

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y MINAS

**USO DEL GPS Y ESCÁNER LASER TERRESTRE EN
LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS**

The seal of the University of Sonora is a circular emblem. It features a central shield with a lamp of knowledge on the left and an open book on the right. Below the shield is a banner with the motto "TODO LO ILUMINAN". The shield is supported by two figures. The outer ring of the seal contains the text "UNIVERSIDAD DE SONORA" and the year "1942" at the bottom.

**“MEMORIA DE PRÁCTICAS
PROFESIONALES”**

Que para obtener el Título de:
INGENIERO CIVIL

Presenta
JUAN FRANCISCO FONTES QUINTANA

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	2
II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TOPOGRAFÍA	3
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO	4
V. PROBLEMAS PLANTEADOS PARA RESOLVER	4
VI. ALCANCE Y LIMITACIÓN EN LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS	5
VII. FUNDAMENTO TEÓRICO	6
VII.I Topografía	6
VII.II Escaneo Laser Terrestre	9
VIII. PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS	10
VIII.I Preparación del levantamiento en campo	21
VIII.II Trabajo de gabinete	26
IX. Resultados obtenidos	30
X. Conclusiones y recomendaciones	34
XI. Retroalimentación	35
VIII. Bibliografía	37

I. INTRODUCCIÓN

Las prácticas profesionales es un conjunto de actividades y quehaceres propios de la formación profesional del estudiante, donde se tiene la oportunidad de laborar en forma temporal en una empresa o institución, donde se pueden aplicar y ampliar los conocimientos y habilidades adquiridas a través de la formación académica en el programa educativo.

El objetivo de las prácticas profesionales, es complementar la formación profesional del estudiante a través de la interrelación de conocimientos teóricos y prácticos, con el fin de desarrollar habilidades y competencias profesionales en contextos laborales, vinculados estrechamente con el perfil de egreso de la licenciatura cursada.

Durante los años de estudios universitarios, a su vez nos abre una gran puerta hacia otros conocimientos de nivel técnico-profesional en las diversas especialidades a las cuales podemos seleccionar.

El presente trabajo, recopila la información referente a actividades realizadas durante el periodo de prácticas profesionales en: AZTEC INGENIERIA; en el área de topografía y proyectos, llevados a cabo entre los meses de Junio y Septiembre del año 2015.

II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TOPOGRAFÍA

En el área donde laboré es en topografía y dibujo para proyectos y planeación, el cual se enfoca a la elaboración de proyectos de infraestructura y urbanización, estudio y diseño de vialidades y plataformas, diseño de obras hidráulicas y drenaje pluvial.

En el área de topografía, se cuenta con equipo de Estación Total, un equipo de GPS y un Escáner Laser 3D (Lidar Terrestre) para levantamientos topográficos de edificación para arquitectura, áreas inaccesibles o de riesgo, estudios de deslaves y riesgos naturales, de tajos, patios de lixiviación, y un Drone para fotogrametría.

En el área de topografía también se cuenta con software especializado para la elaboración de mapas topográficos para estudios de Ingeniería, Geología y Minas.

III. JUSTIFICACIÓN

Estas prácticas nos permiten mostrar y poner en prueba nuestros conocimientos y reforzarlos en el campo laboral en el área de topografía y prepararnos para lo que vamos enfrentar en nuestro campo laboral como profesional.

IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Ampliar los conocimientos en el área de topografía y proyectos de ingeniería civil, aplicando las normas de diseño dictadas por los diferentes organismos del estado y federal, por ejemplo la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) y SIDUR (Secretaría de Infraestructura Y Desarrollo Urbano).

Objetivos específicos

Aprender a dar un buen servicio al cliente, creando una buena comunicación directamente con el cliente y el arquitecto.

Conocer otras empresas y personas del área de proyectos de ingeniería civil, ayudando a integrarse más al área y obtener conocimientos e ideas de terceros.

V. PROBLEMAS PLANTEADOS PARA RESOLVER

El área de topografía y proyectos de ingeniería civil de AZTEC INGENIERIA me dio conocimientos para resolver los problemas que se presentaban, sobre todo en campo, adquiriendo nuevas técnicas de levantamientos topográficos con equipos de nuevas tecnologías como lo es el GPS y el Escáner Laser Terrestre 3D.

Uno de los problemas planteados al realizar un levantamiento topográfico, son la falta de puntos de control en el campo, el realizar un levantamiento sin poner puntos de control alrededor de la obra a realizar, se puede perder la localización geográfica en la cual se comienza a trabajar, ya que al utilizar los equipos de GPS se trabaja con coordenadas geográficas UTM. Al perder el punto base en el que iniciaste el levantamiento y no tener puntos de control, pierdes las coordenadas geográficas en las cuáles iniciaste el trabajo. Al iniciar el levantamiento topográfico con equipo de GPS inicias el trabajo con coordenadas geográficas UTM arbitrarias, y al no tener los puntos de control con los cuales iniciaste el levantamiento, al iniciar un levantamiento nuevo con el mismo equipo de GPS te arroja coordenadas UTM diferentes ya que el levantamiento no lo estas ligando a

una base de control o banco de nivel, y estas iniciando con coordenadas arbitrarias. Estas pueden ser de 40cm hasta más de 1m de diferencia en las cuales iniciaste el levantamiento.

VI. ALCANCE Y LIMITACIÓN EN LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS

- Alcance de proyecto.

Para solucionar los problemas de falta de puntos de control al realizar un levantamiento topográfico, se propone plantear por lo menos cinco puntos de control en diferentes partes alrededor de la obra y así tener un mejor control topográfico de elevaciones y cambios horizontales para la ejecución de la obra.

Las normas de la SCT te indican en realizar un banco de nivel o punto de control cada kilometro de distancia entre puntos alrededor de la obra a realizar. En nuestro caso fue una obra menor a un kilometro, y decidimos poner 8 puntos de control alrededor de esta misma.

- Limitantes.

La principal limitante de este proyecto es la falta de experiencia del practicante, tanto en campo como en gabinete, la falta de conocimiento en el uso de nuevas tecnologías en levantamientos topográficos con el uso del GPS y Escáner Terrestre Laser 3D.

VII. FUNDAMENTO TEÓRICO

VII.1 Topografía

La topografía es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientos y operaciones del terreno en un plano topográfico a menor escala (Dominguez 1978).

- El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la tierra, tanto en planta como en altura, trabajo de campo más trabajo de gabinete es lo que comúnmente se denomina "Levantamiento Topográfico" y se representa en un plano. La topografía como ciencia se encarga de las mediciones de la superficie de la tierra, se divide en cuatro ramas principalmente que son: Planimetría, representación de la superficie en planos; la Altimetría, que trata sobre la determinación de las diferencias de alturas de los puntos del terreno o la distancia vertical entre dos puntos; Taquimetría, que realiza la planimetría y altimetría simultáneas, es decir la distancia vertical y horizontal entre puntos, y la Fotogrametría, que mediante fotos aéreas (proyección cónica) se sacan planos de superficie (proyección ortogonal), se crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, y de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan (Torres 2001).

Básicamente todo trabajo de topografía se basa en levantar, representar y replantear, en primer lugar tener claro todos los conceptos y fundamentos básicos de la topografía y en segundo lugar conocer los distintos instrumentos topográficos, su uso y habilidades en el manejo de estos. Unos de los detalles que siempre se debe considerar es la unidad de trabajo que se utiliza, tanto en campo como en gabinete, y otro factor muy importante es comprobar periódicamente el estado y calibrado de los instrumentos topográficos.

Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global

Es un sistema que hace uso de un conjunto de satélites ubicados en el espacio agrupados en forma de constelaciones. Actualmente se conocen las siguientes constelaciones: NAVSTAR-GPS (Americano), GLONASS (Ruso) y GALILEO (Europeo) en proceso (2009) (Torres y Villate 2001) lo define como un sistema de medición tridimensional que utiliza señales de radio que proporciona el sistema NAVSTAR, esta constelación está integrada por 24 satélites artificiales que orbitan la Tierra en 12 horas. Esto permite que durante las 24 horas estén visibles al menos 5 a 8 satélites desde cualquier punto del planeta. Los satélites NAVSTAR, Figura 1.1, orbitan la tierra en 6 planos orbitales, de 4 satélites cada uno, a una altura aproximada de 20,200 Km. El NAVSTAR es utilizado por miles de usuarios civiles alrededor del mundo; el mismo fue diseñado, financiado, controlado y operado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Como sistema está integrado por tres segmentos: espacial, de control y el de usuario. (Pachas 2009).

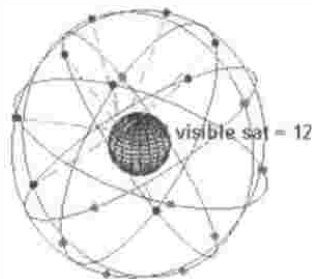


Figura 1.1 Representación de recepción de señal GPS en un punto de la tierra

Fuente: Imagen de Google

Segmento Espacial

El segmento espacial está formado por los llamados vehículos espaciales o satélites que envían señales de radio desde el espacio. La posición exacta de los satélites es conocida durante las 24 horas del día y desde cualquier posición del planeta. Esta información es emitida continuamente en la forma de señales de navegación (Pachas 2009).

Segmento Control

Está formado por una red, de estaciones de monitoreo, ubicadas alrededor del mundo: Colorado (estación master), Hawaii, Ascensión, Diego García y Kwajalein. El propósito del segmento de control (Wells et al, 1986) es monitorear el funcionamiento de los satélites, determinar sus órbitas y el funcionamiento de los relojes atómicos así como enviar la información que será transmitida en forma de mensaje desde los satélites, (Pachas 2009).

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Figura 1.2 Estaciones Master y de Monitoreo

Fuente: Peter H. Dana 5/27/95

Segmento del usuario

Está integrado por los receptores que captan las señales emitidas por los satélites y empleados para el posicionamiento estático o cinemático. En general se conoce como receptor GPS al instrumento que recibe y decodifica la señal del satélite calculando las coordenadas del punto deseado.

Se dice también que el receptor GPS está formado básicamente por tres componentes: el hardware, el software y el componente tecnológico que acompaña a cada uno de ellos. El receptor GPS es la pieza del hardware utilizado para rastrear los satélites, es decir, para recibir las señales emitidas por los mismos (Pachas 2009).

VII.II Escaneo Laser Terrestre

TLS por sus cifras en inglés que significan (*Terrestrial Laser Scanning*) es una técnica relativamente nueva que se usa para trasladar información espacial tridimensional. Fue aclamado como otra revolución tecnológica en el campo de la topografía y cartografía después de la tecnología GPS, que reconstruye con precisión los objetos analizados y construye en alta fidelidad, alta precisión una nube de puntos en 3D (Vosselman, G.; Mass, H. 2010 p. 12-53). TLS ayuda a adquirir objetos complejos fácilmente utilizando una nube de puntos en 3D. El escaneo láser describe un método mediante el cual una superficie se muestrea o escanea usando tecnología láser (Park, H.S.; Lee, H.M.; 2007 p. 19-30). Se analiza un entorno u objeto para tomar datos sobre una forma. 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 escaneo láser es el hecho de 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.

La tecnología actual de los escáneres láser se puede dividir en dos categorías, estático y dinámico. Cuando el escáner se mantiene en una posición fija durante la toma de datos, se llama escaneo láser estático. Las ventajas de este método son la alta precisión y la relativa alta densidad de puntos. Cuando el escáner se monta en una plataforma móvil, se llama escaneo láser dinámico. Estos sistemas requieren otros sistemas de posicionamiento adicionales tales como INS o GPS, lo que hace que el sistema completo sea más complejo y caro. Ejemplos de láser escáner dinámico los encontramos en aeroplanos (láser escáner aerotransportado), escáneres sobre vehículos en movimiento o plataformas aéreas no tripuladas.

VIII. PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS

En el periodo de las prácticas profesionales en Aztec Ingeniería, del periodo de los meses de Junio a Septiembre del 2015 se desarrollaron varios proyectos, participe en el proyecto ejecutivo de integración vial de una gasolinera y tienda de conveniencia en Santa Ana, Sonora.

Como practicante participé en todas las actividades de campo y en gabinete para el proyecto, de la gasolinera en Santa Ana, Sonora, la primera actividad que se realizó para el proyecto ejecutivo fue el levantamiento topográfico del terreno en donde se construyó la gasolinera.

Equipo utilizado

El equipo que se utilizó para el levantamiento topográfico fue una estación total GPS L1, L2 & L5 + GLONASS en modo RTK marca TOPCON modelo GR-3, y escáner terrestre marca RIEGL LMS-Z420i.

Tipo de levantamiento

El sistema de coordenadas que se trabajó al realizar el levantamiento topográfico fue de proyección U.T.M. (Universal Transversal de Mercator) Zona 12 Norte referenciado al Datum WGS84 derivado a partir de observaciones GPS. Para la transformación de coordenadas topográficas se usó el factor de escala de 1.0005053521 aplicado a partir del punto base. Las elevaciones mostradas son ortométricas y están representadas en metros sobre el nivel medio del mar, para su derivación se utilizó el modelo GEOIDAL EGM96. Esto se realiza usando el software MAGNET TOOLS de Topcon.

Se trabaja en coordenadas UTM, porque muchas organizaciones cartográficas nacionales y del exterior, utilizan la llamada cuadrícula UTM, basada en la proyección cartográfica del mismo nombre. Dicha cuadrícula es un reticulado impreso en las primeras cartas editadas a la escala de 1:50,000 a intervalos de 10 km. La tierra se divide en 60 partes iguales, cada división tiene una extensión en

longitud geográfica de 6 grados de arco (figura 2.1). Lo que resulta de esta división es la representación de las denominadas zonas UTM. Se puede observar que la mayor parte del Estado de Sonora está localizada en la Zona 12 Norte.

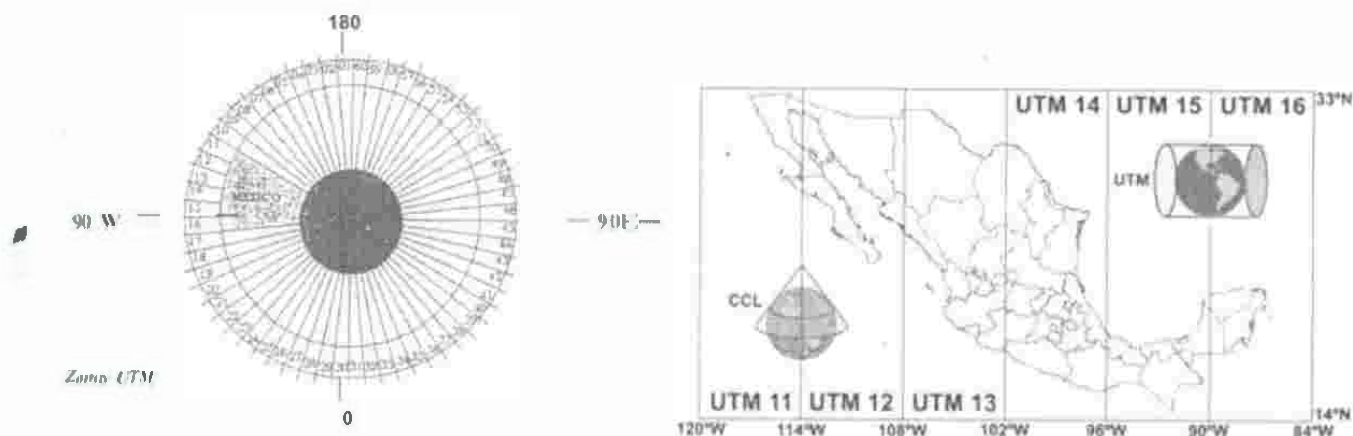


Figura 2.1 En la figura de la derecha están las 6 zonas UTM que abarca México

Fuente: [http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/Sistema de Coordenadas.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/Sistema%20de%20Coordenadas.pdf)

El WGS84 (World Geodetic System 84 por sus siglas en inglés) que significa Sistema Geodésico Mundial 1984, es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra que utiliza el GPS, con receptores tipo navegador o en nuestro caso el uso de la Estación Total GPS.

El levantamiento fue realizado con coordenadas arbitrarias, no se obtienen posiciones ligadas a un marco de referencia materializado y las referencias o "puntos de control" son las órbitas o posiciones predichas de los satélites en WGS84, que proporcionan las efemérides transmitidas, por lo tanto las posiciones obtenidas están ligadas también al WGS84. Sin embargo, las posiciones obtenidas del posicionamiento GPS de manera autónoma, en WGS84, tienen una incertidumbre de hasta 15 metros (Inegi), esto sucede ya que en nuestro país no existe una red de estaciones WGS84 a la cual ajustar nuevas mediciones en el campo.

GPS diferencial, es una técnica de posicionamiento relativo que combina y procesa las mediciones de dos o más receptores remotos mediante algoritmos sofisticados que permiten calcular las coordenadas relativas de los receptores con alta precisión.

Existe una serie de implementaciones de posicionamiento diferencial, incluyendo el levantamiento de post-proceso, levantamiento cinemático en tiempo real, radiofaros marítimos, satélites geostacionarios y de sistemas de aumentación basados en satélites.

El levantamiento fue realizado en el método cinemático en tiempo real (RTK del inglés *Real Time Kinematic*), es el método más preciso de levantamiento GPS. El método RTK requiere un mínimo de dos receptores que colecten datos de navegación y un enlace de datos de comunicación entre los dos receptores. Uno de los receptores se encuentra, por lo general, en una ubicación conocida (Base) (figura 2.2) y el otro en una ubicación desconocida (Rover o Móvil) (figura 2.3). El receptor Base colecta mediciones de fase portadora, genera correcciones RTK, y envía estos datos al receptor Rover. El Rover procesa estos datos transmitidos con sus propias observaciones de fase portadora para calcular su posición relativa con alta precisión, logrando una precisión RTK de hasta 1 cm horizontal y 1.5 cm vertical.



Figura 2.2 Base



Figura 2.3 Rover o Móvil

Para lograr resultados de posicionamiento de calidad, se requieren los siguientes elementos: precisión, disponibilidad e integridad.

- Precisión. La precisión de una posición depende básicamente de la geometría satelital y de los errores de medición. Mientras mayor sea el número de satélites visibles, más fuerte será la señal, menor el número de DOP y más preciso el posicionamiento.
- Disponibilidad. Mientras mayor sea el número de satélites disponibles, más válida y precisa será la posición. Los objetos naturales y aquellos creados por el hombre pueden bloquear, interrumpir y debilitar las señales, reduciendo el número disponible de satélites y afectando de manera negativa la recepción de señales.
- Integridad. La tolerancia a las fallas hace posible que una posición sea más íntegra, mejorando así la precisión de la misma; cinco o más satélites sólo para GPS o sólo GLONASS; seis o más satélites visibles para escenarios mixtos.

Cálculo del factor de escala

Para calcular el factor de escala de un punto, es necesario conocer la posición de tal punto, expresadas en coordenadas geodésicas y UTM. En la relación superficie terrestre contra Elipsoide, es esencial la altura del relieve terrestre, más específicamente la altura sobre el elipsoide (h), de esa forma la reducción de distancias horizontales (Dhz) al elipsoide (S) se expresa como factor de altura Kh.

$$Kh = \frac{R+h}{R} \text{ con: } Dhz = Kh * S \text{ (Zepada y Ortiz 2010)}$$

En que:

R: radio medio

h: altura elipsoidal

Dhz: distancia horizontal (sobre el terreno)

S: distancia geodésica (sobre el elipsoide)

Debido a la fuerte variación del relieve en el territorio sonorensé, Kh toma valores desde Kh=1 hasta valores superiores a Kh=1.0050, es decir diferencias mayores a 50 centímetros por kilómetro.

Terrestrial Laser Scanning (TLS)

El escáner láser terrestre TLS es un método nuevo y eficiente para digitalizar objetos grandes o escenas enteras; se basa en la utilización de un dispositivo terrestre que usa un láser que mide ángulos, distancias e intensidad de los puntos iluminados, de manera sistemática, a una tasa elevada y en tiempos reales. El resultado es una nube de puntos 3D que representa el área escaneada.

No es el sustituto de técnicas existentes, sino una alternativa que disfruta de ciertas ventajas como son velocidad y exactitud en las medidas. A día de hoy hay un gran interés en el desarrollo de las técnicas relacionadas con el TLS para diferentes tipos de aplicaciones cómo pueden ser la reconstrucción y modelado de datos 3D, el análisis de deformaciones, arquitectura, etc.

Los TLS son aparatos de elevada precisión, capaces de trabajar en diferentes entornos bajo condiciones atmosféricas adversas. Utilizan medidas taquimétricas, que consisten en la combinación de la medida de distancias y ángulos. El escáner barre todo su campo visual (Field of View, FoV), variando la dirección del rayo láser para poder escanear los diferentes puntos del terreno. Esto lo puede realizar de dos maneras diferentes: rotando el propio dispositivo o bien utilizando un sistema de espejos rotativos. Este último método es el más utilizado, puesto que los espejos son más ligeros y pueden girar más deprisa y con una gran precisión. El escáner horizontal se denomina frame scan y puede tener un FoV desde 40° hasta 360°. El escaner vertical es el line scan y puede lograr un FoV desde 40° hasta 310°.

El principio básico de funcionamiento del TLS RIEGL LMS-Z420i y en este análisis para los Terrestrial Laser Scanning (TLS) en general, consiste en la proyección de una señal óptica sobre un determinado objeto, y el correspondiente procesado de la señal reflejada para determinar la distancia a la que se encuentra;

la precisión en las medidas de distancia depende de la intensidad de esta última. Por cada señal reflejada se obtienen las siguientes medidas: dos ángulos correspondientes a α (vertical) y θ (horizontal), la distancia ρ y la intensidad.

Mediante los ángulos es capaz de definir la posición de cada uno de los puntos de la escena en un sistema de coordenadas polares, que internamente es transformado a un sistema cartesiano utilizando las siguientes ecuaciones.

$$x = \rho \cos\alpha \sin\theta$$

$$y = \rho \cos\alpha \cos\theta$$

$$z = \rho \sin\alpha$$

Donde:

α, θ : ángulos en coordenadas polares

ρ : distancia en coordenadas polares

x, y, z : coordenadas cartesianas

Además, la intensidad de la señal devuelta es también almacenada. La intensidad es una medida de la energía recibida por cada punto. Con todo, el TLS crea una nube de puntos dónde cada punto queda determinado por su posición (X, Y, Z) tal y como se muestra en la figura 2.4.

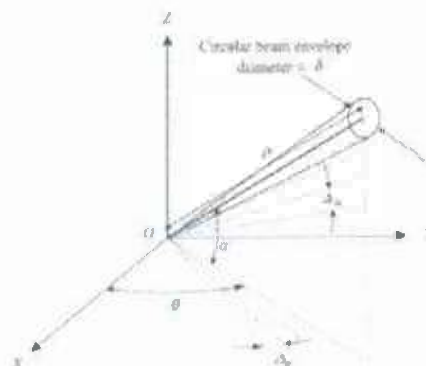


Figura 2.4 Coordenadas polares de un punto medido con TLS

Fuente: Imagen de google

Aplicaciones del TLS

En un principio, los escáneres láser eran de corto alcance y se utilizaban principalmente en el diseño automatizado e industrial para facilitar el Diseño Asistido por Ordenador (DAO-CAD en inglés). Los escáneres láser de medio alcance fueron desarrollados para la industria petroquímica, debido a la complejidad de sus plantas, que sólo estaban documentadas como planos en dos dimensiones, los escáneres láser permitieron la gestión completa en tres dimensiones.

Otras disciplinas como el patrimonio cultural, la arquitectura, el desarrollo urbanístico, la medicina forense y las industrias del entretenimiento están empezando a adoptar esta tecnología gracias a las ventajas obvias del láser escáner: la inexistencia de contacto en las mediciones, la alta precisión, el largo alcance, la rápida adquisición, etc. (figura 2.5).

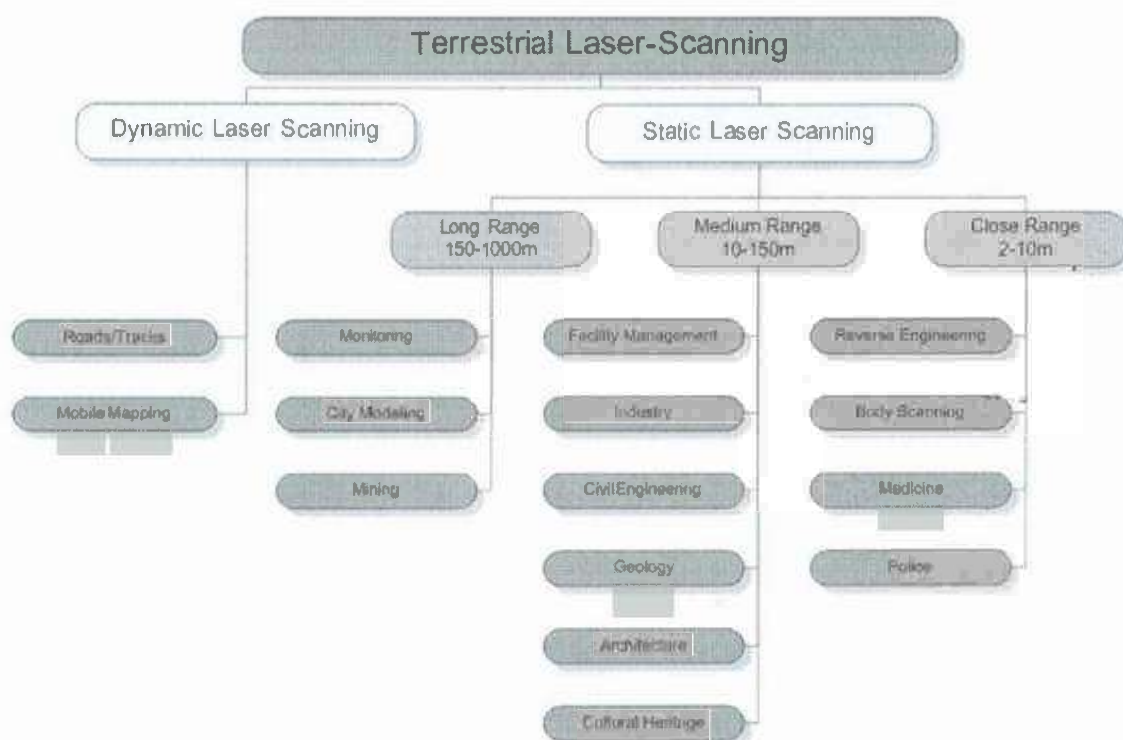


Figura 2.5 Aplicaciones del TLS

Fuente: (Ingresad y Schulz 2003)

Escaneo láser en la práctica

Utilizar un escáner láser en la captura de un área no es solo apretar un botón y esperar a que se obtenga los resultados, se requiere un profundo conocimiento del equipo y del proceso de escaneado. Algunos pasos del proceso de escaneado son bastante automáticos mientras que otros todavía requieren una labor intensa.

Planificación

De momento no hay ningún proceso estándar para la planificación de un TLS. Sin embargo, la planificación debe contener, como mínimo, los siguientes puntos de acuerdo con la comunidad de usuarios de escáneres láser (figura 2.6):

- Determinar los objetivos.
- Análisis del área a levantar.
- Determinar las técnicas de medición y el equipamiento.
- Gestión de los datos.

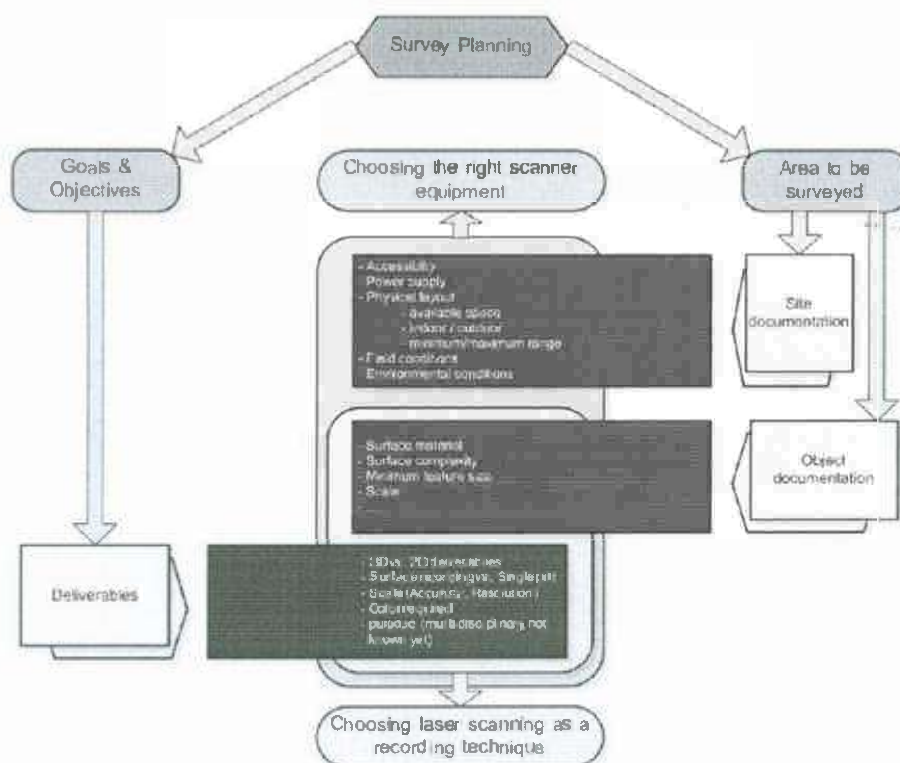


Figura 2.6 Diagrama de planificación

Fuente: (Ingresad y Schulz 2003)

Determinar los objetivos

Unos de los puntos clave cuando se escanea un objeto o área, son las necesidades del cliente. Para entender completamente las necesidades del cliente debemos responder algunas preguntas:

- ¿Por qué el cliente quiere que se documente ese objeto o área y qué quiere hacer con los datos del levantamiento?
- La justificación de la necesidad del levantamiento. A menudo, el cliente puede pensar que el TLS es la herramienta perfecta para su problema o proyecto porque ha escuchado que una buena compañía lo ha usado. O, incluso, al contrario, el cliente puede no estar seguro del TLS y confía más en las técnicas tradicionales. Sabiendo las necesidades de los clientes, se puede ofrecer una guía sobre las técnicas de medición más apropiadas.
- ¿Qué resultados necesita?

En relación a la información a entregar, es necesario definir los documentos a entregar, éstos pueden ser desde planos 2D y elevaciones hasta modelos 3D o incluso animaciones 3D (Barber, Bryan y Mills 2003).

Análisis del área a levantar

Recopilar la mayor información sobre el área del proyecto a documentar, para conocer la complejidad y el tiempo necesario para realizar la tarea. La resolución requerida y la precisión de la documentación están condicionadas por la escala del levantamiento; notas de campo, informes, mapas, fotografías o videos del lugar pueden ayudar a determinar los posibles riesgos del momento de captura, así como la información de levantamientos anteriores que pudieran haber sido realizados con otras técnicas (mediciones a mano, con GPS o con estación total).

Usando todos estos datos, se puede tomar una decisión acertada acerca de la técnica más adecuada; en caso de seleccionarse el TLS, se puede determinar el tipo. El TLS es una técnica altamente desarrollada, pero no siempre es la solución

más efectiva. Algunas veces es mucho más fácil y eficiente usar alguna otra técnica, algunas razones para elegir el TLS son:

- Estructuras de superficies muy complejas.
- Necesidad de entregar planos en 3D.
- Necesidad de medición de superficies en lugar de mediciones puntuales.
- En la minería, tanto de cielo abierto como subterráneas.

Determinación de las posiciones óptimas del TLS

Una vez recopilada la información del sitio, hay que planificar el emplazamiento del equipo TLS así como los puntos de referencia, este tipo de planificación es necesaria al realizar un escaneo de un edificio.

Las posiciones óptimas para el posicionamiento del escáner se deben elegir de manera que garanticen una máxima cobertura, precisión, y se minimice el número de inicializaciones. La precisión de la medición depende del diámetro de la huella del láser, indicándose que el ángulo de incidencia (de 80° en nuestro equipo de escáner) y el alcance (de hasta 1,000 m) (ver figura 2.7) son de gran importancia para determinar la posición del escáner (figura 2.8). La siguiente lista proporciona un conjunto de reglas prioritarias a tener en cuenta cuando se determina la posición óptima del escáner.

- Comprobar que las posiciones cubren la mayor área posible sin obstáculos en la línea de vista y que se producen las menos sombras posibles.
- Comprobar que se cumplen los alcances mínimo y máximo para alcanzar la precisión requerida.
- Minimizar la aparición de pequeños ángulos de intersección.
- Visibilidad de los puntos de referencia artificial o natural.

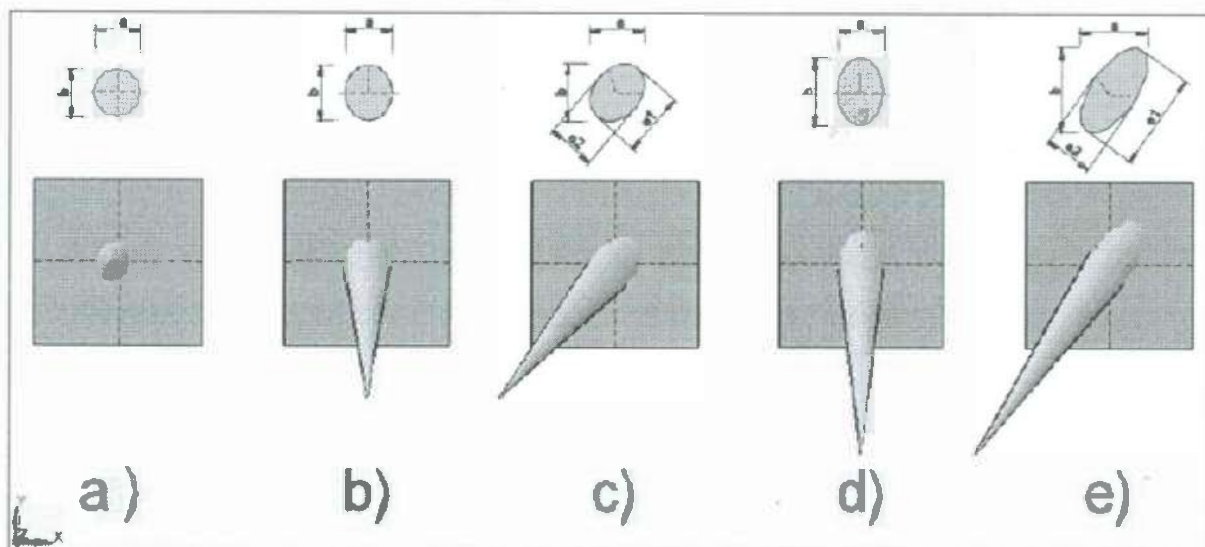


Figura 2.7 Huellas del láser cuando se escanea con diferentes ángulos

Fuente: (Carr, Douglas y Crosby 2013)

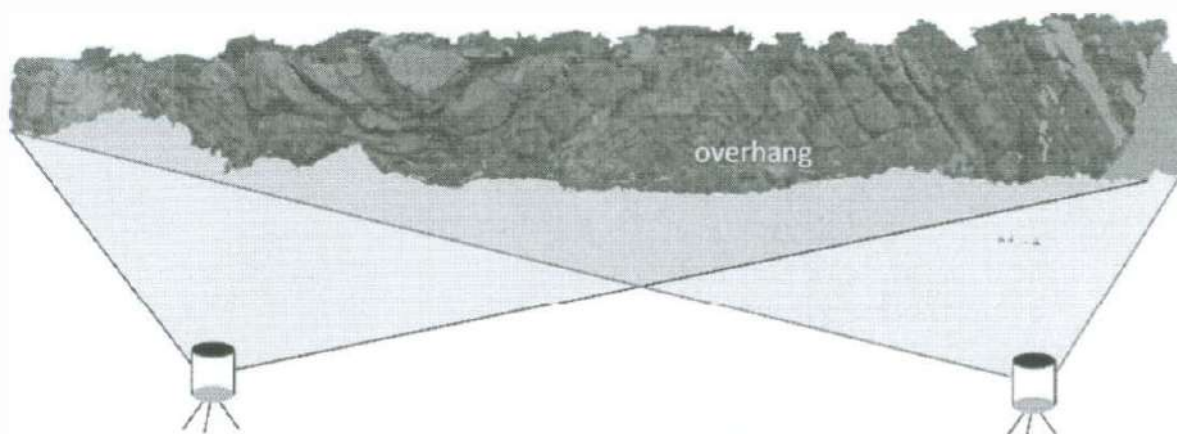


Figura 2.8 Posiciones del TLS

Fuente: (Carr, Douglas y Crosby 2013)

Se necesitan múltiples posiciones del escáner para obtener la cobertura máxima del área

Determinación de las posiciones óptimas de los puntos de referencia

Junto a las posiciones óptimas del escáner, las posiciones geométricas de los puntos de referencia también son importantes. Los puntos de referencia se usan principalmente para registrar los escaneados realizados desde diferentes

posiciones. En el proyecto se utilizaron reflectores proporcionados por RIEGL, para que el escáner pueda detectar automáticamente estos reflectores.

Unos de los puntos más importantes cuando se utilizan los reflectores es que tienen que estar esparcidas lo más ampliamente posible, no solo en direcciones de los ejes X e Y, sino también en la dirección del eje Z.

VII.1 Preparación del levantamiento en campo

La fase de preparación del levantamiento incluye la toma de decisiones de registro a usar. La posición de un escáner en el campo sigue generalmente un procedimiento similar al de una estación total.

- Posicionamiento del tripié.
- Sujetar el escáner al tripié.
- Nivelar el escáner.

Conexión del escáner

Antes de encender el escáner, lo común es que deba estar conectado a una computadora portátil que pueda recibir y almacenar todos los puntos que tome el escáner y controle sus propiedades (figura 2.9). El escáner incluye su propio software para realizar el trabajo.



Figura 2.9 Preparación del escáner en campo

Toma de datos

En la mayoría de los programas (software) de control del escáner, la definición de la zona de escaneado y los parámetros de los ajustes pueden programarse de manera que se pueden escanear múltiples regiones de forma consecutiva con diferentes resoluciones. El proceso de escaneo es totalmente automático. Tras

apretar el botón de control en el programa, el escáner se mueve al punto de inicio y empieza a tomar puntos. Estos puntos se almacenan en la computadora portátil. Como la computadora portátil está conectada directamente al escáner, los puntos se visualizan directamente en tres dimensiones en la pantalla y dan una vista del área que se está escaneando.

- Posicionamiento del escáner: El primer paso es seleccionar efectivamente las posiciones del escáner en donde tendrás la mejor cobertura del terreno y minimizar puntos ciegos. En el área donde se realizó el levantamiento, el terreno estaba quebradizo y se tuvieron que realizar 10 escaneos para asegurar cubrir todo el terreno.
- Posicionamiento de los reflectores: Los reflectores son esenciales en el levantamiento, debido a la múltiple toma de escaneo que se realizó, los reflectores se vuelven puntos estáticos que nos ayudan a producir una imagen 3-dimensional con los múltiples escaneos sobre el terreno (figura 2.10). Los reflectores no se deben de colocar en una forma lineal o amontonados, pero deben ser dispersados uniformemente alrededor de todo el área a escanear (tanto horizontal como vertical) (figura 2.11). Como mínimo se recomiendan usar por lo menos tres reflectores, pero es muy recomendable usar al menos cinco reflectores para tomar en cuenta los que son bloqueados por la vista del láser, ya sea por una compleja topografía y otros problemas como la densa vegetación. Entre más reflectores en común entre escaneos, mayor será la precisión del producto final de datos de la nube de puntos. Los reflectores no deben de moverse durante el escaneo, por lo que una colocación segura es vital. El movimiento introducirá un error y, posiblemente, puede ser lo suficientemente grave como para tener que reiniciar el trabajo de nuevo. Los primeros dos pasos antes mencionados son los más importantes a seguir para tener un buen escaneo y debe ser planeado antes de empezar (figura 2.12).



Figura 2.10 Reflectores usados durante el escaneo

Figura 2.11 Ejemplos de buena a mala colocación de reflectores geoméricamente representados desde el punto del centro (escáner) a los reflectores colocados en el campo

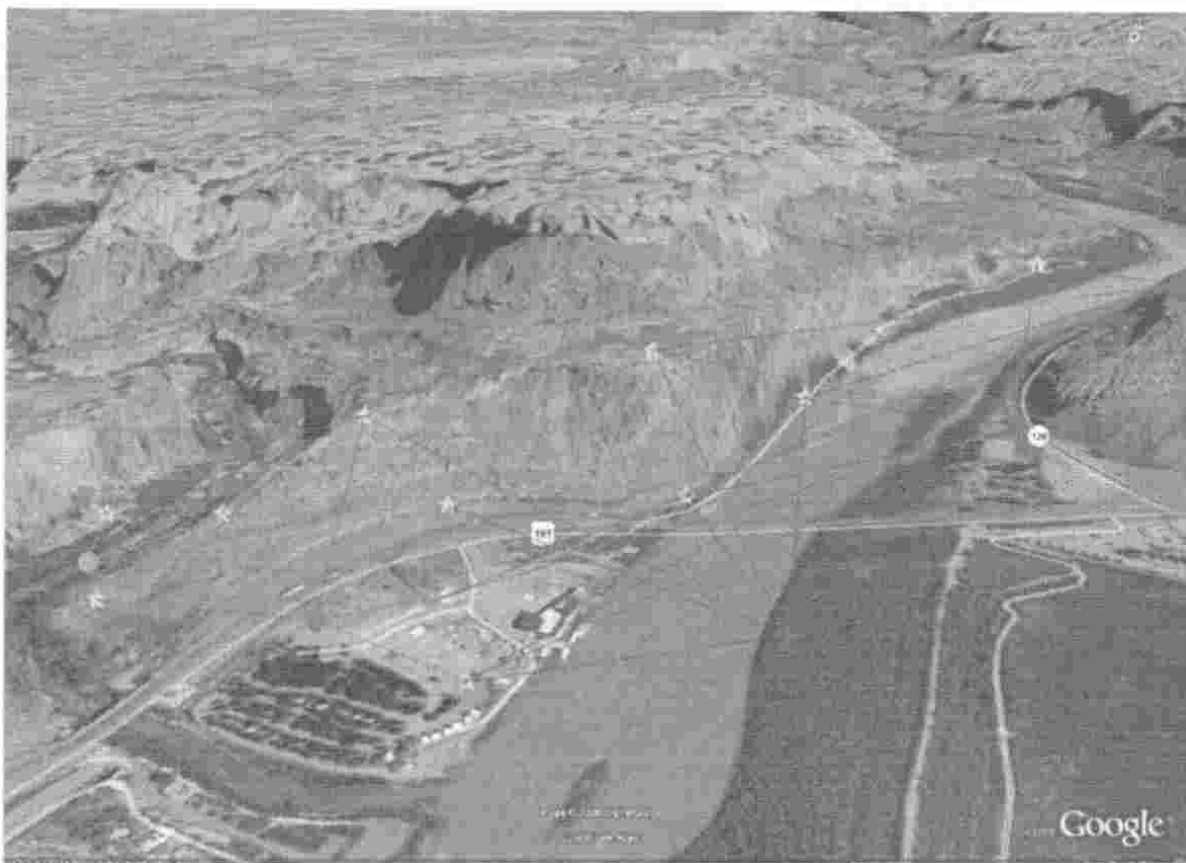


Figura 2.12 Imagen de Google Earth de un sitio cerca de Moab, Utah, es un gran ejemplo de la buena colocación del escáner y los reflectores de control establecido.

- Medición de puntos de los reflectores: Parte del proceso de escaneo es tomar la medición de los reflectores, como en el proyecto se tenía que entregar un trabajo georeferenciado, se realizó la toma de medición con un equipo GPS en modo RTK (Real Time Kinnematic). El levantamiento en RTK es un método de uso rápido, con lecturas de puntos en tiempo real y menos equipo con que cargar en el campo (figura 2.13)

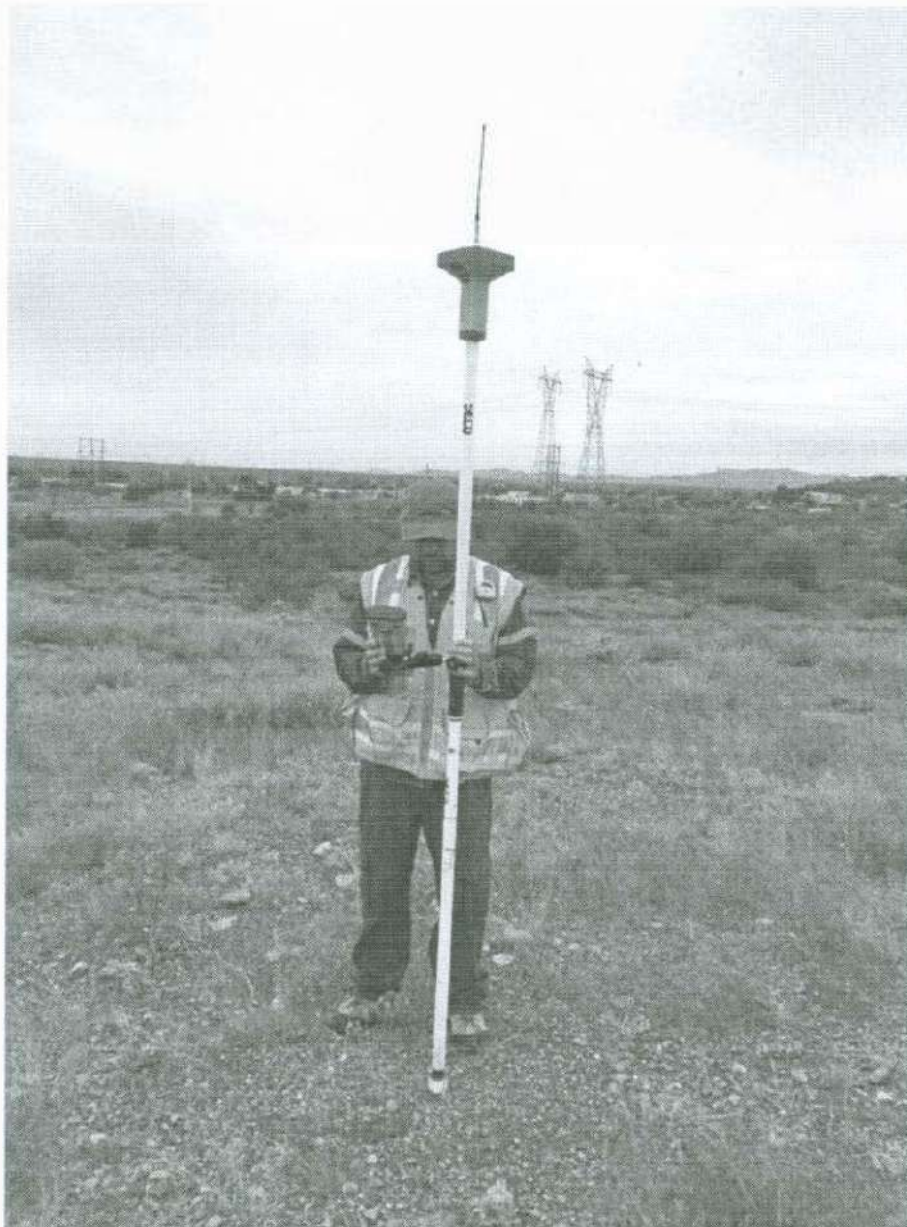


Figura 2.13 Tomando mediciones de los reflectores con GPS

- Parámetros: Es importante considerar varios parámetros, como el espaciamiento de los reflectores y la localización del TLS antes de empezar con un escaneo. Otros parámetros a tener en cuenta es el ángulo del haz, que está relacionada con el ángulo que intersecta el área u objeto. Hay que asegurarse de tener ángulos fuertes, manteniendo la máxima cobertura e intersecciones entre los escaneos. Condiciones ambientales juegan un gran factor tal como la posición del sol con respecto al escáner. La reluctancia del material a escanear, las limitaciones de visibilidad debido a las nubes o neblina, el polvo, el relieve topográfico y vegetación también afecta a la calidad de los datos en retorno.
- Recolección de datos: Después de haber realizado el escaneado del área del proyecto y haber tomado la lectura de los reflectores con el GPS se puede empezar con el proceso de digitalización. Antes de procesar las nubes de puntos generadas por el escáner, los escaneados afectados por condiciones ambientales extremas o de los escaneados erróneos ocasionados por fallos humanos se eliminan del conjunto de datos. En algunos casos, también hace falta limpiar las nubes de puntos antes de registrarlas, sobre todo cuando las condiciones ambientales son malas.

Otro uso con el GPS en el campo

El área del proyecto donde se estuvo realizando el levantamiento con el TLS y el GPS está en la franja separadora de los carriles de circulación de la carretera Federal 15 en el municipio de Santa Ana, Son. Con el TLS se hizo el escaneo del área total al igual que ambos carriles de circulación de la carretera, para complementar el escaneo, se decidió hacer un levantamiento con el GPS de las líneas de circulación, al igual que las esquinas de los puentes de los arroyos que corren por el lado sur y norte del terreno.

VIII.II Trabajo de gabinete

Después de haber realizado todo el trabajo de campo, se llevaron los datos a gabinete para procesar los datos e información obtenida con el GPS y el TLS.

Proceso de datos

Para procesar los puntos que se levantaron con el GPS, se utilizó el programa MAGNET TOOLS de Topcon, con este programa se realizaron los cálculos para el factor de escala, utilizando el sistema de coordenadas de proyección U.T.M. Zona 12 Norte Datum WGS84 derivado a partir de observaciones G.P.S. Las elevaciones obtenidas son ortométricas y están representadas en metros sobre el nivel medio del mar, para su derivación se utilizó el modelo GEOIDAL EGM96 (figura 2.14).

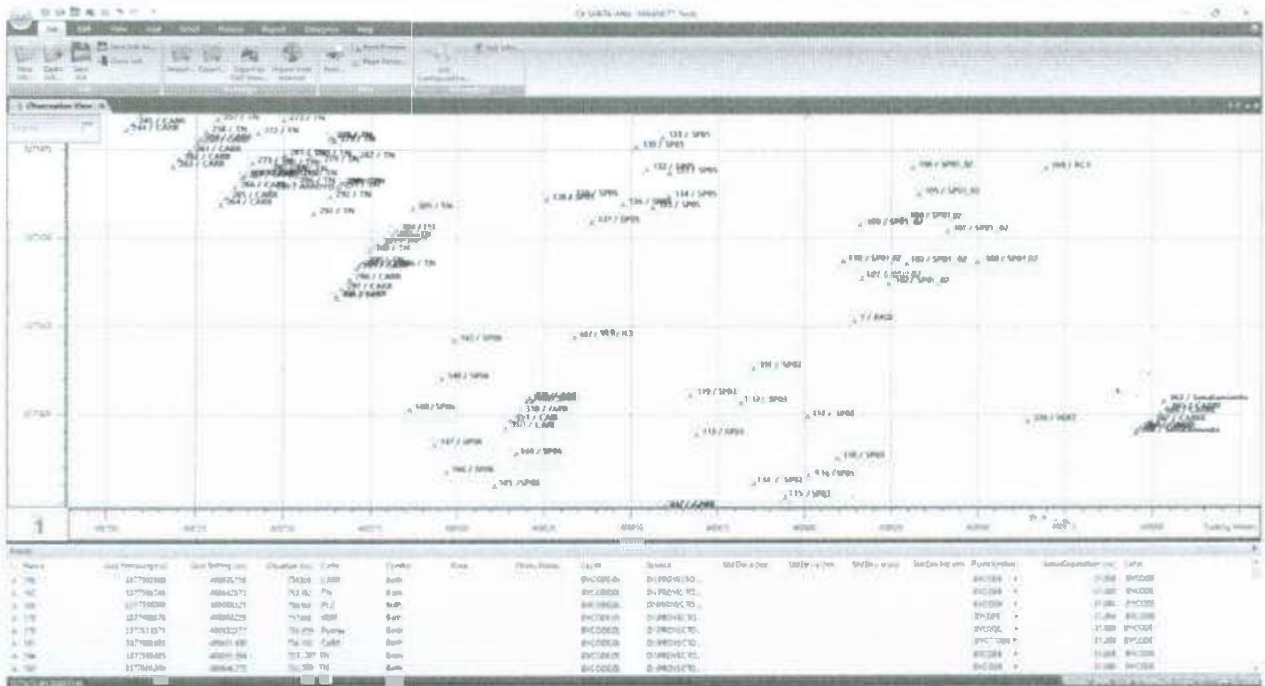


Figura 2.14 Proceso de datos tomados en campo con el GPS en el programa MAGNET-TOOLS

El proceso de datos del levantamiento del escáner es más complicado que el proceso de los puntos del GPS. Se usan varios programas para el proceso.

El programa utilizado en campo para el levantamiento con el TLS es el RISCAN PRO, con este programa se obtiene la nube de puntos, ya que se tienen los puntos procesados de los reflectores con coordenadas X, Y, Z del GPS, se insertan al RISCAN PRO para obtener las imágenes georeferenciadas (figura 2.15).

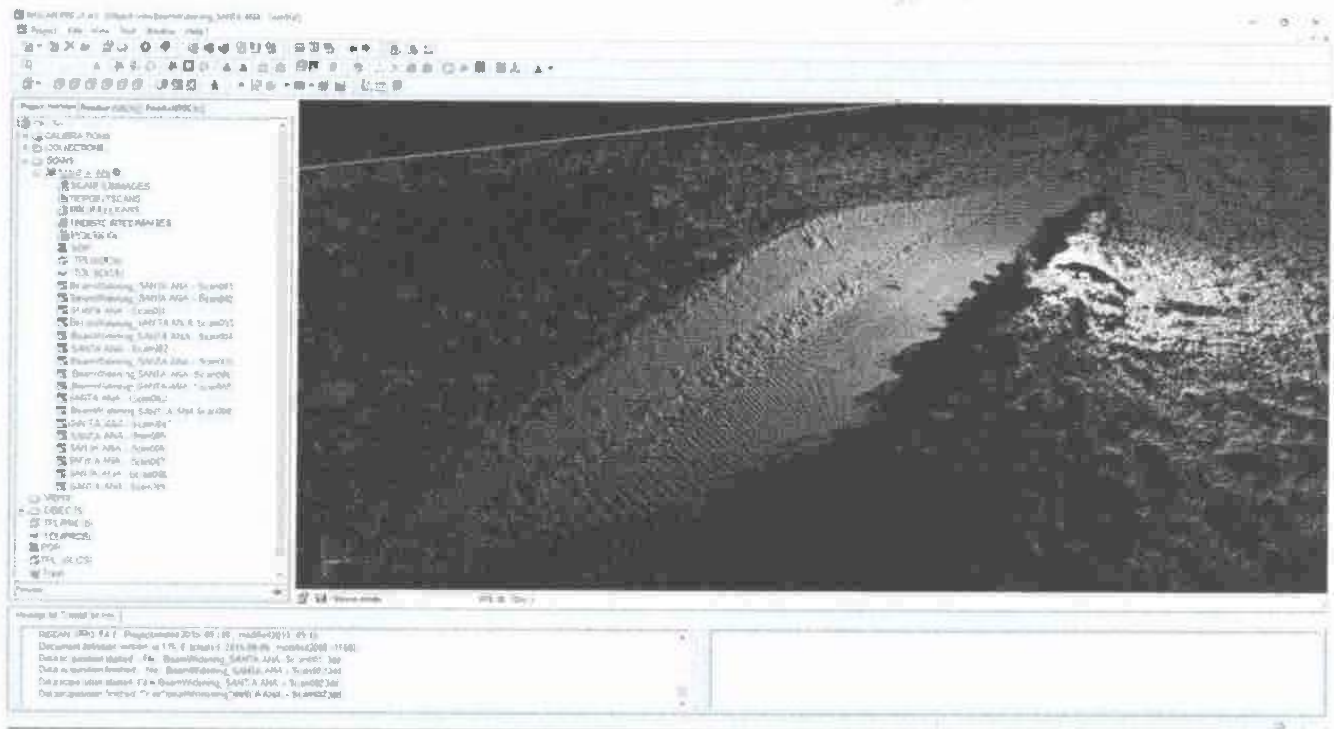


Figura 2.15 Proceso de datos tomados en campo con el TLS en el programa RISCAN PRO

El siguiente paso, es darle georeferencia a la nube de puntos o imágenes obtenidas del TLS sin reflectores. Aquí se juntan las imágenes con reflectores y sin reflectores y obtener un solo archivo del levantamiento en campo, se hace con el programa POLYWORKS (figura 2.16). En este programa se obtiene el Modelo Digital del Superficie DSM (Digital Surface Model), en esta imagen se muestra toda la nube de puntos incluyendo los árboles, postes, cables, carros, y personas.

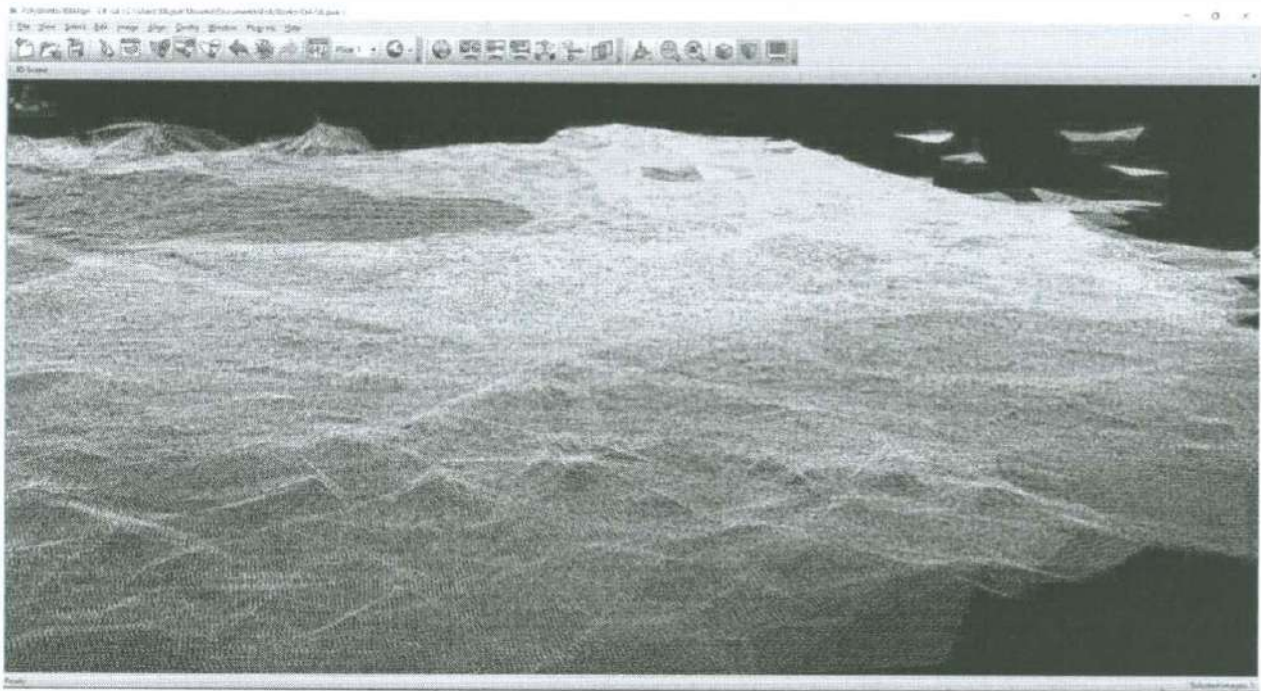


Figura 2.16 Proceso de nube de puntos con y sin reflectores usando el programa POLYWORKS

El paso para terminar con el proceso del TLS es la clasificación del terreno, que separa lo que es la vegetación, líneas eléctricas y terreno; para la clasificación de los puntos y obtener el resultado final del trabajo se utiliza el programa TERRASCAN, que es un modulo que trabaja dentro de la plataforma MICROSTATION (figura 2.17).

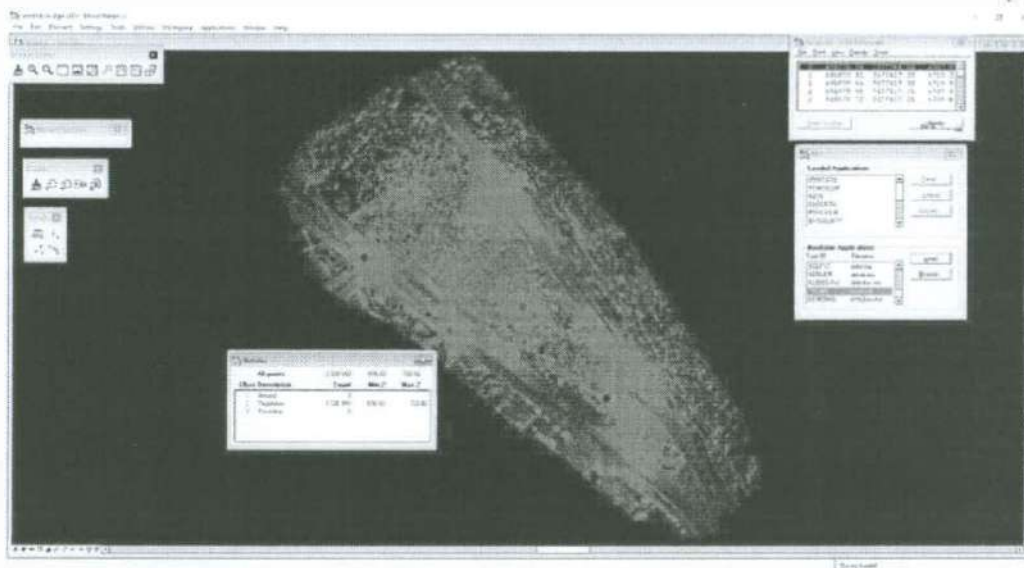


Figura 2.17 Proceso de separación y clasificación de puntos en TERRASCAN

Con este último programa de TERRASCAN se obtienen los resultados finales del trabajo de campo, los resultados se entregan en formato .txt, para que el cliente pueda utilizar los datos en diferentes programas dependiendo del proyecto a realizar. Por ejemplo, en la minería y geología, los pueden usar en el programa MineSight o en el GlobalMapper. Para un proyecto de ingeniería civil se puede utilizar usando los programas AutoCAD, CivilCAD, Civil3D y GlobalMapper, para crear las triangulaciones del terreno y las curvas de nivel para el proyecto o estudio a realizar.

También utilice el programa Civil3D, en este mismo proyecto se realizó la triangulación y las curvas de nivel, el diseño y proyecto ejecutivo de integración vial a la carretera Federal, con el apoyo del programa Civil3D.

IX. Resultados obtenidos

Los resultados finales obtenidos del TLS, fue el de un levantamiento realizado en menos de 3 horas, fue de 317,231 puntos del terreno. Lo que significa que logramos en levantamiento muy detallado del terreno y carretera, (figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8).

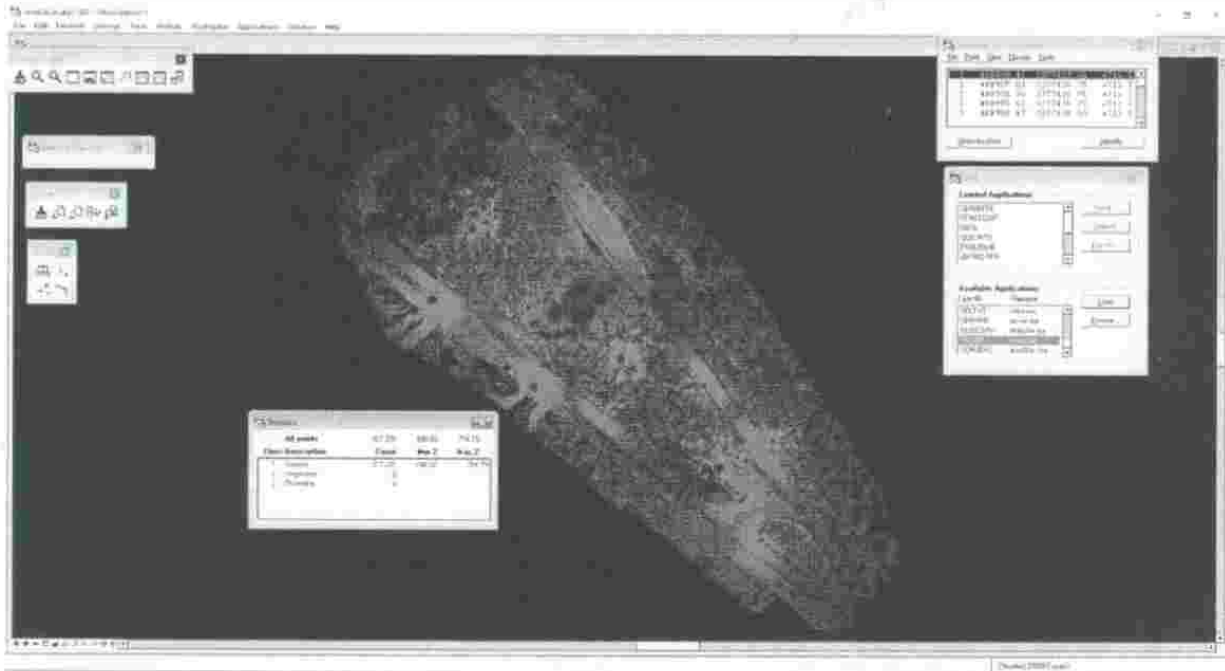


Figura 3.1 Imagen final del levantamiento del TLS del terreno

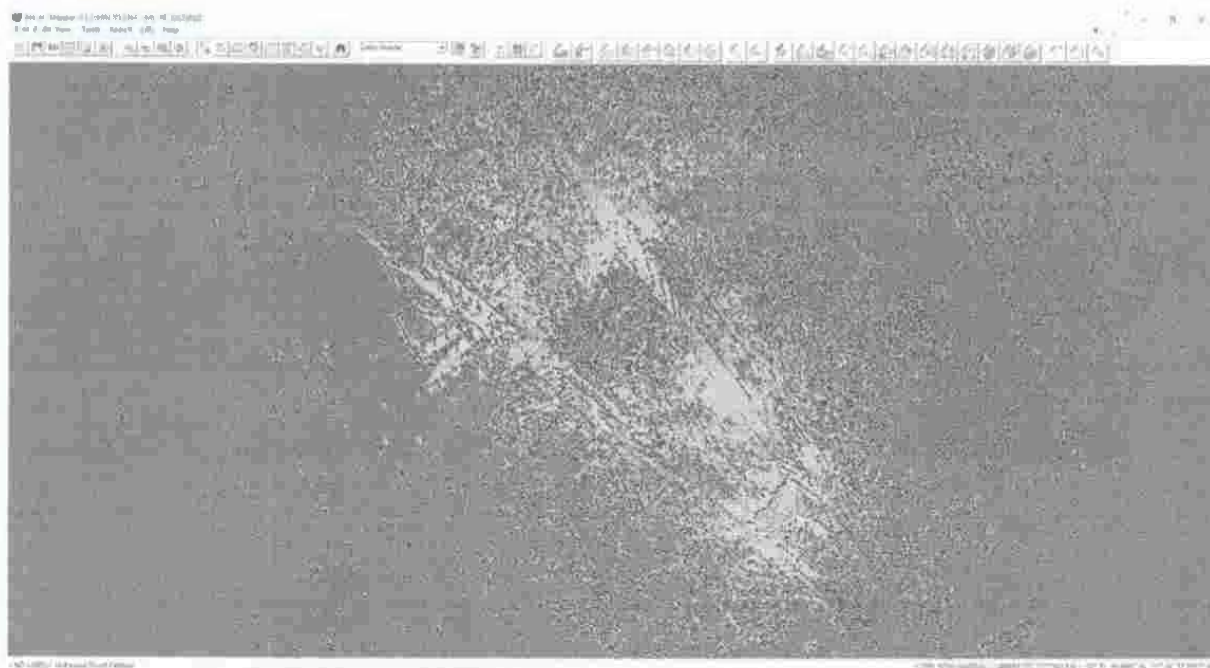


Figura 3.2 Imagen procesada en el programa GlobalMapper de los puntos del levantamiento



Figura 3.3 Imagen procesada en el programa GlobalMapper de las curvas de nivel

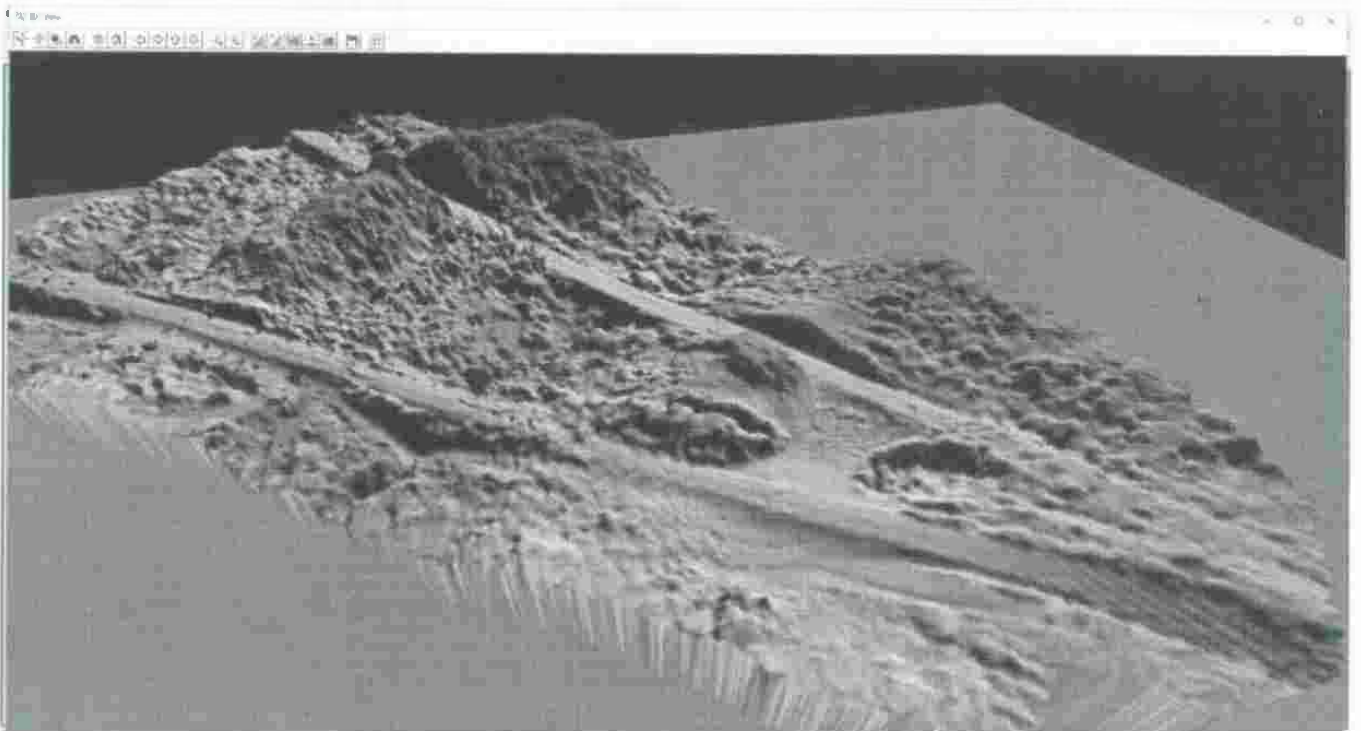


Figura 3.4 Imagen procesada en el programa GlobalMapper

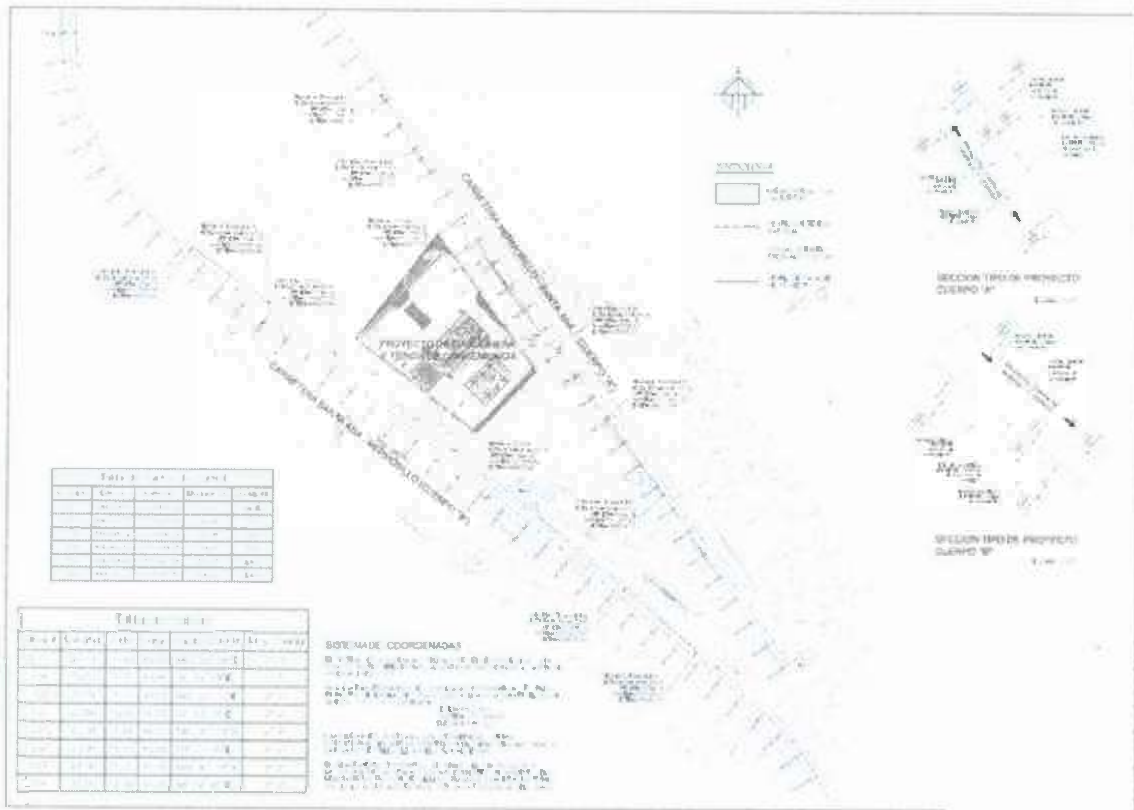


Figura 3.5 Plano de integración vial a la carretera Federal

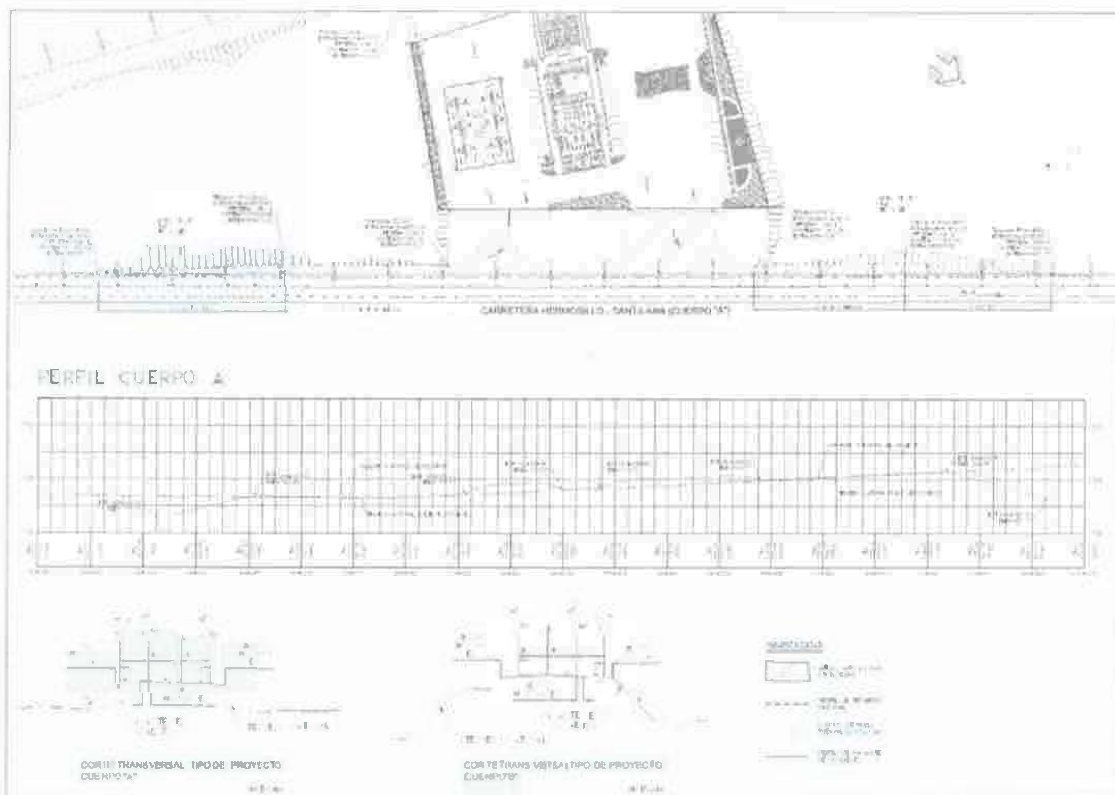


Figura 3.6 Plano de integración vial a la carretera Federal

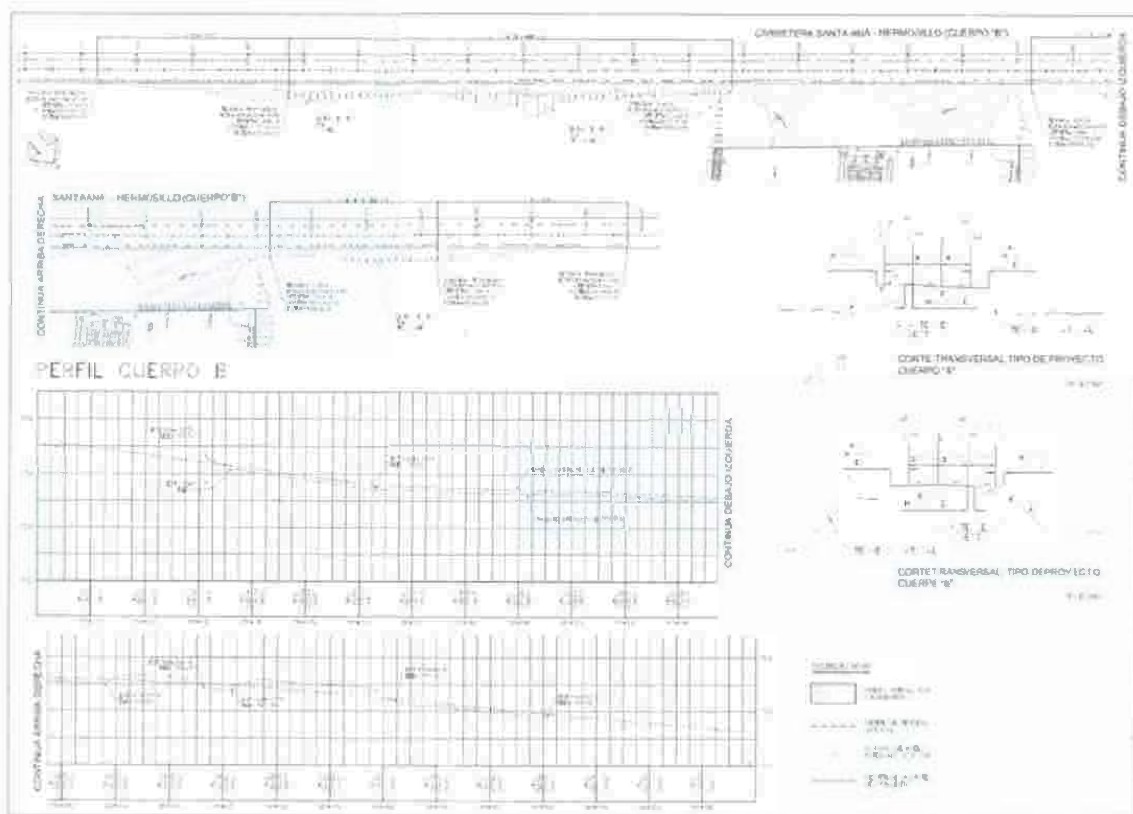


Figura 3.7 Plano de integración vial a la carretera Federal

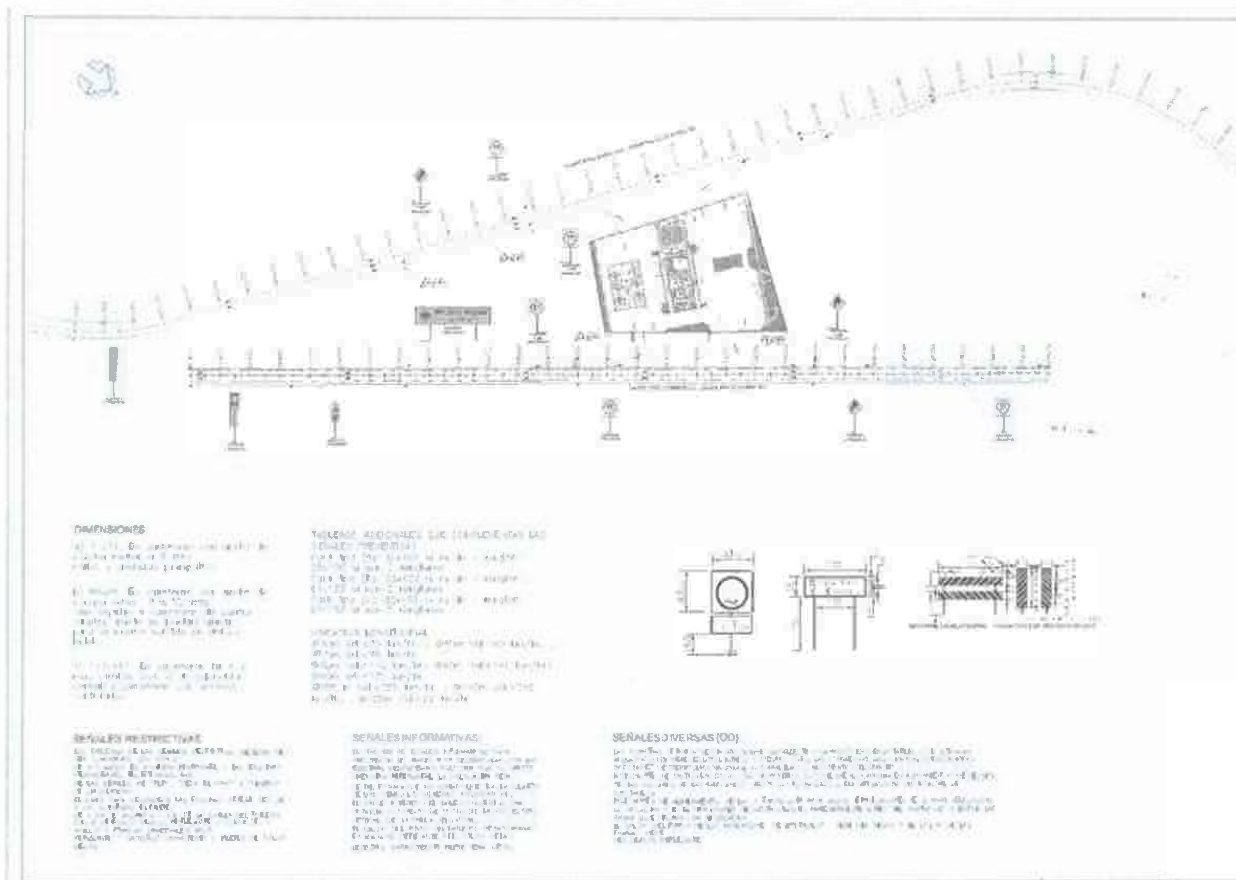


Figura 3.8 Plano de señalización

X. Conclusiones y recomendaciones

Las prácticas profesionales, es una de las mejores etapas de la carrera, te hacen crecer laboralmente sobre todo si te gusta lo que estas aprendiendo. Un consejo que les diera a los estudiantes de ingeniería civil es que elijan bien en el ramo donde quieran realizar sus prácticas profesionales ya que es el comienzo de su desempeño profesional.

El conocimiento adquirido es solo el principio de una carrera profesional que me espera adelante, me han dado gran experiencia en el campo y ayudado para relacionarme con los clientes.

Al finalizar el proyecto de prácticas profesionales me di cuenta de que tan necesario e importante es estarse actualizando con nuevos programas computacionales, equipos de trabajo (como el GPS y TLS) y nuevas herramientas tecnológicas que facilitan el trabajo tanto en campo como en gabinete.

Las recomendaciones que les puedo dar a los estudiantes de ingeniería civil, es asistir a pláticas y conferencias sobre el uso de nuevas tecnologías, programas y equipos de trabajo.

XI. Retroalimentación

Fortalezas y Debilidades

Al realizar las prácticas profesionales, uno se enfrenta no solamente a problemas técnicos que se nos presentan en el trabajo, sino también aprender a usar nuevas tecnologías y herramientas para realizar el trabajo, también te enfrentas a relacionarse con personas en el mismo ámbito laboral. Personas con temperamento alto, que pueden llegar a ser muy ruda; pero también otras que son amigables que está dispuesta a aportar su tiempo libre para ayudarte a mejorar y aprender nuevas y viejas técnicas de trabajo.

Diariamente tenemos que actualizar los conocimientos en el área de trabajo y no conformarnos con que te digan se hace de tal forma sin preguntar el por qué, hay que poner de nuestra parte y ver la manera de implementar una forma más eficaz y/o rápida de hacerla.

Le doy un agradecimiento especial al tutor de la empresa, por haber compartido sus conocimientos y ser un guía en el proceso de la realización de las prácticas profesionales, debemos de poner el máximo empeño para aprender al máximo el tiempo que nos están dedicando para nuestro aprendizaje laboral y profesional.

Tuve la oportunidad de trabajar con un escáner terrestre (TLS) con tecnología de punta, aprovechando al máximo mis oportunidades aprendiendo a conocer sus funciones, beneficios y límites de trabajo. También tuve la oportunidad de trabajar con un GPS y así facilitar nuestro trabajo en campo. El manejo de estas herramientas abren nuevas oportunidades en el campo laboral; en nuestro estado, en el país y en el extranjero.

El conocimiento adquirido de mis maestros durante mis estudios, fue fundamental para poder entender los comienzos teóricos de los problemas a enfrentar en el campo laboral. Temas que en su momento pensaba que no me

ayudarían en un futuro laboral, fueron los que me ayudaron a entender el por qué y para qué, tanto en trabajo de campo como en gabinete.

Las debilidades que enfrente durante mis prácticas profesionales fueron el uso de nuevas tecnologías en el campo laboral, en el salón de clases la mayoría de las materias son teóricas y, está en nosotros mismos el aprender sobre el uso y funcionamiento de las herramientas y nuevas tecnologías que se usan actualmente en el campo laboral.

Oportunidades detectadas y recomendaciones

Una de las oportunidades más grandes que obtuve, fue el trabajar con nuevas tecnologías en herramientas de trabajo, aplicadas a la topografía con equipos como lo es; el escáner terrestre (TLS) de RIEGL, y el GPS de la marca TOPCON y TRIMBLE.

Tuve la oportunidad de relacionarme con ingenieros y empresarios, me sirvió para crear oportunidades a futuro y tener más relaciones laborales.

Las recomendaciones que le daría al Departamento de Ingeniería Civil, que implementaran más el uso de nuevas tecnologías en nuevas materias. Que impartieran materias obligatorias del uso del GPS en la topografía o materias de geodesia para entender el uso del GPS, así como el uso del software Civil3D, para implementarlo no solo en topografía, pero también en redes de agua potable, alcantarillado, drenaje pluvial y urbanización en general. Enfocar materias optativas en la práctica y uso de nuevas tecnologías en cuanto a diseño, y no enfocadas a la ejecución de la obra, no todos los estudiantes de ingeniería civil queremos dedicarnos a la construcción.

VIII. Bibliografía

- Barber, D., J. Mills, and P. Bryan. *Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage*. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm5/papers/187.pdf>
- DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, F. *Topografía General y Aplicada (1978)*
- Inegi. Marcos de Referencia/Departamento de Evaluación Geodésica *Obtención de coordenadas con GPS en ITRF y su relación con WGS84 y NAD27*
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/doc/posicionamiento_gps_itrif.pdf
- Ingesand, H., A. Ryf, and T. Schulz. *Performances and experiences in terrestrial scanning*. in *Proc. Optical 3D Measurement Techniques*. 2003. Zurich, Switzerland.
- Kopacik, A. and M. Korbasova. *Optimal Configuration of Standpoints by Application of Laser Terrestrial Scanners*.
- Park H.S., Lee H.M., Adell H., Lee I. A. New Approach for Health Monitoring of Structures: Terrestrial Laser Scanning. *Computer-Aided Civil Infrastruct. Eng.* 2007;22:19–30.
- Raquel Pachas R. *El levantamiento topográfico: Uso del GPS y Estación Total*
- Shawn Carr (UNAVCO), Bruce Douglas (Indiana University), Christopher Crosby (UNAVCO). *Terrestrial Laser Scanning (TLS) Field Camp Manual*. UNAVCO Boulder, Co v1.3– 2013.
- Torres y Villante (2001) *Topografía*
- Vosselman G., Maas H. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing; Calthness, UK: 2010. pp. 12–53.
- Zepeda, R y Ortiz, D (2000/01/01) Deformación de Distancias Horizontales en la Proyección UTM. MundoGEO. Recuperada de <http://mundogeo.com>
- [http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/Sistema de Coordenadas.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/Sistema%20de%20Coordenadas.pdf)

- http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/doc/posicionamiento_gps_itrf.pdf
- Manual de Operador Topcon GR-3
- Hoja de especificaciones de RIEGL LMS-Z420i
http://www.upc.edu/sct/documents_equipament/d_289_id-716.pdf
- https://www.google.com.mx/search?q=gps+satellite&espv=2&biw=1439&bih=766&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjLsfLO7rzPAhVI5oMKHTHUAB0Q_AUIBigB#imgrc=5l9xd_BJmLr-2M%3A (Imagen de google)
- https://www.google.com.mx/search?q=coordinates+of+terrestrial+laser+scanning&espv=2&biw=1439&bih=766&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjwvi2Snr3PAhVM9YMKHfh2DRkQ_AUIBigB#tbm=isch&g=circular+beam+coordinates+of+terrestrial+laser+scanning+cos&imgrc=hMaFEngkyTo0M%3A (Imagen de google)