... | 48 |
| 8.4.1 Técnica de registro..... | 49 |
| 8.4.2 Técnica de georreferenciación..... | 50 |
| 8.5 DETERMINACIÓN DE LAS POSICIONES DE ESCANEO Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL..... | 50 |
| 8.6 ELECCIÓN DEL PATRON DE ESCANEO..... | 52 |
| 8.7 ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS..... | 52 |
| 8.8 DESARROLLO DEL TRABAJO DE CAMPO..... | 53 |
| 8.8.1 Lista de chequeo..... | 53 |
| 8.8.2 Levantamiento de los puntos de control con el sistema RTK..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 8.8.3. Ubicación de las dianas de control..... | 58 |
| 8.8.4 Ubicación de la posición de..... | 58 |
| 8.8.5 Conexión del escáner..... | 59 |
| 8.8.6 Ajustes en la configuración del escáner y del computador..... | 60 |
| 8.8.7 Escaneo General..... | 60 |
| 8.8.8 Extracción y escaneo fino de objetos reflectantes..... | 63 |
| 8.9 PROCESAMIENTO EN OFICINA DE LA NUBE DE PUNTOS..... | 65 |
| 8.9.1 Descarga y preparación de los datos para el procesamiento..... | 65 |
| 8.9.2 Asignación de color a las nubes de puntos..... | 65 |
| 8.9.3 Georreferenciación..... | 66 |
| 8.9.4 Registro de la nube de puntos..... | 71 |
| 8.9.5 Error de la georreferenciación..... | 74 |
| 8.9.6 Mejora de datos (filtrado)..... | 74 |
| 8.9.7 Resultados..... | 75 |
| 9. CONCLUSIONES..... | 76 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 78 |
| ANEXOS..... | 80 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág |
|--|------------|
| Tabla 1. Propiedades generales “PANORAMA 60” | 52 |
| Tabla 2. Valores de RMSE para latitud, longitud y altura..... | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Medición con láser por triangulación..... | 23 |
| Figura 2. Medición por tiempo de vuelo..... | 24 |
| Figura 3. Escáner estático..... | 26 |
| Figura 4. Escáner Dinámico..... | 27 |
| Figura 5. Técnicas de registro..... | 40 |
| Figura 6. Localización espacial edificio de ingeniería mecánica..... | 43 |
| Figura 7. Fachadas edificio ingeniería mecánica..... | 44 |
| Figura 8. Muros perimetrales costado oriental..... | 44 |
| Figura 9. Plano en planta del primer piso edificio ingeniería mecánica..... | 45 |
| Figura 10. Corte y fachada del edificio de ingeniería mecánica..... | 45 |
| Figura 11. Detalle mural en cerámica..... | 46 |
| Figura 12. Detalle corte edificio..... | 46 |
| Figura 13. Imágenes antiguas edificio de ingeniería mecánica..... | 47 |
| Figura 14. Vista aérea edificio mecánica..... | 48 |
| Figura 15. Distribución de <i>tiepoints</i> en la escena..... | 49 |
| Figura 16. Interfaz gráfica topoPLANNER..... | 51 |
| Figura 17. Posiciones de escaneo..... | 51 |
| Figura 18. Detalle equipo RTK..... | 54 |
| Figura 19. Detalle rover y estación..... | 54 |
| Figura 20. Sistema RTK en funcionamiento..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 21. Interfaz colector RTK..... | 56 |
| Figura 22. Configuración base y rover RTK..... | 57 |
| Figura 23. Toma de puntos con sistema RTK..... | 57 |
| Figura 24. <i>Targets</i> y cilindro reflectante..... | 58 |
| Figura 25. Orden de posiciones de escaneo..... | 58 |
| Figura 26. Montaje de la cámara..... | 59 |
| Figura 27. Montaje de estación de trabajo y cilindro reflectante..... | 60 |
| Figura 28. Ventana proyecto nuevo, Riscan Pro..... | 61 |
| Figura 29. Configuración modelo de la cámara..... | 61 |
| Figura 30. Procedimiento para escaneo..... | 62 |
| Figura 31. Avance de escaneo..... | 62 |
| Figura 32. Extracción objetos reflectantes..... | 63 |
| Figura 33. Vista objetos reflectantes..... | 63 |
| Figura 34. Elección de objetos reflectantes..... | 64 |
| Figura 35. Nube de puntos de color real..... | 65 |
| Figura 36. Puntos RTK, estación 4..... | 66 |
| Figura 37. Interfaz gráfica software Beta Magna pro3..... | 67 |
| Figura 38. Coordenadas en bloc de notas..... | 68 |
| Figura 39. Importe de coordenadas..... | 68 |
| Figura 40. Ventana de asignación de coordenadas..... | 69 |
| Figura 41. Ventana asignación cilindro correspondiente..... | 70 |
| Figura 42. Vista nube de puntos en coordenadas reales..... | 70 |
| Figura 43. Ventana de registro..... | 71 |
| Figura 44. Puntos en común encontrados entre nubes de puntos..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Figura 45. Parámetro <i>MultiStation adjustment</i> | 73 |
| Figura 46. Resultados parámetro <i>MultiStation Adjustment</i> | 73 |
| Figura 47. Filtrado de datos..... | 75 |
| Figura 48. Resultado..... | 75 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág |
|---|-----|
| Anexo A. Diferentes imágenes del modelo tridimensional generado..... | 80 |
| Anexo B. Diferentes filtros aplicados sobre la nube de puntos..... | 82 |

RESUMEN

TÍTULO:

APLICACIÓN DEL ESCÁNER LÁSER TERRESTRE EN LA DOCUMENTACIÓN DE EDIFICIOS EMBLEMÁTICOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO DE INGENIERÍA MECÁNICA¹

AUTORES:

YURLEY ROJAS GELVEZ
HELMER CORDERO REBOLLEDO²

PALABRAS CLAVE:

Escáner, Georreferenciación, Nube de puntos, Documentación, Metodología.

DESCRIPCIÓN

El presente documento tiene como objetivo hacer un recorrido por el estado del arte de la documentación histórica de edificios con escáner láser terrestre; las fuentes de los errores que se pueden presentar igualmente, las técnicas de registro y georreferenciación existentes. Luego proponer una metodología detallada de cómo desarrollar el trabajo en campo y el procesamiento de los datos obtenidos utilizando como caso de estudio uno de los edificios emblemáticos de la Universidad Industrial de Santander como lo es el edificio de Ingeniería Mecánica.

El escáner láser terrestre es una tecnología nueva que se ha venido posicionando como un equipo habitual en todo tipo de proyectos de ingeniería. Con aplicaciones en diversas áreas, como son: topografía, minería, cartografía, arquitectura, en la documentación de accidentes de tránsito, y muchas otras aplicaciones en las que se puede utilizar este equipo

Además por la gran captura de detalles que se obtiene cuando se realizan escaneos con estos equipos y que se pueden obtener modelos tridimensionales que son fieles reflejos del objeto o estructura objeto de estudio, se ha trasladado con gran éxito al campo de la conservación del patrimonio cultural, revolucionando la forma como se documentaban estos objetos o estructuras. Todo esto pese al gran costo de adquisición de estos equipos y a la alta demanda de software especializado para el procesamiento de los datos obtenidos.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director PhD. Jhon Jairo Cáceres Jiménez

ABSTRACT

TITLE:

APPLICATION OF THE TERRESTRIAL LASER SCANNER IN THE DOCUMENTATION OF BUILDING EMBLEMATIC OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER , CASE STUDY: BUILDING MECHANICAL ENGINEERING¹

AUTHORS:

YURLEY ROJAS GELVEZ
HELMER CORDERO REBOLLEDO²

KEYWORDS:

Scanner, Georeferencing, Point Cloud, Documentation, Methodology

DESCRIPTION:

This document aims to take a trip through the state of the art of the historical documentation of buildings with terrestrial laser scanner, the sources of the mistakes that they can present likewise the existing registration techniques and georeferencing. Then propose a detail methodology about how to develop the work in field and the processing of data obtained using as case study one of the emblematic buildings of the Universidad Industrial de Santander like it is the mechanical engineering building.

The terrestrial laser scanner is a new technology that has been positioning itself as a regular equipment in all types of engineering projects . With applications in diverse areas , such as: topography, mining, cartography , architecture, documentation tansito accidents and many other applications where you can use this computer

In addition to the large capture datalles obtained when scans are performed with these teams and obtainable three-dimensional models that are true reflections of the object or structure under study, it has been moved successfully to the field of conservation of cultural heritage revolutionizing the way these objects or structures are documented . All this despite the high cost of acquiring this equipment and the high demand for specialized software for processing the data.

¹ Bachelor thesis

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director PhD. Jhon Jairo Cáceres Jiménez

INTRODUCCIÓN

El escáner láser terrestre es un instrumento que se ha venido posicionando como un equipo habitual en proyectos de ingeniería con aplicaciones en diversas áreas, además se ha trasladado con gran éxito al campo de la conservación del patrimonio cultural. Todo esto pese al gran costo de adquisición de estos equipos y a la alta demanda de software especializado para el procesamiento de los datos obtenidos.

En el ámbito de la preservación histórica y arquitectónica de edificios representativos para la sociedad, esta tecnología puede usarse como referencia de su estado original, así como para documentar futuros procesos de restauración, como base para realizar estudios posteriores del proceso de deterioro sufrido hasta la actualidad ayudando así a su conservación y con ella su historia, prestigio por su antigüedad y por todos los sucesos que allí han ocurrido. También se puede considerar que son las expresiones de quienes ayudaron en el proceso de crecimiento del entorno en donde fueron construidos. No solo se quiere resaltar el origen de la construcción, sino también a quienes han sido sus ocupantes en todo el tiempo que han estado en uso, igualmente busca darle importancia a los diferentes usos que ha tenido con el paso de los años. De igual manera se busca almacenar evidencia de todos estos sucesos y poder brindar material de alta calidad a las generaciones futuras sobre las obras existentes en nuestro tiempo.

Los modelos digitales obtenidos además de tener los usos anteriormente descritos, también se pueden utilizar como base para hacer planeación de renovación urbana, planeación de rutas de emergencia, simulaciones de restauración sin tener que intervenir directamente la estructura, igualmente se pueden encontrar daños estructurales que a simple vista no pueden ser vistos, entre muchos otros campos en los que pueden ser útiles estos modelos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un modelo digital tridimensional a nivel de detalle, con el estado actual del edificio de ingeniería mecánica, utilizando el escáner laser terrestre RIEGL VZ-400.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir la metodología a utilizar para la toma de datos en campo con el escáner laser terrestre.

- Modelar tridimensionalmente los levantamientos realizados tratando de minimizar los errores generados con la unión entre estaciones.

2. DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DE ALTA DEFINICIÓN-ESCÁNER LASER

De acuerdo con Mañana-Borrazas patricia et al, en su “experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido”, 2008. Se denomina Documentación Geométrica de Alta Definición al método de medición no intrusivo que permite una captura de información rápida, detallada y precisa de una superficie o volumen por medio de una herramienta basada en la tecnología de escáner con láser, un instrumento de registro que también es denominado como Láser Escáner.

El Láser Escáner realiza un barrido de una superficie captando miles de puntos por segundo con un haz de láser en abanico. Como resultado final se obtiene una nube de puntos 3D compuesta por cientos de miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas (x, y, z), que en sí mismas componen un modelo tridimensional de los objetos registrados, aunque, como tal conjunto de puntos sin procesado posterior, son un modelo muy simplificado que opera sólo visualmente, pues se compone únicamente de entidades singulares tipo punto. Además, esta visualización puede llegar a alcanzar gran realismo ya que estos puntos pueden reflejar el color de la superficie registrada.

La obtención de color es posible debido a que estos modelos de escáner láser generalmente incorporan una cámara fotográfica de alta resolución, calibrada de tal forma que se pueda asignar a cada punto el color del pixel correspondiente de la fotografía.

3. ESCANEADO LÁSER

Lerma García y Biosca Tarongers en su libro “teoría y práctica del escaneado laser terrestre”, 2008, lo describen como un método mediante el cual una superficie se muestrea o escanea usando tecnología láser. Se analiza un entorno u objeto real para tomar datos sobre su forma y, posiblemente, su apariencia (por ejemplo el color).

Los datos capturados pueden ser usados más tarde para realizar reconstrucciones digitales, planos bidimensionales o modelos tridimensionales útiles en una gran variedad de aplicaciones.

La ventaja del escaneado láser radica en que puede tomar una gran cantidad de puntos con una alta precisión en un periodo de tiempo relativamente corto. Es como tomar una fotografía con información de profundidad; y al igual que en el caso de la fotografía, los escáneres láser son instrumentos de línea de vista; por tanto, es necesario realizar múltiples capturas desde diferentes estaciones para garantizar una cobertura completa de una estructura.

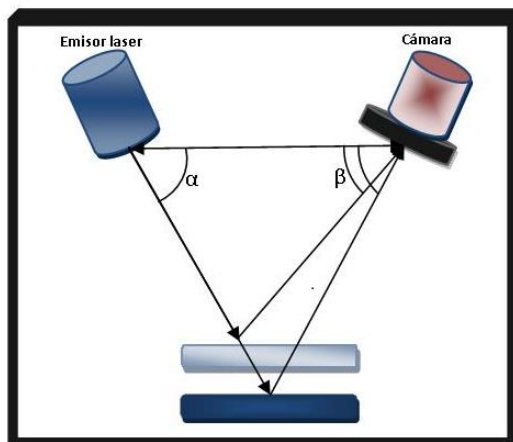
4. TIPOS DE ESCÁNER LÁSER

Esta clasificación se toma de acuerdo con la planteada por Lerma García y Biosca Tarongers en su libro “teoría y práctica del escaneado láser terrestre”, 2008. Dicen que las mediciones con escáner láser se pueden clasificar principalmente de dos formas: por la tecnología con la que se hace la medición y de acuerdo con el campo de acción.

4.1 CLASIFICACIÓN POR MÉTODO DE MEDICIÓN

4.1.1 Mediciones con láser por triangulación: La medición por triangulación se basa en fundamentos geométricos, este sistema se forma con un emisor láser, un sensor y un dispositivo para procesar la señal recibida.

Figura 1: Medición con láser por triangulación



Como se observa en la figura 1, la distancia entre el emisor láser y la cámara es conocida, igualmente el ángulo del emisor láser. El ángulo de la cámara puede ser determinado encontrando la localización del haz láser en el campo de visión de la cámara. Estos tres elementos determinan completamente la forma y el tamaño del triángulo y proporcionan la profundidad exacta del objeto medido.

4.1.2 Mediciones con láser por tiempo de vuelo: Las mediciones por tiempo de vuelo, figura 2., también utilizan la emisión-recepción de un haz láser calculando la distancia hasta el objeto con el tiempo que tarda en ir y volver a la fuente el pulso láser. Esta distancia puede calcularse de la siguiente forma:

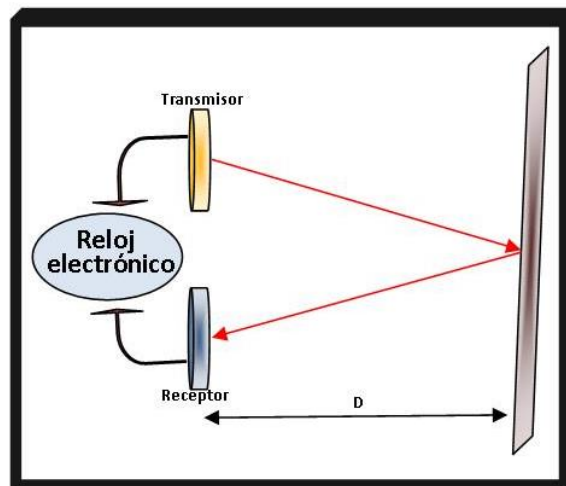
$$D = \frac{c * t}{2}$$

Donde:

c =velocidad de la luz en el aire

t = tiempo que tarda el pulso láser en ir a volver

Figura 2: medición por tiempo de vuelo



Es muy importante para este tipo de tecnología que el reloj electrónico interno este calibrado de tal forma que pueda tomar tiempos lo suficientemente pequeños, este es quizá uno de los factores más importantes en estos equipos ya que si se toma que la luz en el aire tarda cerca de 3.33 nanosegundos en recorrer un metro, para obtener precisiones de 1mm, se necesitaría un reloj capaz de medir intervalos de tiempo de alrededor de 3.33 picosegundos.

Otra de la particularidades de estos equipos es que no se suelen usar emisiones de un haz continuo sino discreto, es decir, son pulsos de láser intermitentes donde una segunda medida se realiza luego de terminada la primera.

4.1.3 Mediciones con láser por diferencia de fase: Estos sistemas también utilizan un emisor y un receptor de rayo láser, pero para evitar el uso de relojes de alta precisión el principio que estos utilizan es el de identificar para una onda electromagnética sinusoidal la diferencia de fase entre la onda de salida y la de llegada. Conociéndose la longitud de onda (λ) del láser emitido y sabiendo que la onda completa corresponde a una diferencia de fase 2π radianes, la longitud recorrida en la ida y vuelta podrá obtenerse con la expresión:

$$d = \frac{\lambda * \Delta\pi}{2 * \pi}$$

Siendo: d = distancia recorrida en ida y vuelta

λ = longitud de onda

$\Delta\pi$ = diferencia de fase

Una de las desventajas es que es necesario que la onda sea continua y esto equivale a un mayor gasto energético en comparación al sistema basado en tiempo de vuelo.

4.2 CLASIFICACIÓN POR CAMPO DE ACCIÓN

4.2.1 Escáner estático: En el escaneo estático figura 3., el escáner se mantiene en una posición fija durante toda la toma de datos. Este método de escaneo tiene algunas ventajas frente al escaneo dinámico como son la alta precisión y la alta densidad de puntos que se obtiene.

Este método suele ser el más utilizado a la hora de realizar escaneos terrestres. Sin embargo cabe aclarar que no todos los escaneos láser terrestres son estáticos.

Figura 3: Escáner estático



4.2.2 Escáner dinámico: En el caso del escaneado láser dinámico, el equipo se suele montar en una plataforma móvil. Estos sistemas requieren otros sistemas de posicionamiento adicionales tales como INS* o GPS**, lo que hace que el sistema completo sea más complejo y costoso. Una de sus principales ventajas es que se pueden cubrir áreas mucho más extensas que con un escáner estático en la misma unidad de tiempo.

* Sistema de navegación inercial

**Sistema de posicionamiento global

Un claro ejemplo del escáner láser dinámico lo encontramos en aviones (láser escáner aerotransportado), o escáneres sobre vehículos y plataformas aéreas no tripuladas.

Figura 4: escáner dinámico



Fuente: Recurso electrónico: <http://www.cotecmi.com/#!escaner-6/cawd>, consultado en octubre de 2015

4.3 APLICACIONES DEL ESCANEADO LÁSER TERRESTRE

La tecnología de escáner láser terrestre actualmente sigue en constante evolución y cada día surgen nuevas aplicaciones que abarcan diversas áreas del conocimiento. A continuación se describirán algunas de las aplicaciones en las que el escáner láser ha tomado mayor relevancia.

4.3.1 Industria: Mediante el registro de plantas y refinerías, en las cuales sería muy difícil generar planos de manera tradicional debido a que en estos lugares se suelen encontrar muchos elementos como: tubería, tanques, depósitos y maquinaria que dificultan esta tarea.

4.3.2 Patología estructural: Debido al alto grado de detalle que se obtiene de la estructuras, se pueden examinar minuciosamente y llevar control de diversas patologías que puedan sufrir, además de contar con herramientas para toma de medidas correctivas y elaborar diagnósticos.

4.3.3 Cartografía: Se pueden generar modelos de ciudades en tres dimensiones, obtener modelos de curvas de nivel, además de poder georreferenciar estas zonas.

4.3.4 Ingeniería civil: Para la determinación sin contacto de geometría de elementos estructurales como cerchas metálicas, vigas, columnas, luces de puentes, así como la posibilidad de llevar control de avances de obra, registro de infraestructura existente, entre otras utilidades que se le puede dar dentro de esta área.

4.3.5 Arquitectura: Dentro de la arquitectura el escáner láser terrestre se puede utilizar para obtener detalles de fachadas y urbanismos en proyectos de rediseño o modernización arquitectónica pudiendo hacer todo esto sin necesidad de utilizar métodos invasivos.

4.3.6 Topografía: Con la ayuda de esta tecnología se pueden elaborar todo tipo de planos topográficos a un alto nivel de detalle y precisión.

4.3.7 Minería: Para el control de avance de excavaciones, igualmente se puede utilizar en los trabajos de remoción para el cálculo de volúmenes de excavación y terraplenes, además que se puede realizar la comparación con modelos tomados en otro tiempo.

4.3.8 Conservación del patrimonio: Es una de las áreas en donde más ha tomado relevancia la tecnología del escáner laser terrestre, pues permite tomar con un alto grado de detalle y precisión los modelos en tres dimensiones de elementos

históricos como edificios antiguos, esculturas, monumentos; sin necesidad de tener contactos con ellos y no representar ningún peligro para la integridad física de estos elementos.

Las aplicaciones con el escáner laser terrestre pueden ser muchas, pero debido a que es una tecnología relativamente nueva y sumado a esto su alto costo hace que exista poca información acerca de estas aplicaciones.

5. ERRORES PRESENTES EN LEVANTAMIENTO CON ESCÁNER LÁSER

Aunque las empresas fabricantes publican la precisión de sus equipos, estos valores no se pueden tomar como valores reales ya que con la experiencia se ha demostrado que los errores generados varían dependiendo de la calibración de cada equipo y del cuidado que se tenga en su uso.

Dado que cada nube de puntos contiene una gran cantidad de datos es inevitable que muchos de estos tengan errores que son muy difíciles de evitar.

Se han publicado muchos artículos sobre tests de precisión con escáneres. *i3mainz*, parte de la *University of Applied Sciences de Mainz* y del *Institute of Geodesy and Photogrammetry* del *Swiss Federal Institute of Technology Zurich*

Los clasifican en cuatro categorías: Errores instrumentales, errores relacionados con el objeto, errores por el entorno y errores metodológicos.

5.1 ERRORES INSTRUMENTALES

Los errores instrumentales pueden ser inherentes al equipo o totalmente aleatorios y se deben al diseño del escáner o de los demás equipos utilizados en el levantamiento. Estos errores aleatorios afectan principalmente a la precisión de la medida y la localización del ángulo.

A continuación se explicarán brevemente en lo que consisten algunos de estos errores aleatorios.

5.1.1 Propagación del haz láser: La divergencia del haz es la anchura que alcanza el láser con la distancia que recorre, esta divergencia tiene mucho que ver con la

resolución de la nube de puntos, igualmente con la ambigüedad posicional de los puntos medidos.

5.1.2 Error del borde partido: Cuando el haz choca contra el borde de un objeto este se divide en dos. La primera parte se refleja del borde superior, mientras que la segunda parte sigue su recorrido hasta que encuentra otra superficie. El resultado es que cuando estos llegan como dos puntos diferentes al receptor y las coordenadas del punto se calculan tomando la media de todas las señales recibidas para un mismo pulso laser. Por lo tanto, este punto será ubicado de forma errónea.

5.1.3 Ambigüedad angular: En la mayoría de los casos los escáneres láser usan espejos rotatorios para guiar la señal hacia su objetivo, por lo cual una ligera desviación angular puede provocar grandes errores en las coordenadas de los puntos. Esta condición se vuelve más crítica con el aumento de la distancia entre el objeto y el escáner.

5.1.4 Errores en los ejes de un escáner láser terrestre: Durante la calibración de un escáner láser terrestre se definen los siguientes ejes: eje vertical, eje de colimación, eje horizontal. Debido a las tolerancias que manejan los fabricantes estos ejes no están perfectamente alineados produciendo errores en las mediciones.

5.1.5 Errores relacionados con los objetos: Como los escáneres miden la reflexión del haz láser sobre alguna superficie, durante los levantamientos se debe tratar con las leyes físicas de la reflexión igualmente con las propiedades ópticas de los materiales. De esta manera superficies con alta reflectividad generan unas mediciones más fiables y precisas, mientras superficies como el agua o el vidrio dispersan los rayos en muchas direcciones generando una señal difusa o nula.

5.2 ERRORES POR EL ENTORNO

5.2.1 Temperatura: Cuando se trabaja en un entorno a altas temperaturas uno de los problemas que se pueden encontrar es que se caliente un lado del trípode haciendo que ese lado se dilate, distorsionando levemente los datos tomados.

Cuando la superficie a escanear también se encuentra a temperaturas elevadas, la radiación causada por las superficies calientes aumenta el ruido en las nubes de puntos, afectando la precisión de las mediciones.

5.2.2 Atmósfera: Durante la medición de distancias los errores que normalmente se dan provienen de variaciones en las condiciones atmosféricas de temperatura, presión y humedad. Puede decirse que la velocidad de la luz del láser depende en gran medida de la densidad del aire. Aunque la mayoría de software de escaneo láser proporciona una corrección inmediata a estos datos dependiendo de las condiciones atmosféricas del momento en que fueron tomados, no deja de ser una fuente de error que se debe tener en cuenta.

5.2.3 Distorsión de los datos por movimiento: Pese a que el tiempo que toma hacer un escaneo no es demasiado, es necesario tener en cuenta que durante este tiempo se pueden producir vibraciones en los alrededores, ráfagas de viento o alguna otra situación que cause movimiento en el escáner provocando distorsiones en los datos.

5.2.4 Errores metodológicos: Estos errores se pueden generar desde cuando se escoge la densidad de la nube de puntos debido a que si se toma una densidad muy alta los datos quedarán sobremuestreados generando demasiado ruido extra

que hace que se distorsionen los datos. En estos errores también se encuentran los que se puedan generar por el método de registro o por el método de georreferenciación que se eligió, pues durante este proceso se introducen errores ya sea por métodos directos o indirectos.

6. ESCANEADO LÁSER COMO TÉCNICA DE DOCUMENTACIÓN HISTÓRICA DE EDIFICIOS

En los últimos años el escáner láser terrestre ha tomado gran relevancia, pues con el registro digital de las edificaciones puede usarse como referencia de su estado original, así como para documentar futuros procesos de restauración, como base para realizar estudios posteriores del proceso de deterioro sufrido hasta la actualidad. Actualmente el escáner laser terrestre es la herramienta que más empieza a ser utilizada en este ámbito ya que con el se pueden generar modelos tridimensionales hasta con el más mínimo detalle sin afectar la integridad de las edificaciones, adicionalmente a esto si la estructura es muy extensa se puede tomar más detalle de esta haciendo varias posiciones de escaneo en diferentes sitios, para luego unirlos y obtener un mejor detalle de la estructura.

Estos modelos digitales además de tener los usos anteriormente descritos, también se pueden utilizar como base para hacer planeación de renovación urbana, planeación de rutas de emergencia, simulaciones de restauración sin tener que intervenir directamente la estructura, igualmente se pueden encontrar daños estructurales que a simple vista no pueden ser vistos, entre muchos otros usos que se les pueden encontrar a estos modelos.

6.1 IMPORTANCIA DE LA DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

Muchos autores hacen énfasis en este aspecto, pues el patrimonio cultural no solo esta expuesto al daño que pueda causarle el envejecimiento natural, tambien esta expuesto a catástrofes naturales, intervenciones inadecuadas o incluso vandalismo.

Una documentación completa y detallada puede proporcionar la base para estudios de restauración y también se puede utilizar como medio para difusión, ya que al generar modelos 3D altamente detallados para usuarios no expertos, se generará mayor entendimiento de la complejidad del sitio y una visión global aportando con ello mayor conocimiento y respeto por el patrimonio cultural.

6.2 VENTAJAS DE LA DOCUMENTACIÓN HISTÓRICA CON ESCÁNER LÁSER

A continuación se enumeran algunas de las ventajas propuestas por el centro de política de suelos y valoraciones de la universidad politécnica de Cataluña:

- Mediciones sin contacto de áreas peligrosas y/o inaccesibles
- Representaciones 3D de sitios complejos, ofreciendo una visión global del objeto de estudio.
- Posibilidad de múltiples representaciones con la misma base de datos, como son: plantas, secciones, perspectivas, animaciones fotorrealistas.
- Se pueden realizar mediciones directamente con alta precisión.
- Base de datos 3D completa con alta precisión en los sistemas de coordenadas adquiridos.
- Representación de un objeto como líneas 3D.
- Cualquier área puede ser extraída y exportada para que sea analizada
- Con la toma de imágenes se da un componente adicional por la posibilidad de asignar color a los puntos.
- Posibilidad de transformar el sistema de coordenadas a un sistema georreferenciado a través de puntos de control levantados con topografía tradicional.

-Personal no capacitado puede navegar fácilmente por la nube de puntos tridimensional y visitar cualquier lugar de la estructura escaneada

-De estos datos almacenados no solo se pueden obtener planos, mapas topográficos o detalles de los elementos existentes, sino que por su alto grado de detalle se pueden usar como medio de divulgación para estructuras históricas.

7. TEORÍA DEL ESCANEADO LÁSER EN LA PRÁCTICA

7.1 PLANIFICACIÓN

Para el correcto levantamiento de datos en el campo es necesario ejecutar una serie de tareas en oficina, que tienen como fin la anticipación de las situaciones adversas que puedan presentarse en el campo.

Con la experiencia este procedimiento se vuelve cada vez más mecánico, pero sigue siendo un elemento importante en el flujo de trabajo para el levantamiento con el escáner láser terrestre pues este define las tareas básicas que se deben ejecutar desde la etapa de trabajo en campo hasta la entrega de los productos requeridos.

Aunque actualmente no existe un proceso estandarizado de cómo se debe realizar el proceso de planificación a continuación se presenta un diagrama que presenta el flujo de tareas propuesto desde la etapa de planeación hasta la producción de los elementos entregables solicitados.

7.2 DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS

Uno de los puntos claves al hacer el levantamiento con escáner laser terrestre es tener totalmente claro para que se quiere tener documentado ese objeto. Ya que depende del uso que se le vaya a dar a los resultados depende el tipo de equipos que se vayan a utilizar, la resolución de captura de datos, el método de registro a utilizar entre otras opciones que pueden cambiar dependiendo del uso final de los datos.

7.3 PLANIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

7.3.1 Recopilación de información primaria: Durante la recopilación de la información se debe almacenar toda la información disponible del área a levantar como son: imágenes existentes, imágenes satelitales, planos arquitectónicos existentes y demás información que pueda servir tanto en la planeación como en el desarrollo del proyecto.

En lo posible se debe realizar un recorrido por la zona realizando una inspección visual de las condiciones reales en que se encuentra el lugar y posibles dificultades que se puedan encontrar a la hora de realizar el escaneo como son: alta vegetación, cambios bruscos de pendiente o cualquier otro tipo de dificultad o interferencia que pueda hacer más complicado el levantamiento en campo. De todo esto se debe llevar un registro fotográfico que apoye la toma de decisiones cuando se vuelva a la oficina a planear el levantamiento.

7.3.2 Determinación de la técnica de registro y georreferenciación a utilizar: Aunque el registro, que consiste en unir las nubes de puntos de diferentes posiciones de escaneo en una sola escena, se lleva a cabo después del levantamiento, es necesario elegir la técnica de registro y georreferenciación durante la planeación ya que, para algunas de ellas, como la técnica de registro con *tiepoints* o la georreferenciación con puntos de control en donde es necesario la utilización de elementos reflectantes que deben quedar escaneados en la escena, por lo tanto deben ser puestos antes de realizar el escaneado. Existen técnicas de registro y georreferenciación directas e indirectas.

7.3.3 Registro y georreferenciación indirecta: Para el registro indirecto es necesario el uso de dianas (*tiepoints*) ya sean artificiales o naturales en la escena para alinear las nubes de puntos. Si se necesita georreferenciar se deben medir los

puntos de referencia mediante técnicas topográficas y transformarlos a un sistema de coordenadas conocido.

Para llevar a cabo el registro indirecto se necesita como mínimo, tres puntos de referencia con coordenadas conocidas y que estén presentes en las dos nubes de puntos a registrar. Sin embargo, siempre es mejor tener más de tres puntos ya que de esta manera los errores se pueden minimizar mediante un ajuste de mínimos cuadrados.

7.3.4 Registro y georreferenciación directa: El registro directo significa que la posición y orientación del escáner se calculan directamente. Esto se puede realizar de dos maneras: la primera es que el escáner láser cuente con algunas funciones de estación total, donde el escáner se puede estacionar directamente sobre un punto conocido utilizando una plomada láser o internamente este tenga un sistema de posicionamiento de alta precisión que pueda ofrecer la posición y orientación de donde está estacionado el equipo. Esta técnica reduce el número de puntos de control a considerar y además tampoco es necesario que las nubes de puntos se solapen ya que cada nube de puntos tendrá la ubicación y orientación exacta en un sistema de coordenadas común.

A continuación en la figura 5. se muestra un cuadro con un resumen de las maneras de georreferenciación y registro.

Figura 5: técnicas de registro



7.3.5 Determinación de las posiciones de escaneo y ubicación de los puntos de control para georreferenciar la nube de puntos : Con la ayuda de imágenes satelitales, imágenes aéreas o planos de la estructura objeto de estudio que fueron obtenidos durante la recolección de información primaria; se buscará determinar las posiciones más óptimas para el escáner de forma que estén bien distribuidas para recolectar todos los detalles de la estructura. Generalmente estas posiciones cambian un poco durante el trabajo de campo, ya que se pueden encontrar situaciones diferentes a las observadas en las imágenes o planos. Sin embargo, estas posiciones estimadas ayudarán a hacer más eficiente el trabajo y a optimizar el tiempo del levantamiento en campo.

Igualmente se ubican los puntos donde estarán los cilindros reflectantes para georreferenciar la nube de puntos en caso que se vaya a utilizar un método de registro indirecto.

7.3.6 Elección del patrón de escaneo: Para la adecuada elección de patrón de escaneo más óptimo se debe pensar en el uso que va a tener la nube de puntos

que se obtenga al final del proceso, ya que con una muy alta densidad de puntos se pueden obtener todos los detalles del objeto escaneado, se tendrá como desventaja el aumento de volumen de datos, también aumenta el tiempo de escaneado y la posibilidad de obtener zonas sobre-escaneadas generando un aumento considerable en el ruido que tenga la nube de puntos. Por otro lado al operarlo con una baja densidad de puntos, aunque bajen los tiempos y el volumen de datos se pueden perder detalles importantes del objeto que se está estudiando.

7.3.7 Almacenamiento y procesamiento de los datos: El almacenamiento de los datos obtenidos en campo es un punto que se debe tener en cuenta antes de realizar el levantamiento, ya que por el gran volumen de información que se genera durante esta actividad que oscila entre 500 MB y 1 Gb por posición de escaneo, es necesario contar con un amplio espacio de almacenamiento disponible. Otro punto a tener en cuenta es que se debe contar con un computador de altas especificaciones para poder realizar el debido procesamiento de los datos.

8. CASO DE ESTUDIO

8.1 PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA

El edificio y auditorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, son edificios que datan de los años entre 1950 y 1954. Son los únicos edificios de la universidad que mantienen la misma fachada con la que originalmente fueron diseñados, a excepción de una pequeña remodelación de la entrada que le realizaron al auditorio.

Son edificios con un alto valor histórico para la Universidad y para la sociedad en general pues fueron de los primeros edificios que se construyeron durante la primera expansión de la universidad en los años 50. Aunque internamente se han realizado algunas remodelaciones en salones y otras áreas, sus fachadas como ya se ha dicho anteriormente se mantienen intactas. Incluso se mantiene el mural de cerámica original que fue puesto en la entrada del edificio durante sus primeros días de funcionamiento.

8.2 OBJETIVO

Realización de un modelo digital tridimensional a un alto nivel de detalle, con el estado actual del edificio de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

8.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

8.3.1 Localización general del área de estudio: Apoyándose en la información suministrada por la base de datos de google earth, ya que es la plataforma con

información espacial más completa de cualquier lugar del mundo y de fácil accesibilidad.

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Santander, en la zona norte de la ciudad de Bucaramanga, dentro del campus principal de la Universidad Industrial de Santander.

Las coordenadas aproximadas del edificio objeto de estudio suministradas por el sistema de google earth son: Latitud 7°8'25" y Longitud 73°7'15".

Figura 6 : Localización espacial edificio ingeniería mecánica



Fuente: recurso electrónico: <https://www.google.com.co/maps>, consultado en octubre de 2015

8.3.2 Inspección visual: Durante el recorrido preliminar realizado a la zona de estudio se observa un terreno plano con pocos cambios bruscos de pendiente, con árboles de gran altura alrededor del edificio que pueden generar interferencia y pérdida de información durante la toma de datos.

En algunas zonas los espacios son muy reducidos lo que hace más difícil la toma de datos pues el equipo no alcanza a desarrollar la distancia necesaria para tomar toda la altura de la estructura debido a que el alcance en vertical y horizontal requiere una separación suficiente con la estructura.

También existen dos muros perimetrales en el costado oriental y occidental del edificio que hacen más difícil la unión entre las estaciones de la parte exterior del edificio con las de la parte interior.

Figura 7: Fachadas edificio ingeniería

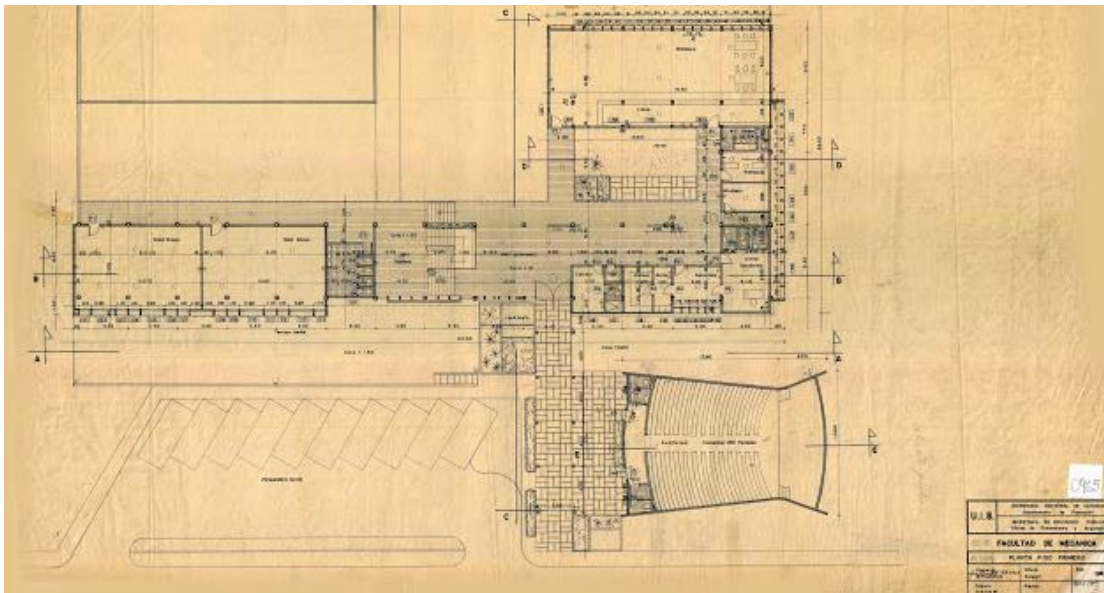


Figura 8: muros perimetrales costado oriental



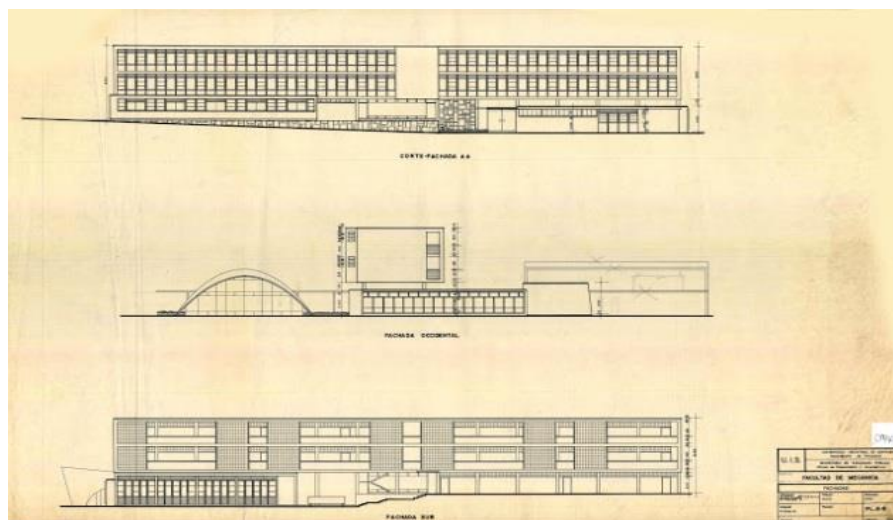
Durante la recopilación de la información primaria se obtuvo acceso al archivo histórico de la Universidad Industrial de Santander y se pudo obtener copia de los planos arquitectónicos más antiguos que existen de la edificación datan de los años 1959-1960 y de algunas imágenes que datan de la misma época.

Figura 9: Plano en planta del primer piso del edificio de ingeniería mecánica



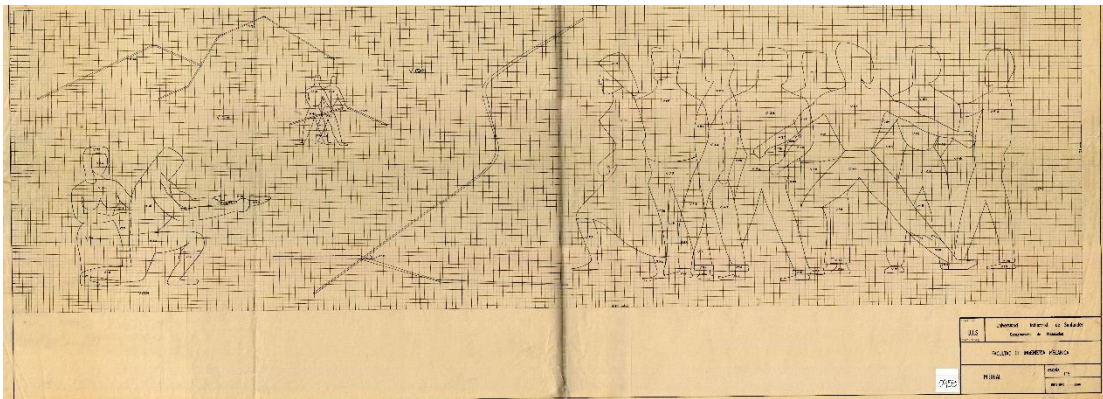
Fuente: Archivo histórico UIS

Figura 10: Corte y fachadas del edificio de ingeniería mecánica



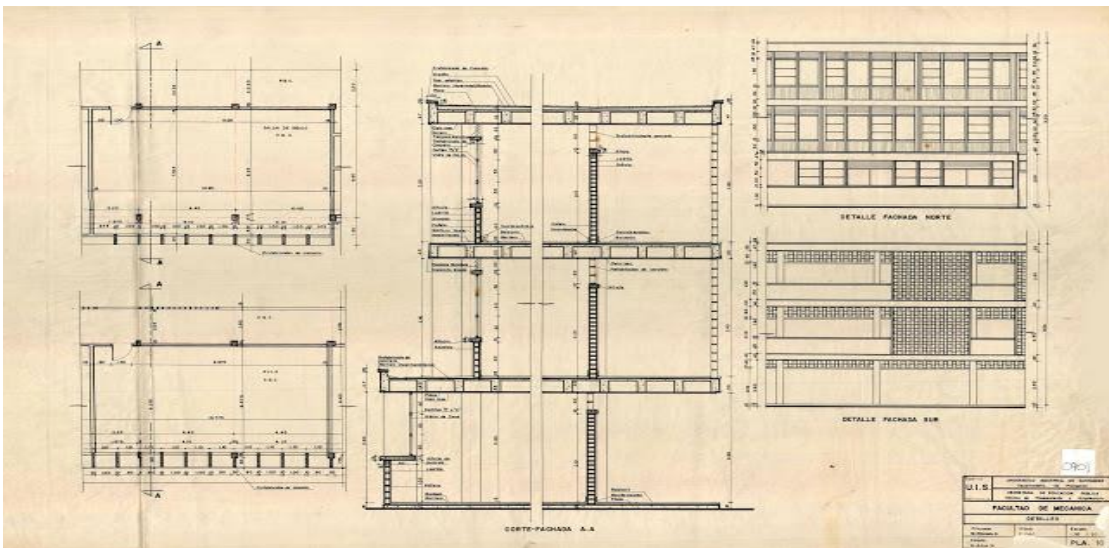
Fuente: Archivo histórico UIS

Figura 11: Detalle mural en ceramica



Fuente: Archivo histórico UIS

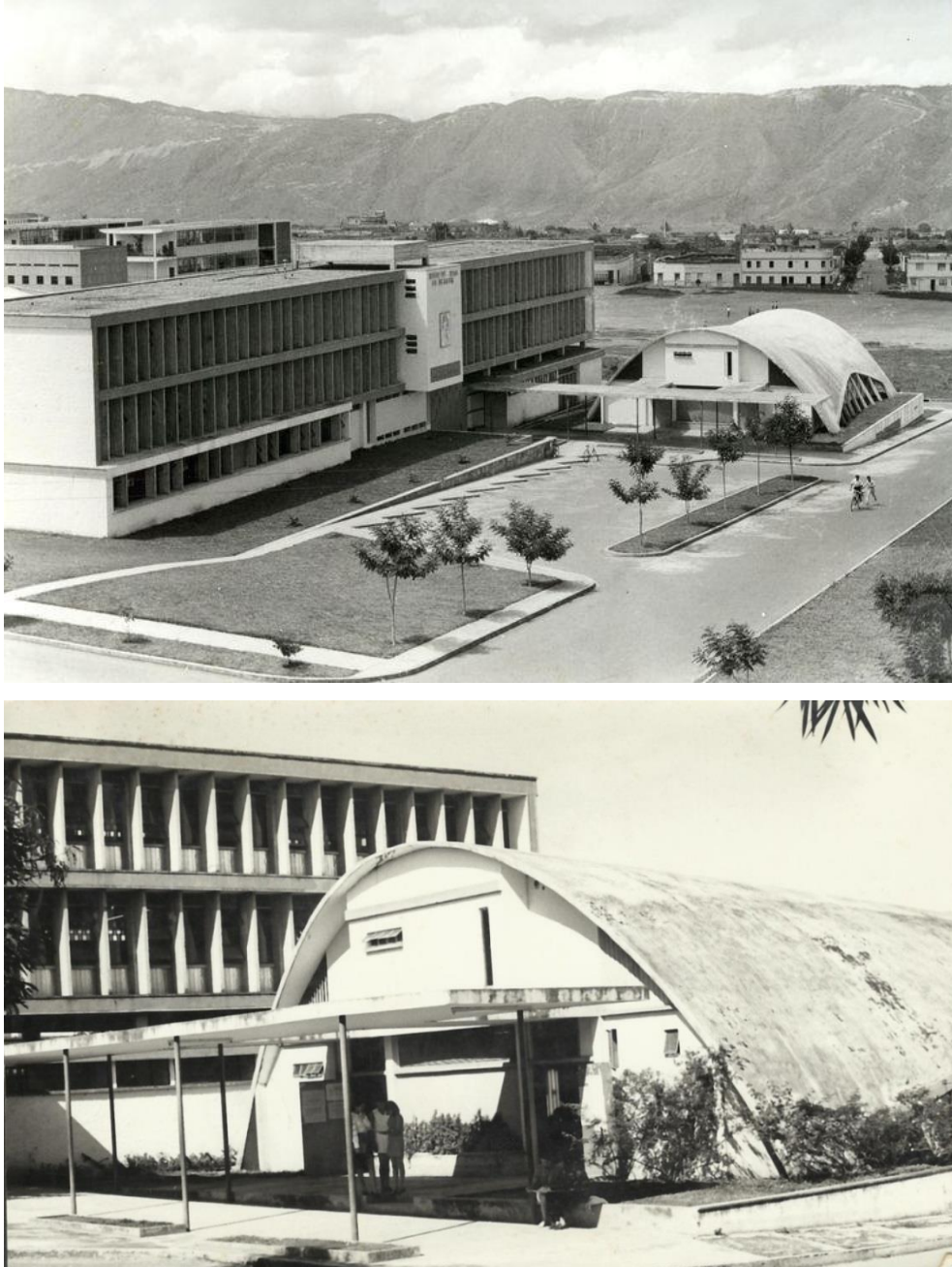
Figura 12: Detalle corte edificio



Fuente: Archivo histórico UIS

Imágenes tomadas poco después de la construcción del edificio de ingeniería mecánica y su auditorio.

Figura 13: Imágenes antiguas edificio ingeniería mecánica



Fuente: Archivo histórico UIS

Adicionalmente se cuenta con una imagen aérea de alta resolución de la zona tomada con tecnología UAV, facilitada por el grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Figura 14: Vista aérea edificio mecánica



Fuente: Geomática, gestión y optimización de sistemas

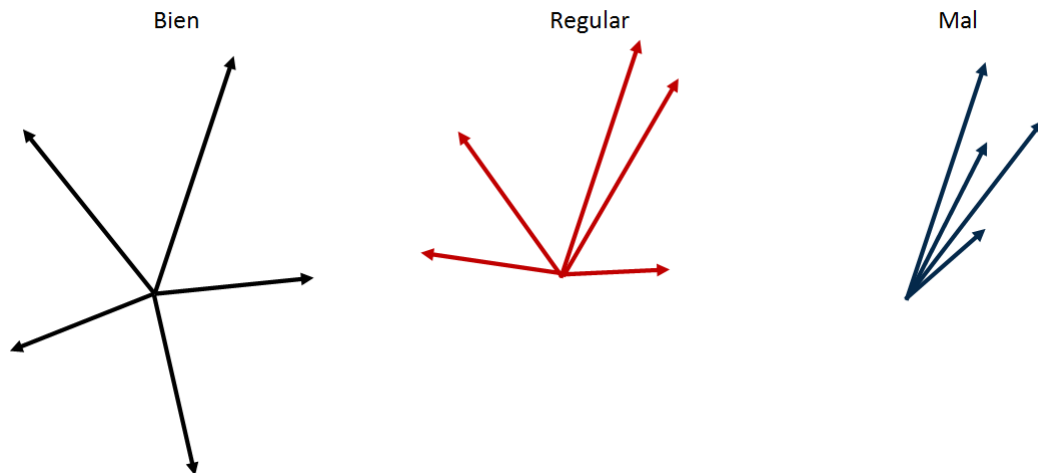
8.4 DETERMINACIÓN DE LA TÉCNICA DE REGISTRO GEORREFERENCIACIÓN A UTILIZAR

Como anteriormente se explicó existen varios tipos de registro y georreferenciación. Para el presente caso de estudio para tratar de minimizar los errores al máximo y de acuerdo con las recomendaciones de experiencias similares alrededor del mundo se propusieron las siguientes:

8.4.1 Técnica de registro: mediante dianas de control o “tiepoints”, que hace un poco más demorado el levantamiento en campo pero reduce considerablemente el tiempo de registro en oficina, además que reduce los errores generados en la unión entre estaciones.

Las dianas de control o *tiepoints*, se deben ubicar alrededor de la escena, de tal forma que exista una distribución de estas en varios planos. También es importante tener en cuenta que para registrar dos nubes de puntos deben existir por lo menos 3 *tiepoints* en común en las dos nubes de puntos.

Figura 15: Distribución de *tiepoints* en la escena.



Recomendaciones

- Las dianas de control o tiepoints no se deben ubicar todos a la misma altura, ya que esto puede favorecer el giro de la nube de puntos sobre el eje formado por estos.
- Como se observa en la figura deben estar ubicados en diferentes planos para favorecer el adecuado registro de las nubes de puntos
- Deben existir por lo menos tres de estos elementos que coincidan en dos posiciones de escaneo para poder realizar el registro.

8.4.2 Técnica de georreferenciación: De alta precisión, coordenadas asignadas de forma indirecta con puntos de control, con apoyo del equipo de navegación cinética satelital en tiempo real (Real Time Kinematic) o RTK como se le conoce comúnmente.

8.5 DETERMINACIÓN DE LAS POSICIONES DE ESCANEAMIENTO Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL PARA GEORREFERENCIAR LA NUBE DE PUNTOS

Para determinar la distancia mínima horizontal a la que se debe ubicar el escáner de la estructura para obtener datos de toda la altura del edificio se harán algunas suposiciones:

Altura del escáner promedio: 1.70 metros

Altura aproximada del edificio: 11 metros

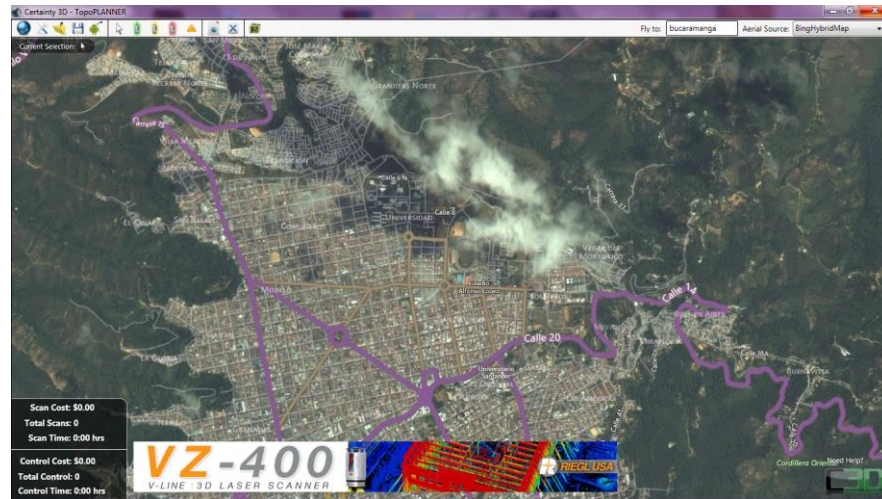
Angulo de deflexión del escáner con la horizontal: 60°

$$Distancia\ mínima = \frac{11 - 1.70}{\tan(60)} = 5.37\ metros$$

Esta distancia ofrece una idea de la distancia mínima a la que debe estar ubicado el escáner para obtener datos de toda la altura del edificio.

Para la determinación en oficina de las posiciones de escaneo, se utilizara la herramienta gratuita topoPLANNER de la empresa Certainty 3D* y la imagen aérea obtenida durante la recopilación de información.

Figura 16: interfaz gráfica topoPLANNER



Luego de insertar la imagen aérea se procede a poner aproximadamente donde van a estar ubicadas las estaciones con el escáner laser. Además de esto se ubican los puntos de control que serán tomados con el sistema GPS de alta precisión utilizados para georreferenciar la nube de puntos y se utilizaran 3 puntos de validación con el objetivo de corroborar las coordenadas al final del proceso.

Figura 17: posiciones de escaneo.



8.6 ELECCIÓN DEL PATRÓN DE ESCANEEO

El patrón de escaneo elegido es el denominado “panorama 60”, la elección se hizo con base en recomendaciones ofrecidas por diversos autores en experiencias similares y tomando en cuenta que es un patrón de escaneo de resolución media con la que no se pierden detalles de la estructura, sin generar demasiado ruido extra.

Las propiedades generales de este patrón de escaneo se observan en la tabla 1. No se observan valores de tiempo de escaneo ya que van a ser muy diferentes a los ofrecidos por el fabricante, esto debido a el método de registro elegido.

Tabla 1: propiedades generales “PANORAMA 60”

| PROPIEDADES PATRÓN DE ESCANEEO "PANORAMA 60" | |
|---|----------------------|
| ALCANCE HORIZONTAL | 30.0°-130.0° (0.06°) |
| ALCANCE VERTICAL | 0.0°-360.0° (0.06°) |
| INCREMENTO | 0.06° |
| TAMAÑO APROX DE DATOS | 1 GB POR POSICIÓN |

8.7 ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS

Para el almacenamiento de los datos se obtuvo permiso por parte del grupo de investigación GEOMÁTICA, Gestión y optimización de sistemas para guardar el proyecto en uno de los servidores al servicio del grupo.

De igual manera para el procesamiento de datos se obtuvo acceso a un equipo Workstation con una buenas especificaciones, como son 16 GB de memoria RAM

instalada y un procesador Intel®xeon® X3440, para lograr un adecuado procesamiento de los datos.

8.8 DESARROLLO DEL TRABAJO DE CAMPO

Después de la debida planeación y de cargar las baterías de todos los equipos, se puede proceder a realizar el trabajo de campo. Que inicia con el traslado al sitio de trabajo con los equipos necesarios.

Se recomienda realizar una lista con los equipos que se llevaran a campo, para hacer verificación cuando se sale de la oficina y cuando se regresa al final de la jornada.

8.8.1 Lista de chequeo

Escáner laser Riegl-Vz400

Batería externa para el escáner laser

Cámara integrada

Sistema de navegación cinética satelital en tiempo real (RTK)

3 trípodes

Cilindros reflectantes

Dianas de control

Computador portátil

8.8.2 Levantamiento de los puntos de control con el sistema RTK: Para la ubicación de los puntos de control se usó el sistema **RTK**, *Real Time Kinematic* o navegación cinética satelital en tiempo real, es una técnica usada para la [topografía](#) y navegación marina basado en el uso de medidas de fase de

navegadores con señales [GPS](#), [GLONASS](#) y/o de Galileo, donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud submétrica.

Figura 18: Detalle equipo RTK



El primer paso consiste en nivelar el trípode y colocar sobre este la base, que se reconoce porque está denominada por el número 51. El rover por su parte es el número 56.

Figura 19: Detalle rover y estación



Luego se acciona el botón de encender y se observa el cambio de colores en los botones que ubican la red GPS tanto americana como europea (Glonass). Se debe esperar hasta que esté de color verde, ya que se encontraba rojo.

Para comenzar el registro es necesario oprimir la tecla FUNCION durante 3 segundos, el botón REC parpadea como muestra que se encuentra registrando y guardando la señal recibida.

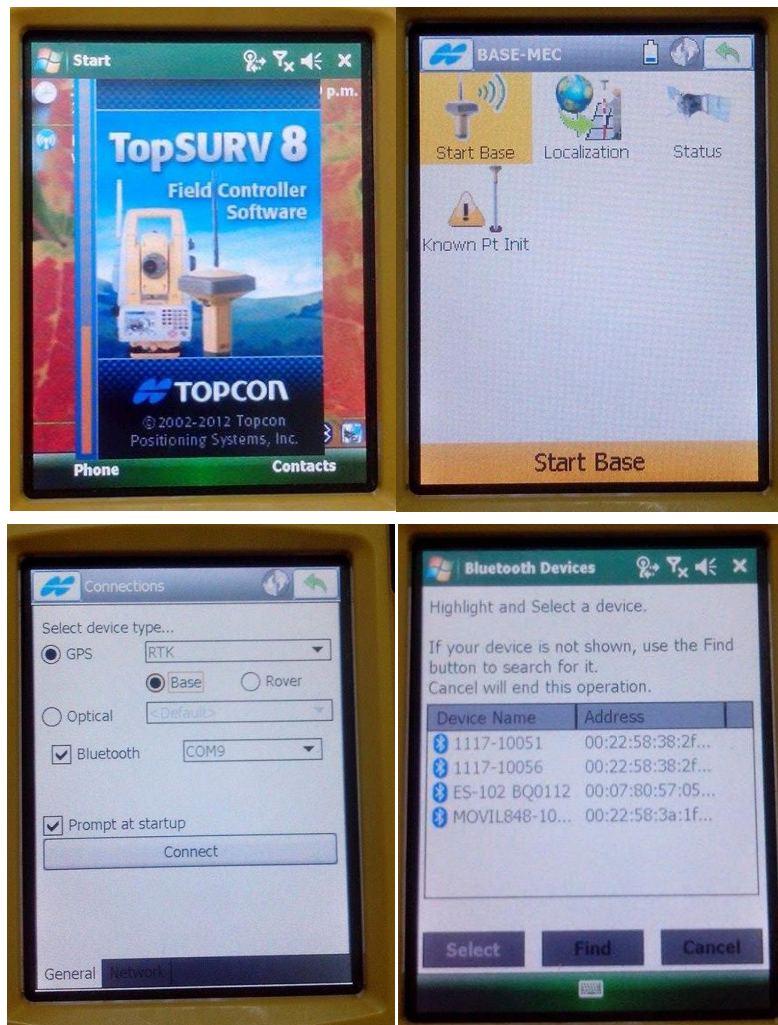
Figura 20: Sistema RTK en funcionamiento



Una vez listos, se procede a tomar las alturas a las que se encuentran los equipos respecto del piso. Ahora comienza el procedimiento con el colector, allí se almacenan las coordenadas de los puntos tomados.

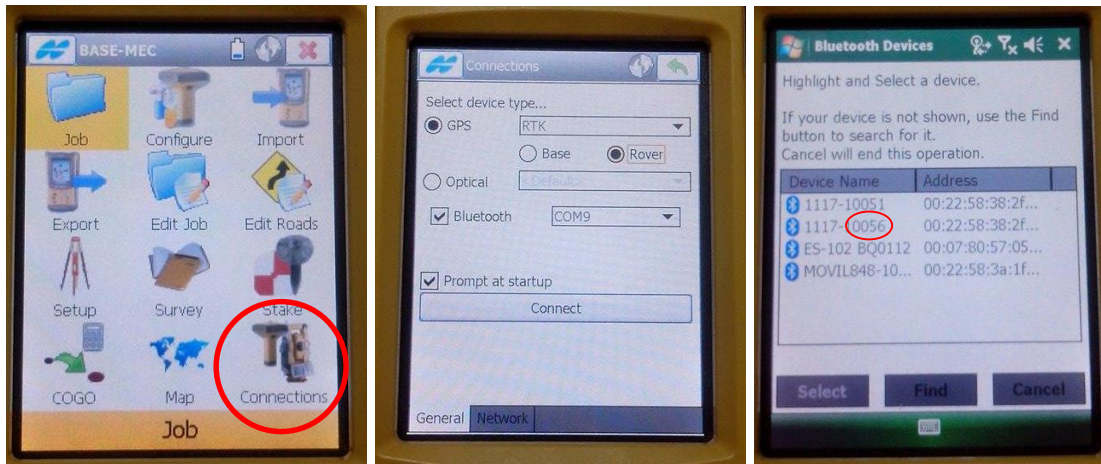
El primer es abrir el programa TopSURV8, luego en CONECTIONS se busca la base y se conecta. El siguiente paso es inicializar la base para ello en el menú SET UP - > START BASE; se asigna el nombre y las coordenadas del punto (Mojón cancha uis).

Figura 21: Interfaz colector RTK



En el caso del rover es necesario desconectar la base y repetir el procedimiento anterior, es decir, CONNECTIONS -> FIND-> Escogerr el rover (56)->SELECT

Figura 22: Configuración base y rover RTK



Finalmente para comenzar a registrar y guardar las coordenadas de los puntos, el rover se desplaza hasta el sitio de interés procurando que el bastón se encuentre nivelado. Cuando esté listo se procede a guardar el punto en el menú SURVEY-



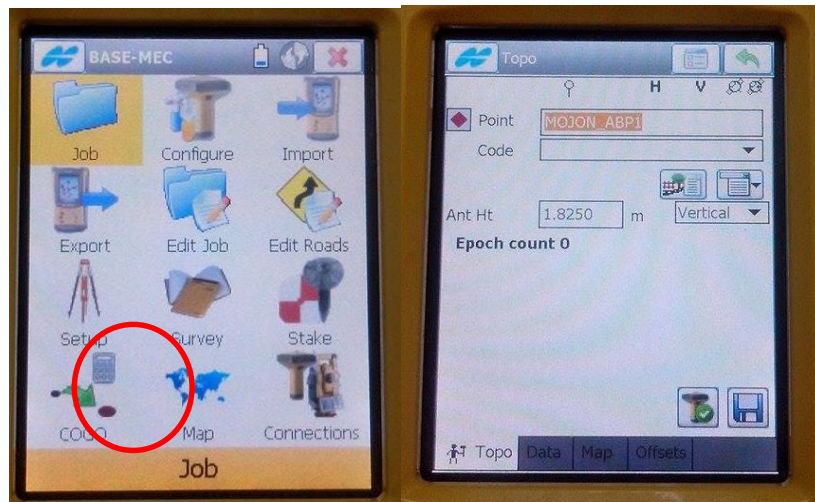
>TOPO-> Ingresar el nombre del punto, la altura del bastón y , para guardar .

Figura 23. Toma de punto con sistema RTK



8.8.3 Ubicación de las dianas de control Se ubican cerca de 100 de estos elementos alrededor del edificio de mecánica en pareces del edificio objeto de estudio y de edificios vecinos, en árboles y en otros elementos en los que estén fijos durante el tiempo que dure el escaneo.

Figura 24: Targets y cilindro reflectante



estudio y de edificios vecinos, en árboles y en otros elementos en los que estén fijos durante el tiempo que dure el escaneo.

8.8.4 Ubicación de la posición de escaneo y estacionamiento del laser: Con la ayuda del plano generado en la planeación que contiene las posiciones aproximadas de donde se va a ubicar el escáner. A continuación se muestra una imagen con el orden en el que se realizó el levantamiento.

Figura 25: Orden de posiciones de escaneo



8.8.5 Conexión del escáner: Luego de ubicar la posición de escaneo, se procede a realizar la conexión del escáner, iniciando con el montaje de la cámara.

Figura 26. Montaje de la cámara



A continuación se nivela el trípode sobre el que se ubica el escáner laser, se hace la conexión con la batería externa y con el computador portátil. Es importante que si desde la posición se observa alguno de los puntos de control puestos con el RTK, este debe tener su respectivo cilindro como se observa en la imagen para realizar su debido escaneado fino.

Figura 27: montaje de estación de trabajo y cilindro reflectante



8.8.6 Ajustes en la configuración del escáner y del computador.: Para realizar la conexión entre el escáner y el computador, para esto se recomienda configurar el escáner con IP DHCP_SERVER para que le asigne automáticamente una dirección IP al computador para crear una conexión directa entre el escáner y el computador.

8.8.7 Escaneo General: Con la conexión establecida, se procede a abrir el Riscan pro, se crea un nuevo proyecto.

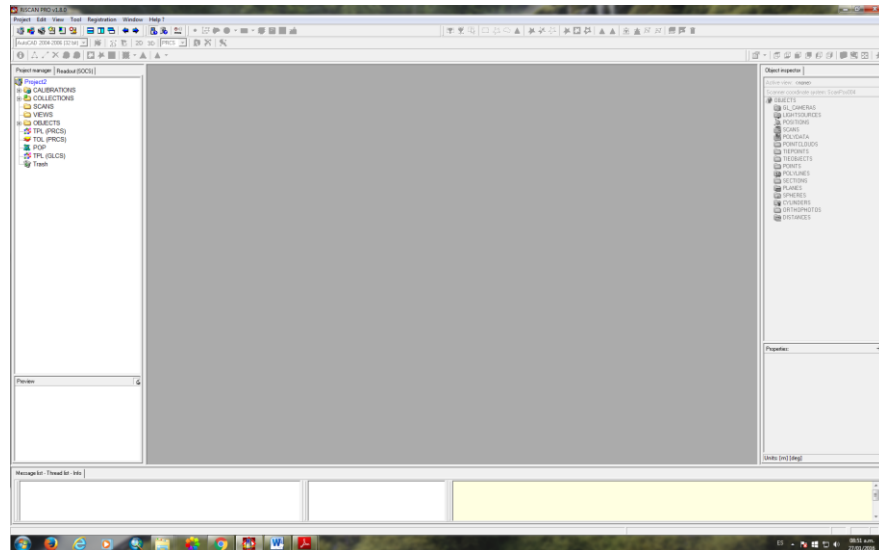
Project→New→Project→OK

Se asigna un nombre y el lugar donde se quiera guardar la información, se debe tener suficiente espacio en el disco del computador, pues durante este

procedimiento se genera una copia del proyecto en la memoria del escáner y otra copia en el computador.

Se crea la siguiente ventana.

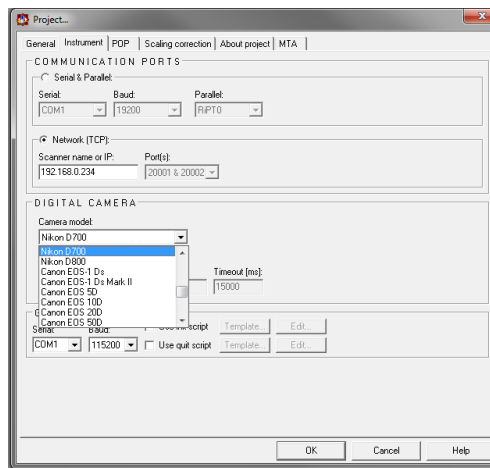
Figura 28. Ventana proyecto nuevo, Riscan pro



Se procede a configurar el modelo de la cámara.

Clic derecho sobre el nombre del proyecto → Attributes → Instrument → camera model → Nikon D700 → OK

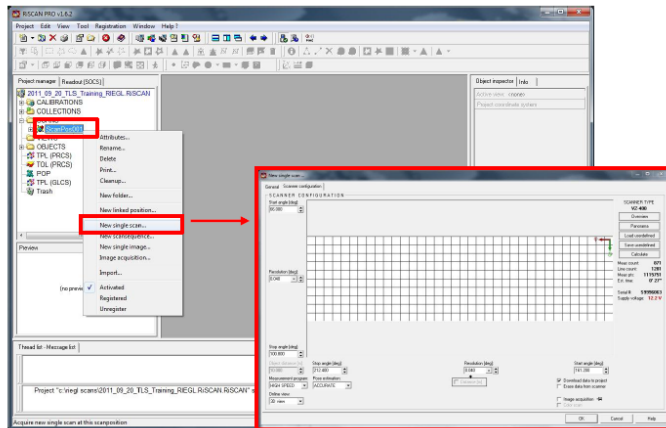
Figura 29: Configuración modelo de cámara.



Sobre la carpeta llamada SCANS, clic derecho→New scanposition→OK

Posterior a esto se da clic derecho sobre el nombre de la posición creada→New single scan

Figura 30: Procedimiento para escaneo

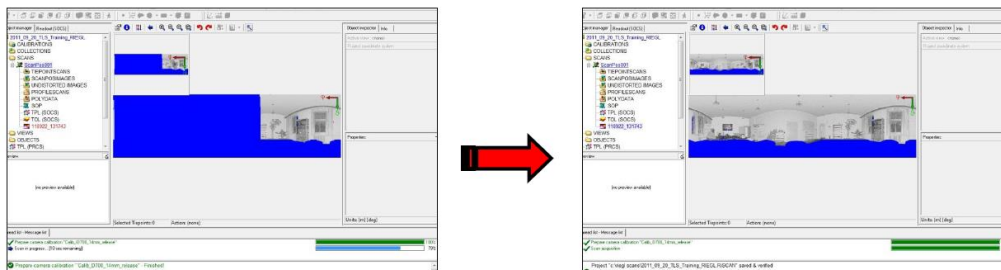


Fuente: RIEGL VZ400 Datasheet 2013, RISCAN PRO

Se chequean todos los parámetros, el patrón de escaneo Panorama 60, la toma de imágenes después del escaneo, cuando ya estén revisados los parámetros→OK→OK

El escáner empieza a realizar el barrido mostrando el avance en la pantalla del computador.

Figura 31: Avance de escaneo



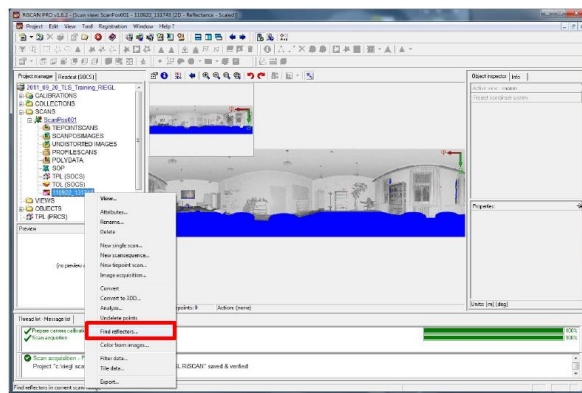
Fuente: RIEGL VZ400 Datasheet 2013, RISCAN PRO

Cuando el escáner termina de hacer el barrido, si la opción de toma de fotos esta activada automáticamente iniciara la captura.

8.8.8 Extracción y escaneo fino de objetos reflectantes: Cuando se termina la captura de datos y de las fotografías, se procede a buscar los elementos reflectantes en la escena

Clic derecho sobre la vista que se creó→Find reflectors→OK

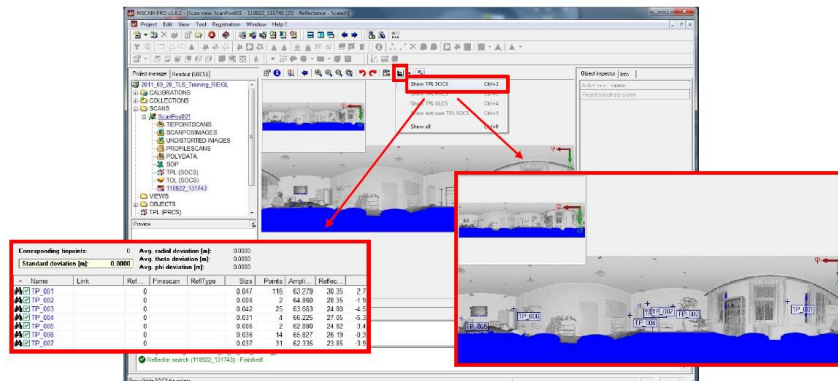
Figura 32: Extracción objetos reflectantes



Fuente: RIEGL VZ400 Datasheet 2013, RISCAN PRO

Se muestra una lista con todos los objetos reflectantes encontrados en la escena, sino se sabe cuáles son los *Tiepoints* que serán utilizados para el registro se pueden ver en la escena para escoger los reales.

Figura 33: Vista objetos reflectantes



Fuente: RIEGL VZ400 Datasheet 2013, RISCAN PRO

Los que no son parte de los *tiepoints* puestos, se pueden eliminar y los que quedan se seleccionan y se procede a hacer un escaneo fino de estos dando clic en el icono llamado *fine-scan selected tiepoints*.

Figura 34. Elección de objetos reflectantes

The screenshot shows the TPL ScanPos001 software interface. At the top, there is a status bar with the text "Corresponding tiepoints: 8" and "Avg. radial Fine-scan selected tiepoints". Below this, there are three statistics: "Standard deviation [m]: 2.9601", "Avg. theta deviation [m]: 3.1728", and "Avg. phi deviation [m]: -0.5618". The main part of the interface is a table with the following columns: Name, Link, Ref..., Finescan, RefType, Size, Points, Ampli..., Reflec..., X, Y, Z, Range, θ, φ, and Δ. The table contains 9 rows of data, each representing a tiepoint. The status bar at the bottom indicates "Units: [deg] [m] 9 tiepoints, 9 selected."

| Name | Link | Ref... | Finescan | RefType | Size | Points | Ampli... | Reflec... | X | Y | Z | Range | θ | φ | Δ |
|--------|----------|--------|----------|------------|-------|--------|----------|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|-------|
| TP_001 | PRCS_001 | 0 | TP_001 | RIEGL C... | 0.061 | 33479 | 44.069 | 30.03 | -1.442 | -5.257 | -0.475 | 5.472 | 94.978 | 254.656 | -1.05 |
| TP_002 | PRCS_007 | 0 | TP_002 | RIEGL F... | 0.046 | 18173 | 44.919 | 30.46 | -7.296 | -1.819 | 0.699 | 7.551 | 84.691 | 193.999 | -1.74 |
| TP_003 | PRCS_002 | 0 | TP_003 | RIEGL F... | 0.055 | 1692 | 34.813 | 29.76 | 3.428 | -37.861 | -0.367 | 38.018 | 90.553 | 275.173 | 0.12 |
| TP_004 | PRCS_004 | 0 | TP_004 | RIEGL F... | 0.047 | 15622 | 42.814 | 28.25 | -7.425 | 3.143 | 0.703 | 8.094 | 85.014 | 157.060 | 0.00 |
| TP_005 | PRCS_004 | 0 | TP_005 | RIEGL F... | 0.051 | 2525 | 38.025 | 30.88 | 30.350 | -4.159 | -0.526 | 30.638 | 90.984 | 352.197 | 0.63 |
| TP_006 | PRCS_006 | 0 | TP_006 | RIEGL F... | 0.049 | 4628 | 37.373 | 26.81 | 18.102 | -5.541 | -0.119 | 18.932 | 90.360 | 342.982 | -0.07 |
| TP_011 | PRCS_005 | 0 | TP_011 | RIEGL F... | 0.048 | 2008 | 30.008 | 22.63 | 26.085 | 14.631 | 0.995 | 29.925 | 88.095 | 29.289 | -0.48 |
| TP_037 | PRCS_003 | 0 | TP_037 | RIEGL F... | 0.044 | 3619 | 19.666 | 6.46 | -7.024 | -11.109 | 0.239 | 13.146 | 88.957 | 237.695 | -1.35 |
| TP_045 | PRCS_008 | 0 | TP_045 | RIEGL F... | 0.023 | 144 | 38.179 | 5.44 | -6.831 | -18.351 | 0.182 | 19.582 | 89.467 | 249.582 | -1.12 |

Fuente: RIEGL VZ400 Datasheet 2013, RISCAN PRO

El escáner se dirige hacia donde están los puntos seleccionados para hacer un escaneo de alta densidad sobre estos elementos, en la parte inferior del programa aparecerá un mensaje cuando ya se haya terminado todo el proceso y se pueda proceder a la siguiente estación.

Recomendaciones

- El computadora con el que se vaya a trabajar en campo debe tener instalado el sistema operativo Windows 7, ya que en esta versión es la que es más estable el programa RISCAN PRO y funcionan adecuadamente todas las funciones necesarias para el trabajo de campo

8.9 PROCESAMIENTO EN OFICINA DE LA NUBE DE PUNTOS

8.9.1 Descarga y preparación de los datos para el procesamiento: Luego de terminar el trabajo de campo se regresa a la oficina y se inicia el proceso de la generación del modelo tridimensional del edificio.

Como el proceso de captura de datos se hizo desde el computador en este queda creado ya el proyecto con el que se puede iniciar con el trabajo de oficina. Solo resta pasarlo a la estación de trabajo donde se va a realizar el proceso de oficina.

8.9.2 Asignación de color a las nubes de puntos: Para la asignación del color real a las nubes de puntos basta con dar clic sobre la imagen de cada posición de escaneo → color from images → OK

Figura 35: nube de puntos con color real



8.9.3 Georreferenciación: Para la georreferenciación se recomienda tomar una estación que este en una zona despejada, libre de obstáculos como árboles. Esto para que la toma de los puntos con el RTK sea lo más preciso posible.

Para el caso de estudio se tomó la estación 4, como la estación que se va a referenciar con precisión y las demás estaciones estarán referenciadas con respecto a esta.

Se tomaron 3 puntos con el RTK, uno de estos es sobre el cual se va a ubicar el Escáner laser y dos que estuvieran en el área de visión de esta estación, esto para formar un plano con tres puntos referenciados y garantizar tanto la ubicación como la orientación de la nube de puntos.

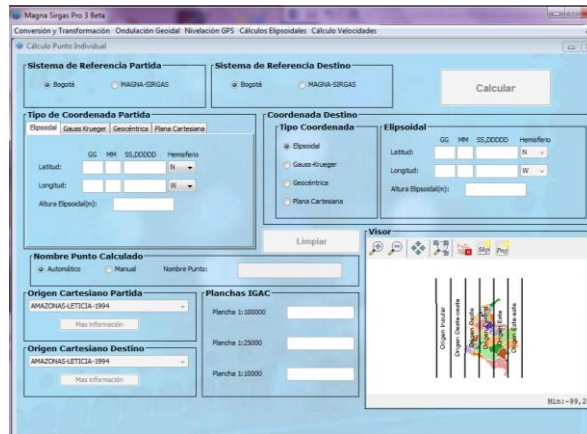
Figura 36: puntos RTK, estación 4



Posterior a esto se toman las coordenadas tomadas con el RTK para referenciar la nube de puntos, pero antes de pasarlos al RISCAN PRO estas coordenadas se deben convertir, pues del equipo GPS se extraen en el sistema MAGNA-SIRGAS y para ingresarlas a la nube de puntos se necesitan en el sistema geocéntrico, pues este es el que reconoce el programa.

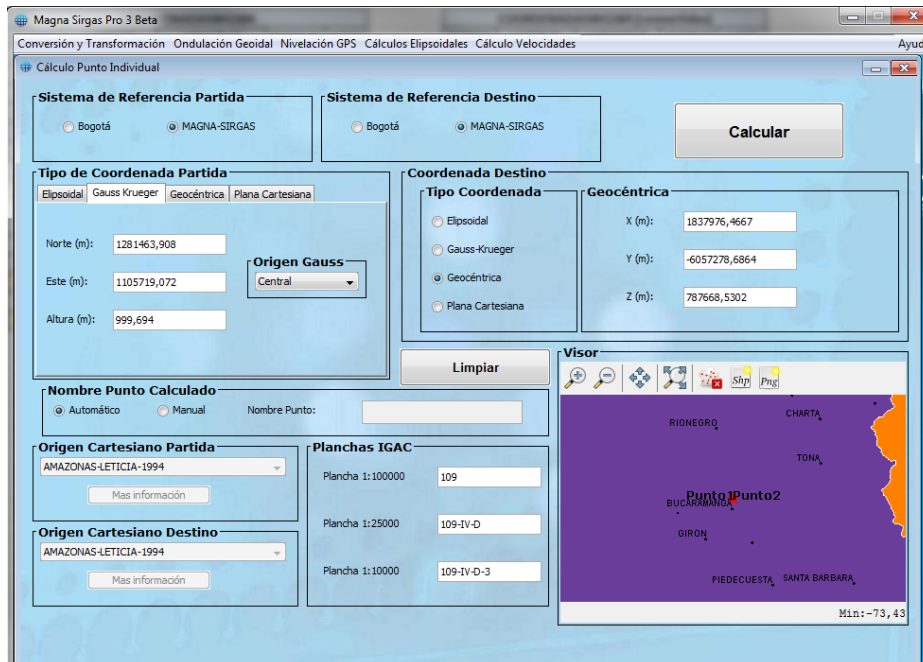
Para esta conversión se uso un software libre, creado por el Instituto geográfico agustín Codazzi llamado Beta Magna Pro3 tiene como propósito ofrecer al usuario una herramienta de cobertura nacional para el manejo de coordenadas, procesos de conversión y transformación de coordenadas.

Figura 37: Interfaz grafica software Beta Magna pro3



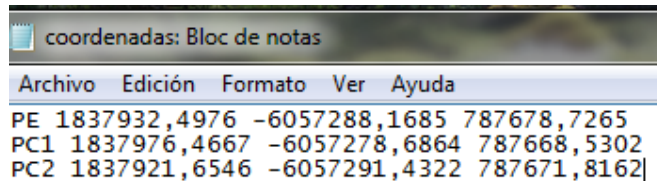
Se escoge como sistema de referencia partida y destino al MAGNA-SIRGAS. El tipo de coordenada de partida, en este caso se tienen coordenadas en el sistema de proyeccion gauss krueger, como origen gauss se escoge la región central que es donde esta ubicada la ciudad de Bucaramanga y se ingresan los puntos tomados con el sistema GPS.

Las coordenadas destino se escoge geocéntrica y calcular.



Estas coordenadas generadas se toman y se va organizando un documento en un archivo de bloc de notas de la siguiente manera.

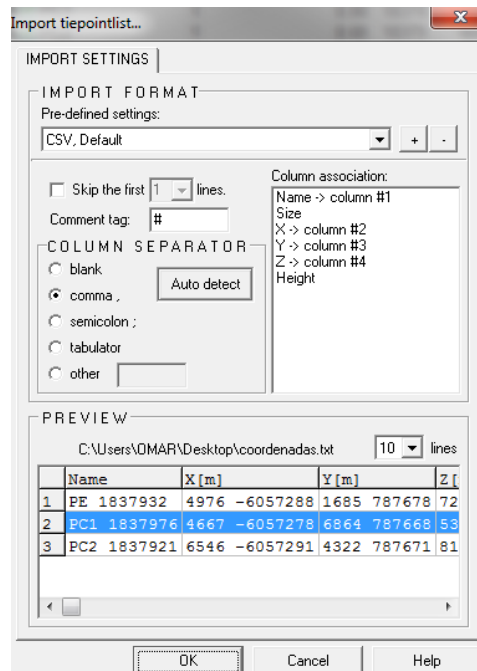
Figura 38. Coordenadas en bloc de notas



Clic derecho sobre TPL (GLCS)→ Import→se busca el archivo que se acaba de crear→Abrir

Se abre una ventana similar a la mostrada a continuación.

Figura 39. Importe de coordenadas



Auto detect→OK

se va a la posición base. En la opción SOP, clic derecho → Advance backsighting orientation , se muestra la siguiente ventana.

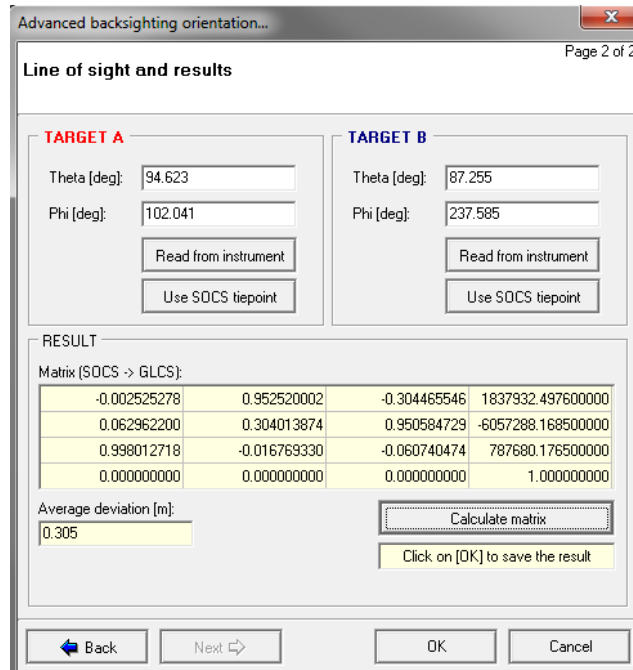
Figura 40: Ventana asignación de coordenadas

| OWN POSITION | TARGET A | TARGET B |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| X [m]: 1837932.498 | X [m]: 1837976.467 | X [m]: 1837921.655 |
| Y [m]: -6057288.169 | Y [m]: -6057278.686 | Y [m]: -6057291.432 |
| Z [m]: 787678.727 | Z [m]: 787669.6 | Z [m]: 787673.066 |
| Instrument height [m]: 1.45 | | |
| Read from file | Read from file | Read from file |
| Use GLCS tiepoint | Use GLCS tiepoint | Use GLCS tiepoint |
| Measure height... | | |

se usara la opción, “Use GLCS tiepoints” en las tres ocaciones, una para la posición del escáner y las dos restantes para la posición de los cilindros.

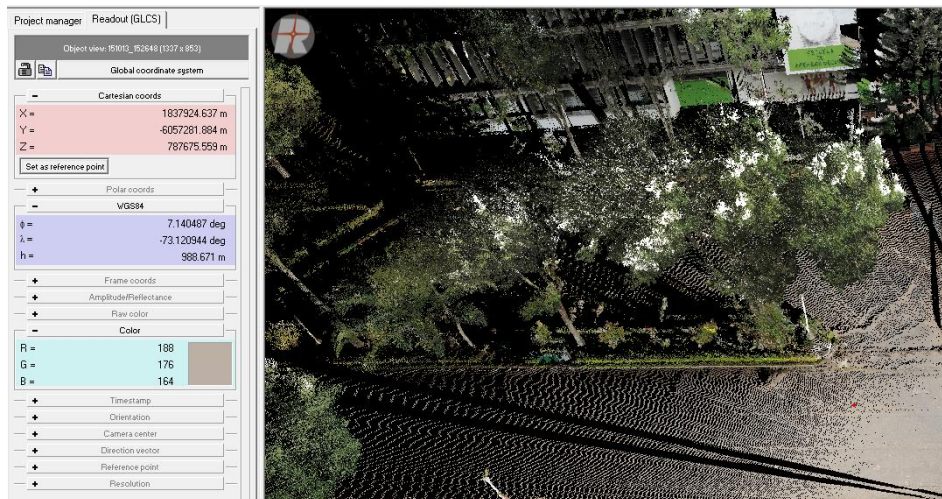
Luego de asignadas las coordenadas, estas se asigaran al cilindro que corresponde usando la opción “Use SOCS tiepoints”.

Figura 41: Ventana asignación cilindro correspondientes



Luego de realizados los pasos anteriores, se puede observar en la vista que las nuevas coordenadas se encuentran asignadas, se pueden ver en coordenadas cartesianas y en el sistema WGS84. Con esto la georreferenciación de la nube de puntos que será usada como base queda terminado.

Figura 42: Vista nube de puntos en coordenadas reales

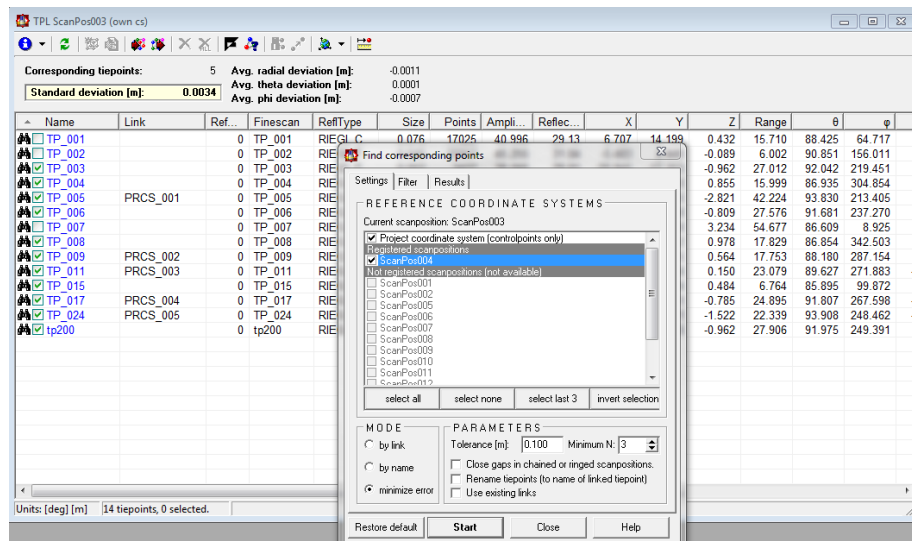


8.9.4 Registro de la nube de puntos: En el caso de estudio la posición base es la denominada en el software “ScanPos004” de esta se unirá “ScanPos003” y “ScanPos006” por ser las estaciones que tienen puntos en común con la estación georreferenciada .

En la vista que va a ser registrada, sobre la opción “TPL (SOCS)”→clic derecho→Attributes, muestra los elementos que serán utilizados durante el análisis, se procede a la opción “Find corresponding points” de la barra superior.

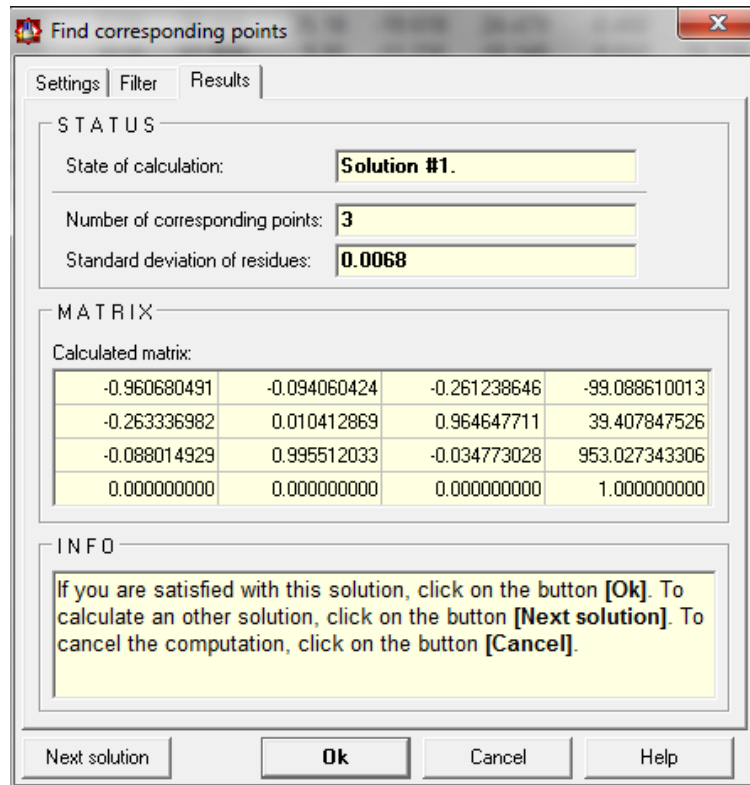
En la nueva ventana emergente, se elige la estación de la cual se ca a unir la estación en la que que se esta trabajando. En este caso se selecciona “ScanPos004”

Figura 43 : ventana registro



Cuando se inicia con el proceso de búsqueda de puntos en común, se muestra una ventana donde se puede observar los puntos encontrados, el error generado y la nueva matriz calculada.

Figura 44: Puntos en común encontrados entre nubes de puntos



cuando se esta satisfecho con la solución encontrada, de puede proceder con el registro de la siguiente nube de puntos.

Cuando ya se tienen registradas todas las nubes de puntos se procede a ajustarlas al minimo error por medio del parámetro "multistation adjustment", dejando fija la posición elegida como base y poniendo a iterar las demás posiciones alrededor de ella.

Figura 45: Parametro MultiStation Adjustment

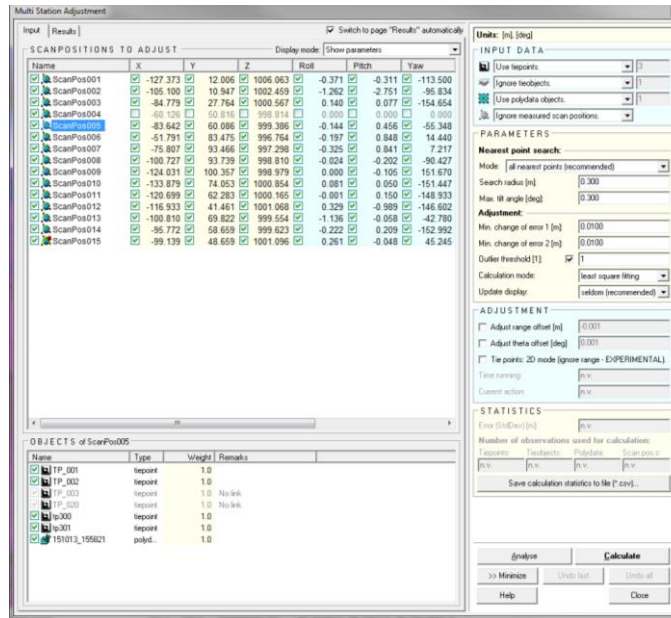
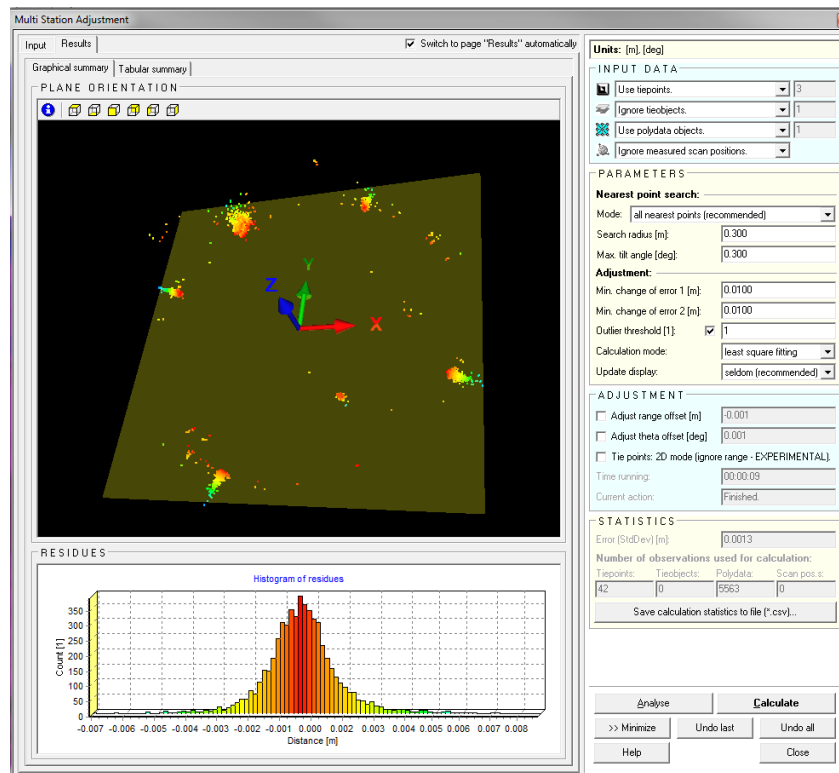


Figura 46: Resultados parámetro MultiStación Adjustment



8.9.5 Error de la georreferenciación: Para saber que tan lejos de la realidad están las coordenadas asignadas , se utilizan los puntos de control creados con el GPS de alta precisión, y el algoritmo RMSE (raíz cuadrada del error cuadrático medio), que se define como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (yt - yr)^2}$$

Donde

yt=Coordenadas tomadas de la nube de puntos

yr=Valor real tomado con GPS de alta precisión

Tabla 2:valores de RMSE para latitud, longitud y altura.

| | xt | xr | yt | yr | zt | zr | (xt-xr)^2 | (yt-yr)^2 | (zt-zr)^2 | |
|-----|--------|--------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----------|
| PC1 | 7.1400 | 7.1401 | -73.1215 | -73.1202 | 1003.6220 | 1003.2620 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1296 | |
| PC2 | 7.1402 | 7.1404 | -73.1211 | -73.2992 | 1001.0230 | 1000.8640 | 0.0000 | 0.0317 | 0.0253 | |
| PC3 | 7.1406 | 7.1406 | -73.1209 | -73.1210 | 997.7460 | 997.7450 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | |
| PC4 | 7.1410 | 7.1401 | -73.1212 | -73.1212 | 997.3390 | 997.6000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0681 | |
| PC5 | 7.1407 | 7.1398 | -73.1215 | -73.1209 | 1000.1790 | 1000.1730 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | |
| | | | | | | | SUMATORIA= | 0.0000 | 0.0317 | 0.2230 |
| | | | | | | | 1/n= | 0.0000 | 0.0063 | 0.0446 |
| | | | | | | | RMSE= | 0.00059091 | 0.079664 | 0.211206 |

8.9.6 Mejora de datos (filtrado) : Para el filtrado de la nubes de puntos se va a provechar uno de los filtros que ofrece el programa RISCAN PRO, lo primero es quitar lo que esta alrededor que no hace parte del edificio, seleccionando y suprimiendo los puntos elegidos, tambien se pueden quitar los puntos de personas o autos que pasaron en el momento del escaneo.

Figura 47: filtrado de datos



8.9.7 Resultados

El resultado, es un modelo en tres dimensiones que representa el estado actual del edificio de ingeniería mecánica, a continuación algunas imágenes con diferentes tomas del edificio.

Figura 48. Resultados.



9. CONCLUSIONES

- La tecnología del escáner láser sea móvil o estatico esta en una etapa de exploración en la que se le han encontrado aplicaciones en la industria, topografía, ingeniería civil, minería, geodesia, patología estructural, criminalística, entre otras otros campos en los que seguirá incursionando esta tecnología. Convirtiéndose así en un elemento muy importante en diversas áreas apoyando la investigación y la toma de decisiones.
- Al realizar el levantamiento con escáner láser terrestre se puede obtener más detalle que lo que se puede llegar a tener con topografía tradicional, en menos tiempo, con menos personal y con errores mucho menores a los presentados en levantamientos con equipos tradicionales.
- Entre los principales beneficios que tiene el trabajar con el escáner láser terrestre se puede encontrar la rápida captura de grandes cantidades de información sobre el objeto escaneado en pocos segundos, no es un método que requiera contacto directo con la estructura lo que lo hace perfecto para conservación histórica además que se puede trabajar incluso con total oscuridad sin perder la representación fiel de la estructura escaneada.
- La implementación del escaner laser terrestre Riegl vz400 permitió generar un modelo tridimensional del edificio de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander, tal modelo representa fielmente el aspecto actual del edificio. Este modelo además puede ser utilizado como archivo de conservación histórica, también puede ser usado para obtener información como alturas, espesores de muros, longitudes de vigas entre otra información que se puede obtener.
- La captura de datos en campo incluyó la toma de puntos con coordenadas milimétricas generando así una nube de puntos georreferenciada gracias al punto con coordenadas globales que existe en el campus de la universidad.

- La metodología definida para realizar los levantamientos permitió facilitar el trabajo en oficina, el método de registro de las nubes de puntos fue optimizado debido a la utilización de *tiepoints* y cilindros reflectantes con coordenadas precisas lo cual redujo considerablemente el tiempo de manejo de software y los errores generados en comparación con levantamientos con métodos tradicionales y registros manuales.

- Con el método de registro elegido aumento el tiempo del proceso de campo así como la cantidad de equipo trasladado al edificio; el aumento de tiempos de escaneo en campo se vio totalmente justificado con la reducción del tiempo de procesamiento en oficina y con la reducción de los errores generados.

- Algunos de las complicaciones con el levantamiento con escáner laser terrestre es la dificultad para la toma de datos en espacios reducidos donde no se alcanza a desarrollar la distancia mínima que debe existir entre el escáner laser y la estructura.

- En algunas zonas se genero perdida de información por la dificultad para acceder a estas, para no exponer la integridad del escáner, o por la necesidad de otros accesorios para el escáner laser que faciliten la toma de datos en condiciones de difícil acceso.

- En general tanto la toma de datos como el procesamiento de los datos en oficina debe realizarse por parte de personal capacitado específicamente para la tarea. Por el poco conocimiento de esta tecnología estos equipos tampoco se encuentran fácilmente en el mercado colombiano, lo que generalmente obliga a realizar las compras y capacitaciones en otro país.

-El escaneado de alta densidad no solo se puede utilizar para sacar planos topográficos, estructurales o arquitectónicos, sin que gracias a su alto grado de detalle se puede utilizar como medio de divulgación histórica de la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

BARBER David, Mills Jon. 3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to user on laser scanning in archaeology and architecture. (2011). Recuperado el 25 de noviembre de 2014, de http://www.english-heritage.org.uk/publications/3d-laser-scanning-heritage2/3D_Laser_Scanning_final_low-res.pdf.

BERENYI, A., T. Lovas, and A. Barsi. 2010. "TERRESTRIAL LASER SCANNING CIVIL ENGINEERING APPLICATIONS." *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII*: 80–85.

DOMINICI Donatella, et al. Cultural heritage documentation using geomatic techniques Case study: San Basilio's monastery, L'Aquila, University of L'Aquila; italia.

GARCIA Diego, MONTES Francisco. El Láser-Escáner 3D aplicado al patrimonio arquitectónico de Priego de Córdoba: la Torre del Homenaje. En: *Antiquitas [online]*.2012. vol. 24. P. 277-30.

HADDAD, Naif Adel. Review from ground surveying to 3D laser scanner: A review of techniques used for spatial documentation of historic sites, en: *Journal of King Saud University*, abril 2011, vol 23. P. 109-118

HEINZ Rüter, et al. (2009). Laser scanning for conservation and research of African cultural heritage sites: the case study of Wonderwerk Cave, South Africa. [Version electronica]. *Journal of Archaeological Science*, 36, 1847-1867.

LERMA Jose, Cabrelles Miriam, et al. Aplicación de la fotogrametría terrestre al levantamiento de alzados de edificios singulares. Recuperado el 23 de noviembre de 2014, de <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/viewFile/3118/3118>

MAÑANA-BORRAZÁS, Patricia; RODRIGUEZ PAZ, Anxo y BLANCO-ROTEA, Rebeca. 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). En: Arqueología de La arquitectura [online]. 2008. Vol. 5. p. 15-32.

MAÑANA-BORRAZÁS, Patricia; RODRIGUEZ PAZ, Anxo y BLANCO-ROTEA, Rebeca. la documentación geométrica de elementos patrimoniales con láser escáner terrestre. la experiencia del lapa en galicia. En: cuadernos de estudios gallegos [online]. 2009. Vol. 122. p. 33-65.

MARAMBIO Ajandro. escaner laser: modelo 3d y orto imágenes arquitectónicas de la iglesia de santa maria del mar en barcelona. En: Architecture, city and environment, octubre de 2006, vol. 1 No. 2. Pag 178-186.

RIEGL, RISCAN PRO, operating and procesing software. Austria. 2012. 393 p.

RIEGL, (2011): Selection guide , Disponible en:
Bhttp://www.riegl.com/nc/products /terrestrial-scanning/selection-guide/print.html.
Consultado en noviembre de 2015

SANTANA QUINTERO, Mario, et al. Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre. Material de aprendizaje en aplicaciones prácticas. Herramientas de aprendizaje para el levantamiento tridimensional avanzado en la conciencia de riesgos. Agencia Flamenca del programa europeo Leonardo Da Vinci; 2008. Tutorial. Versión 5.

ULLOA, Julian. Evaluación del uso de un escáner laser terres y métodos tradicionales en la ejecución de un modelo topográfico. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga (Santander),: Universidad Industrial deSantander. Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería civil, 2013. 134 p.

ANEXOS

Anexo A. Diferentes imágenes del modelo tridimensional generado

- Nube de puntos vista frontal del edificio



- Nube de puntos vista superior del edificio



- Nube de puntos vista superior del edificio



- Nube de puntos vista frontal superior del edificio

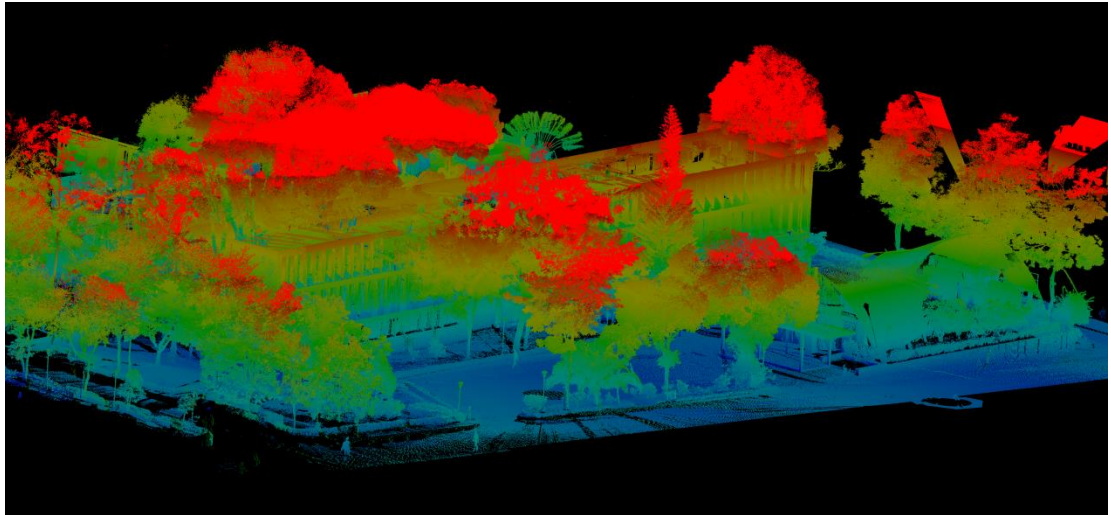


Anexo B. Diferentes filtros aplicados sobre la nube de puntos

- Vista superior generada por reflectancia



- Vista superior generada por altura



➤ Vista superior graficada por amplitud

