

# EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: USO DEL GPS Y ESTACIÓN TOTAL

## Surveying: Use of GPS and Total Station

Recibido: 02/10/09  
Aprobado: 23/11/09

Raquel Pachas L.

Laboratorio de Topografía. Departamento de Ingeniería.  
Núcleo Universitario Rafael Rangel. Universidad de Los Andes (ULA).  
Trujillo - Venezuela  
e-mail: [raquelpachas@ula.ve](mailto:raquelpachas@ula.ve)

### **Resumen**

Las actividades relacionadas al levantamiento topográfico han sido modificadas tremendamente durante las pasadas décadas por la incorporación de instrumentos de última tecnología entre los que se puede mencionar el GPS y la Estación Total. Es necesario resaltar que la característica de mayor importancia en esta modificación se evidencia en el proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de los datos de campo, así como en la representación gráfica de los mismos; esto ha traído como consecuencia la posibilidad de obtener un producto final con mayor precisión y rapidez. El uso que el profesional de la Ingeniería hace de la topografía tiene básicamente que ver con la definición de linderos y con el desarrollo de proyectos de infraestructura tales como urbanismos, carreteras, puentes, obras hidráulicas, acueductos, alcantarillado, riego y drenaje, etc., por lo tanto se hace necesario incorporar a los cursos de Topografía la enseñanza de los fundamentos y prácticas necesarias para que los estudiantes adquieran estos conocimientos y desarrollen las habilidades y destrezas que les permitan el manejo instrumental de equipos como el GPS y la Estación Total que conforman hoy en día el dúo de instrumentos más utilizados en la práctica topográfica.

---

**Palabras clave:** Levantamiento Topográfico, GPS, Estación Total, Posicionamiento

---

### **Abstract**

The activities related to surveying have been modified tremendously during the last decades by the incorporation of instruments of last technology among those it can be mentioned the GPS and the Total Station. It is necessary to stand out that the characteristics of more importance in this modification are evidenced in the capture, storage, calculation and transmission of the field data, as well as in its graphic representation; it has resulted in the possibility to obtain an end product with bigger precision and in a shorter period of time. The use that the professional of the Engineering makes of the topography has basically to do with the definition of boundaries and for the development of such infrastructure projects as urbanism, highways, bridges, works hydraulic, aqueducts, sewerage systems, irrigation and drainage, etc., therefore it becomes necessary to incorporate to the courses of

Topography the teaching of the necessary basis and practice so that students acquire these knowledge and may develop the necessary abilities and skills of the instrumental handling of instruments like GPS and Total Station that conform at the present time the duet of instruments used in topographical practice.

---

**Key words:** Surveying, GPS, Total Station, Positioning

---

### Introducción

El uso de las nuevas tecnologías ha alcanzado innumerables áreas del conocimiento, entre ellas la Topografía. Aun cuándo la tecnología GPS ha estado disponible desde hace mas de 30 años, su uso, manipulación y manejo de la información sigue presentando innumerables dudas, especialmente a los nuevos usuarios. En estos momentos el laboratorio de topografía del Núcleo Universitario Rafael Rangel de la Universidad de Los Andes, dispone de una Estación Total y recientemente ha adquirido un equipo diferencial GPS de una frecuencia. Este trabajo presenta la información básica relacionada con el uso de ambos equipos para apoyar el proceso de aprendizaje tanto de estudiantes de Ingeniería que cursan Topografía así como de aquellos profesionales que se inician en el uso de estas tecnologías; de manera que la información aquí presentada les sirva de apoyo al momento de realizar un levantamiento topográfico para que el producto obtenido cumpla con los parámetros de precisión, exactitud y calidad deseados en todo proyecto topográfico. El desarrollo de este trabajo presenta como eje central los distintos aspectos contemplados en el levantamiento topográfico haciendo énfasis en el uso del GPS para el posicionamiento, y de la Estación Total como binomio de equipos que han modificado de forma contundente

la manera de capturar, registrar, almacenar y procesar los datos de campo.

#### **Levantamiento Topográfico**

Se entiende por levantamiento Topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera; (Torres y Villate, 2001,p.17) lo resumen como “el proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra”. En los últimos años, la aparición de los levantamientos por satélite que pueden ser operados de día o de noche (Wolf y Brinker, 1997) incluso con lluvia y que no requiere de líneas de visual libres entre estaciones, ha representado un gran avance respecto a los procedimientos de levantamientos convencionales, que se basan en la medición de ángulos y distancias para la determinación de posiciones de puntos.

La aparición de nuevas tecnologías persigue prioritariamente (Swanston,

2006) mejorar la captura y registro de datos como es el caso de las libretas electrónicas que permite transformar esos datos en información en formatos digitales y gráficos. Aún cuando las nuevas tecnologías han impactado en el cómo se capturan y se procesan los datos, el conjunto de las actividades que contempla el levantamiento topográfico puede discriminarse en las mismas etapas que la topografía clásica tradicionalmente ha considerado, entre las que se puede mencionar la selección de equipos, planificación, señalización y captura de datos.

### **Equipos Topográficos**

En el presente trabajo se propone al GPS y a la Estación Total como equipos topográficos a ser utilizados en el levantamiento, es por tanto necesario que el usuario conozca los principios de funcionamiento de ambos; la información aquí presentada tiene como objetivo proporcionar al usuario una visión general de dichos principios. Para conocer en detalle su uso y manejo se deberá consultar los respectivos manuales del usuario, los cuales son suministrados por las casas comerciales al momento de su adquisición.

### **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

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 (Americano), GLONASS (Ruso) y GALILEO (Europeo) en proceso (2009)

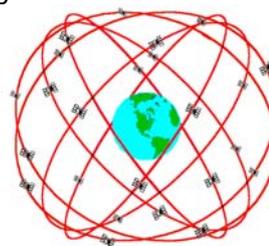
Torres y Villate (2001) lo define como un sistema de medición tridimensional que utiliza señales de radio que proporciona el sistema NAVSTAR, esta constelación está integrada por 24 satélites artificiales que orbitan la Tierra en 12 horas. Esto permite que

durante las 24 horas estén visibles al menos 5 a 8 satélites desde cualquier punto del planeta. Los satélites NAVSTAR, Figura 1, 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.

### **Segmento Espacial**

El segmento espacial está formado por los llamados vehículos espaciales o satélites que envían señales de radio desde el espacio.

Figura 1: Constelación NAVSTAR



Fuente: Dana P.H (1995)

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.

### **Segmento de Control**

Está formado por una red (Figura 2), de estaciones de monitoreo, ubicadas alrededor del mundo: Colorado (estación master), Hawai, Ascensión, Diego Garcia 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.

Figura 2 Estaciones Master y de Monitoreo



Fuente: Dana P.H (1995)

### **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 (Casanova, 2002) al instrumento que recibe y decodifica la señal del satélite calculando las coordenadas del punto deseado; es un equipo constituido (Figura 3), por una antena con preamplificador para capturar las señales emitidas por los satélites, canal de radio frecuencia, microprocesador para la reducción, almacenamiento y procesamiento de datos, oscilador de precisión para la generación de códigos pseudoaleatorios, fuente de energía eléctrica, interfase del usuario constituida por la pantalla, teclado y por un dispositivo de almacenamiento de datos.

Figura 3 Segmento del Usuario GPS



Fuente: Propia

Se dice también que el receptor GPS esta formado básicamente por tres componentes: el hardware, el software y el componente tecnológico que acompaña a cada uno de ellos. El receptor GPS (Wells et al, 1986) es la pieza del hardware utilizado para rastrear los satélites, es decir, para recibir las señales emitidas por los mismos.

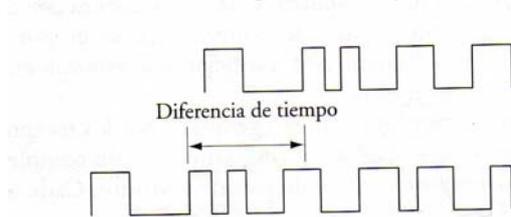
El sistema de posicionamiento global (Casanova, 2002) por satélite, GPS, se basa en la medición de distancias a partir de señales de radio transmitidas desde los satélites cuyas órbitas son conocidas con precisión y los receptores que se encuentran ubicados en los puntos cuya posición se desea determinar. La distancia de un satélite al receptor se calcula midiendo el tiempo de viaje de la señal de radio desde el satélite al receptor, conociendo la velocidad de la señal de radio, la distancia se calcula por medio de la ecuación de movimiento uniforme ( $d = v \times t$ ) distancia igual a velocidad por tiempo.

A la medición de distancias (McCormac, 2008) de una posición terrestre a satélites se le denomina medición satelital de distancias; se mide el tiempo requerido para que la señal de radio viaje desde el satélite a un receptor, luego este tiempo se multiplica por la velocidad de la luz; al valor resultante se le conoce como

pseudodistancia, el prefijo pseudo es equivalente a “falso”, ya que la distancia obtenida tiene error, este error se debe a que los relojes de los satélites son de muy alta precisión en comparación con los relojes que poseen los receptores, lo que se traduce en un error en la medición del tiempo de viaje de la señal. De hecho, si se pensase en que el receptor tuviese el reloj de igual precisión al del satélite, esta tecnología sólo estaría al alcance de algunos gobiernos debido a los altos costos que alcanzarían los receptores.

Cada satélite emite cada milisegundo una única señal codificada, que consiste en una cadena de bits (dígitos cero y uno) y recibe el nombre de código PRN *pseudorandom noise*, ruido pseudoaleatorio, la cual es reconocida por el receptor; esto es posible porque cada receptor tiene grabado en su memoria una réplica de cada uno de estos códigos, cuando el receptor sintoniza una señal de satélite detecta inmediatamente cuál satélite esta generando la señal, el receptor compara la señal que está recibiendo con el mismo código que ha generado en su interior; el patrón generado por el receptor no concuerda en posición con el de la señal que se recibe, tal como se ve en la Figura 4.

Figura 4 Tiempo requerido para que la señal de satélite llegue al receptor

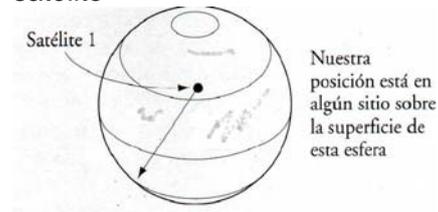


Fuente: McCormac, J. (2008)

Cuando un receptor registra la señal de un satélite, este calcula la pseudodistancia, es decir, la distancia entre (Reyes y Hernández, 2003) la antena del satélite y la antena del receptor; puede entonces imaginarse

que se genera una esfera de radio igual a la pseudodistancia y cuyo centro se encuentra en el satélite, indicando que la posición del receptor se encuentra en un punto de la superficie de dicha esfera.

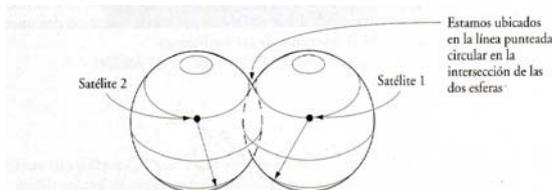
Figura 5 Medición de la distancia a un satélite



Fuente: McCormac, J. (2008)

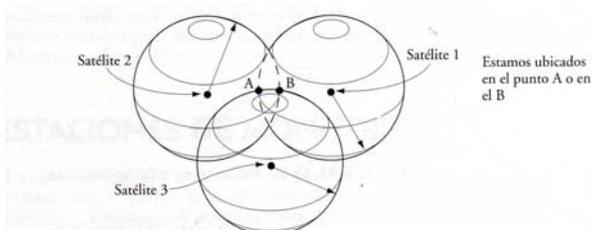
Al querer posicionar un punto del terreno, es decir, determinar sus tres coordenadas, se hace necesario capturar la señal de cuatro satélites o más; con la señal de un satélite la solución que se obtiene es una esfera de radio igual a la pseudodistancia y con centro en dicho satélite, indicando que en algún lugar de la superficie de tal esfera se encuentra el punto cuyas coordenadas se desea conocer; al realizar el registro de dos satélites (Figura 6), se genera una segunda esfera que se intercepta con la primera en una línea circular, figura que indica la posible ubicación del punto deseado; al registrar el tercer satélite se genera una tercera esfera cuya intercepción con las otras dos produce dos posibles puntos de ubicación (Figura 7), una de estas soluciones se descarta por inadmisibles; la posición del receptor se pudiera localizar de forma exacta si las mediciones de las distancias fuesen exactas, sin embargo, es necesario recordar que las mismas son distancias falsas o pseudodistancias, es por esto que se hace necesario el registro del cuarto satélite o más para poder eliminar el error del tiempo, considerando que cada una de las pseudodistancia está afectada por el mismo error.

Figura 6 Medición de las distancia a dos satélites.



Fuente: McCormac, J. (2008)

Figura 7 Medición de las distancias a tres satélites.



Fuente: McCormac, J. (2008)

Actualmente se encuentra en el mercado una gran oferta de equipos GPS, que varían en el tipo de señal que reciben y procesan, las técnicas de medición y las modalidades de funcionamiento (estático o cinemático), diferenciándose básicamente en la precisión con la que registran los datos, existiendo equipos de una frecuencia o de doble frecuencia, para diferenciar en el tipo de onda que registran, otra diferencia importante es si son de post proceso o de tiempo real, para diferenciar aquellos cuyos datos deben bajarse a una computadora mediante el uso de un programa de aplicación o software para obtener las coordenadas geodésicas de los puntos levantados y aquellos que suministran las coordenadas en tiempo real es decir sin que medie ningún tipo de proceso. Una ventaja importante al realizar un levantamiento con GPS (Wells et al,1986) es que en este tipo de levantamiento no se requiere intervisibilidad entre los puntos, no se requiere de un azimut de referencia y

como una de las más importantes ventajas de esta tecnología es que las coordenadas obtenidas están referidas a un sistema único de referencia como lo es el WGS84, esto ha simplificado de una manera impresionante el manejo de este tipo de información en bases de datos compresibles y utilizables por todos los usuarios, independientemente de su ubicación geográfica. Puede decirse entonces (Wells et al, 1986) que con la llegada del posicionamiento global, llegó la era del posicionamiento preciso ya que el mismo puede realizarse en el momento que se desee a lo largo de las 24 horas del día y en cualquier día del año.

Los levantamientos con GPS ofrecen (Wolf y Brinker, 1997) ventajas sobre los métodos tradicionales entre las que se incluyen rapidez, precisión y capacidad operativa de día o de noche y en cualquier estado del tiempo. Por estas razones se conoce (McCormac, 2008) al Sistema de Posicionamiento Global GPS como la mejor herramienta para levantamientos topográficos que se ha desarrollado en la historia, ya que con esta tecnología se puede realizar cualquier tipo de levantamiento similar al que se haya ejecutado utilizando las técnicas topográficas convencionales, con la excepción de aquellos sitios donde sea difícil o imposible recibir señales de radio de los satélites; otra ventaja de este sistema es que las señales de radio las captan los usuarios de manera gratuita en cualquier parte del mundo.

### **Estación Total**

Se conoce con este nombre (Figura 8), al instrumento que integra (Torres y Villate, 2001) en un sólo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los

puntos del terreno. Entre las operaciones que realiza una Estación Total (Wolf y Brinker, 1997) puede mencionarse: obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias, corrección electrónica de distancias por constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical así como el cálculo de coordenadas de los puntos levantados. El manejo y control de las funciones de la Estación Total (Padilla, 2001) se realiza por medio de la pantalla y del teclado, las funciones principales se ejecutan pulsando una tecla, como la introducción de caracteres alfanuméricos, medir una distancia. Otras funciones que se emplean poco o que se utilizan sólo una vez, son activadas desde el menú principal, funciones como la introducción de constantes para la corrección atmosférica, constantes de prisma, revisión de un archivo, búsqueda de un elemento de un archivo, borrado de un archivo, configuración de la Estación, puertos de salida, unidades de medición, la puesta en cero o en un valor predeterminado del círculo horizontal se realizan también desde el menú principal.

La pantalla es también conocida como panel de control, en ella se presentan las lecturas angulares en el sistema sexagesimal, es decir los círculos son divididos en  $360^\circ$ , de igual manera se puede seleccionar para el círculo vertical, ángulos de elevación o ángulos zenitales (el cero en el horizonte o en el zenit respectivamente).

Figura 8 Estación Total SET 630 RK -Sokkia



Fuente: Propia

El modo de operar una Estación Total es similar al de un teodolito electrónico, se comienza haciendo estación en el punto topográfico y luego se procede a la nivelación del aparato. Para iniciar las mediciones es necesario orientar la Estación Total previamente, para lo cual se requiere hacer estación en un punto de coordenadas conocidas o supuestas y conocer un azimut de referencia, el cual se introduce mediante el teclado. Para la medición de distancias el distanciómetro electrónico incorporado a la Estación Total calcula la distancia de manera indirecta en base al tiempo que tarda la onda electromagnética en viajar de un extremo a otro de una línea y regresar. En el campo se hace estación con la Estación Total en uno de los extremos cuya distancia se desea determinar y en el otro extremo se coloca un reflector o prisma (Figura 9); es requisito indispensable que la visual entre la Estación Total y el reflector o prisma se encuentre libre de obstáculos, el instrumento transmite al prisma una señal electromagnética que regresa desde el reflector, la determinación precisa de la distancia

se obtiene una vez que se han aplicado las correcciones atmosféricas, de temperatura y de presión correspondiente. Estas correcciones son efectuadas por el microprocesador una vez que el operador ha introducido por teclado estos valores. La Estación Total mide distancias repetidamente, el resultado que aparece en pantalla es el promedio del número de veces que el operador haya seleccionado. El tiempo estimado en los equipos modernos es de entre 3 y 4 segundos para distancias de 2.5 kilómetros, con una precisión de  $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$  o menor.

Los prismas son circulares, de cristal óptico de alta calidad, fabricados observando estrictas tolerancias y vienen acompañados de un conjunto de accesorios: portaprismas, soportes de prismas, bases nivelantes, trípodes, balizas o bastones para prismas, trípodes para soporte de balizas o bastones.

Figura 9 Prisma Simple con tarjeta de puntería. CST berger



Fuente: Propia

La Estación Total, equipo (Swanston, 2006) que se ha popularizado desde finales del siglo XX e inicio del XXI, evita las incidencias negativas del factor humano durante la medición y cálculo, con un incremento sustancial de la eficiencia y de la eficacia en las operaciones de campo; puede decirse entonces que la Estación Total (Padilla, 2001) constituye el instrumento universal moderno en la práctica de la Topografía, que puede ser utilizada para cualquier tipo de levantamiento topográfico de una manera rápida y precisa y el vaciado de datos de campo libre de error.

La Estación Total es utilizada tanto en levantamientos planimétricos como altimétricos, independientemente del tamaño del proyecto. Los levantamientos realizados con este instrumento son rápidos y precisos, el vaciado de los datos de campo está libre de error, el cálculo se hace a través del software y el dibujo es asistido por computadora, lo cual garantiza una presentación final, el plano topográfico, en un formato claro, pulcro y que cumple con las especificaciones técnicas requeridas.

### Planificación

Swanston, (2006, p.160) define a la planificación como: “las acciones, decisiones y disposiciones anticipadas, que tienen como objeto fijar los modos cómo ejecutar la labor topográfica para garantizar la construcción de un mensaje geoespacial veraz (fiel y confiable)...bajo un régimen de alta eficiencia técnica y económica.”

Todo levantamiento topográfico debe contemplar una planificación, entendiéndose esta como el conjunto de actividades previas que se realizan con la finalidad de hacer uso óptimo de los recursos disponibles, en cuanto a equipos, recursos humanos, financieros y el factor tiempo, con la

finalidad de obtener un producto de calidad en tanto a precisión y exactitud que cumpla con las exigencias del proyecto que se tiene planteado desarrollar. Las actividades de campo y de oficina incluyen tanto las meramente técnicas como las de logística. Esta etapa de planificación es importante para poder elaborar el plan de actividades o plan de trabajo de manera que el mismo pueda desarrollarse con los recursos que se tienen previstos.

La recopilación de información básica tanto técnica como logística constituye la primera fase en esta etapa de planificación; en cuanto a la información técnica, esta incluye la recopilación de cartas topográficas, planos, ortofotos, inventario de la red geodésica del país a una escala adecuada que cubra la zona de trabajo, elaborados por organismos públicos o privados. Por otro lado es imprescindible tener en cuenta las especificaciones del proyecto así como las tolerancias permitidas.

Finalmente dentro de la información de índole técnica es importante verificar la disponibilidad de equipos e instrumentos topográficos. En cuanto a la logística, es preciso verificar la disponibilidad del personal de campo calificado, asistentes y ayudantes, es necesario comprobar las facilidades para movilización y traslado del personal, disponibilidad en el sitio para el alojamiento, alimentación y la prestación de servicios mínimos necesarios durante el período que dure el trabajo de campo. Adicionalmente se hace necesario que el recurso financiero esté disponible para la cancelación oportuna de sueldos y salarios del personal de campo así como la adquisición de cualquier otro insumo.

Una vez recopilada la información básica es importante revisarla y analizarla, para lo cual es necesario realizar una visita de campo (Figura

10), para validar la misma; la idea es ratificar la información recopilada de manera que el plan de trabajo que se elabore se ajuste tanto como sea posible a las condiciones existentes en el sitio. En esta visita es también importante realizar un reconocimiento físico de la zona con la finalidad de establecer la metodología a ser utilizada en la recolección de los datos, verificar la existencia de puntos de control si fuese el caso o por lo contrario seleccionar la ubicación estratégica de los puntos que servirán de control, así como de los ejes operativos para el levantamiento.

De igual manera (Torres y Villate, 2001) sostiene que además de la localización de los puntos de control, es también importante localizar de antemano los principales accidentes topográficos y obras civiles existentes en el área, para poder de esta manera hacer una planificación eficiente del levantamiento y utilizar como referencia y control las coordenadas de los puntos conocidos.

Figura 10 Visita de Reconocimiento. Sector Las Peñitas. Municipio Pampanito. Trujillo



Fuente: Propia

Finalizada la validación de la información básica ya es posible la elaboración del plan de trabajo para que la administración del recurso humano, de equipos y de los recursos

financieros arroje como resultado un producto con la calidad técnica exigida por el proyecto; en el plan de trabajo (Swanston, 2006) se deben considerar los costos, plazos y cronogramas para la ejecución de las actividades establecidas; en caso de que la magnitud del trabajo lo amerite este plan debe considerar también las distintas cuadrillas y responsables de las mismas, es importante tener en cuenta que mientras más clara y detallada sea la planificación mayores serán las posibilidades de realizar el levantamiento con la calidad y tiempo establecido y con los recursos presupuestados. En resumen, de lo que se trata es de poder establecer de manera anticipada las acciones para la captura de datos, proceso y cálculo para la elaboración del plano topográfico. La captura de datos parte de los puntos de control y termina con los puntos de detalle; el proceso y cálculo permite obtener la información necesaria para la elaboración del plano topográfico así como el cálculo de áreas y volúmenes.

La selección eficiente de los puntos de control es clave para la eficiencia en la ejecución de las labores de campo, ésta junto con una adecuada señalización conforman como se dijo anteriormente el punto inicial para la captura de datos. La ubicación de los puntos de control obedece netamente a criterios técnicos fundamentados en la intervisibilidad de los vértices y cobertura de la zona a ser levantada.

Al planificar un levantamiento GPS (Wolf y Brinker, 1997) se debe tomar en cuenta varios factores, una consideración importante es la ubicación de las estaciones, las cuales deben ser accesibles. Es importante marcar y describir claramente cada punto de estación con la finalidad de que sea fácilmente reconocido al momento de iniciar la captura de datos. Se recomienda que los puntos seleccionados tengan visibilidad

franca en todas las direcciones, desde un ángulo de elevación de  $15^\circ$  hasta el cenit, los satélites no se observan bajo ángulos menores de  $15^\circ$ .

### **Señalización**

Una vez que se ha establecido el plan de trabajo se hace necesario pasar a la fase de señalización; esta actividad constituye un paso importante en todo levantamiento, ya que la misma resalta la ubicación (Swanston, 2006) de los puntos de control y de cualquier otro punto de interés, de acuerdo al propósito y permanencia en el sitio. Las señales pueden ser de puntería, de observación o en algunos casos obedece a ambos propósitos, se dice que una señal es de puntería cuando se dirigen visuales desde otros puntos, en este tipo pueden señalarse al jalón y las miras; las señales de observación se refiere a los puntos de control, generalmente se encuentran al ras del piso y debido a su importancia son resguardadas y referenciadas por el responsable en campo; las señales de doble propósito se refiere a puntos que son de control y al mismo tiempo van a ser observados desde otros puntos del terreno.

Desde el punto de vista del tiempo que se requiera que la señal permanezca en sitio, las mismas pueden ser permanente, semipermanentes o transitorias (Figura 11), las señales permanentes se construyen para que sean visibles durante la fase de levantamiento y las otras etapas del proyecto y que además permanezcan aún una vez finalizado el mismo para ser utilizadas en el control de la obra que se va a construir. Las semipermanentes se espera que duren desde la fase de estudio hasta la finalización de la construcción, generalmente son construidas con concreto pobre. Las transitorias son señales que sirven solamente para

materializar las verticales tanto de los puntos de control como de detalle; en campo se utilizan estacas de madera, jalones, cabillas cortas; en superficies de asfalto o concreto se utilizan clavos para concreto, marcas de pintura, miras etc.

Cuando en el levantamiento se utiliza GPS y Estación Total, las labores de señalización se realizará primero en los puntos de control; para ésto y de acuerdo a la naturaleza del mismo, se utilizará concreto y un clavo de acero o cabilla en la cual se le tallará una cruz para que al momento de realizar las tareas de centrado, quede claramente establecido el punto topográfico. Una vez establecidos los puntos de control, se realizarán las labores de señalización de los puntos a ser levantados, en este caso y de acuerdo a las condiciones propias de la zona, los puntos topográficos pueden señalarse con pintura, estacas de madera o pedazos de cabillas.

Figura 11 Señales Permanentes y Semipermanentes



Fuente: Propia

### **Captura de Datos**

En el pasado, los registros de campo se preparaban exclusivamente a mano (Wolf y Brinker, 1997) en libretas de campo, los datos de campo ya sean hechos manual o electrónicamente son los únicos registros permanentes. Al realizar un levantamiento con GPS y Estación Total se entiende por captura de datos a la acción de registrar y almacenar las magnitudes requeridas para el cálculo de las coordenadas de los puntos levantados. La captura de datos se inicia con el posicionamiento de los puntos de control, puntos que van a definir la línea de referencia o línea base que se requiere para orientar la estación total; continúa con la captura de los puntos de interés, finalizando con los puntos de detalle. Al presentar la información relacionada a la captura de datos se hará referencia a los equipos que posee el Laboratorio de Topografía del NURR, el PROMARK 3 GPS diferencial, de la casa Magellan y la Estación Total SET 630 RK de Sokkia. Un equipo GPS diferencial consta de dos receptores, cada uno posee una antena integrada, que es suficiente cuando el mismo es utilizado como navegador, y una antena externa que debe instalarse en el punto donde se estaciona cada receptor (Figura 12).

Figura 12 Antena GPS Promark



Fuente: Manual de Referencia PROMARK 3

En campo uno de los receptores se estaciona en el punto de coordenadas conocidas el cual se identifica como punto BASE o punto de referencia; el segundo receptor el ROVER se estaciona en el punto de coordenadas desconocidas (Figura 13). Ambos receptores recogen simultáneamente las señales emitidas por los satélites almacenando esta información en su memoria interna de semiconductores o en una tarjeta SD, según lo haya programado el usuario. Este sistema se denomina diferencial ya que el mismo, a partir de las mediciones GPS capturadas en el receptor BASE y mediante un proceso de ajuste, determina las correcciones o las "diferencias" necesarias para obtener las coordenadas del punto que son las coordenadas conocidas, y aplica estas mismas correcciones a las mediciones capturadas por el ROVER para el cálculo de las coordenadas del punto cuya posición se desconoce. Este equipo viene programado de manera que sólo registra los datos provenientes de satélites ubicados a  $10^{\circ}$  del horizonte, aun cuando registre satélites ubicados entre  $0^{\circ}$  y  $10^{\circ}$  no registrará estos datos. Tiene capacidad para aceptar hasta 12

satélites pero se requiere como mínimo 5 satélites con buena disponibilidad y geometría para realizar el posicionamiento del punto, esto hace posible su uso aun en zonas boscosas o donde existen edificaciones en la cercanía.

Existen tres métodos distintos e independientes que se pueden utilizar para realizar el posicionamiento: el modo Estático, Stop and Go y el Cinemático, la selección del mismo se hará en función del grado de precisión que se espere obtener. El posicionamiento de los puntos de control debe realizarse con precisión, ya que los mismos serán utilizados para orientar la Estación Total y calcular las coordenadas rectangulares de los puntos levantados; en este artículo se describirá sólo el método Estático ya que es el método que produce los resultados más precisos y confiables para posicionar los puntos de referencia o puntos de control.

El posicionamiento estático (Wells et al,1986) implica que los puntos que van a ser posicionados no presentan ningún tipo de desplazamiento o movimiento con respecto a otros puntos cercanos a ellos. Para realizar el posicionamiento por este método se hace necesario disponer de un punto de coordenadas conocidas; el mismo se utilizará como punto BASE para realizar el posicionamiento de los otros puntos de control, el fabricante del PROMARK3 establece que la distancia entre el punto BASE y el ROVER no debe ser mayor a 20 Km.

En este método se recogen datos brutos provenientes de todos los satélites disponibles, tanto en la BASE como en el ROVER de manera simultánea (Figura 14), la solución (Wells et al,1986) puede obtenerse en tiempo real o una vez finalizada la campaña de medición se realiza el postproceso de la misma. El PROMARK3 calcula las coordenadas

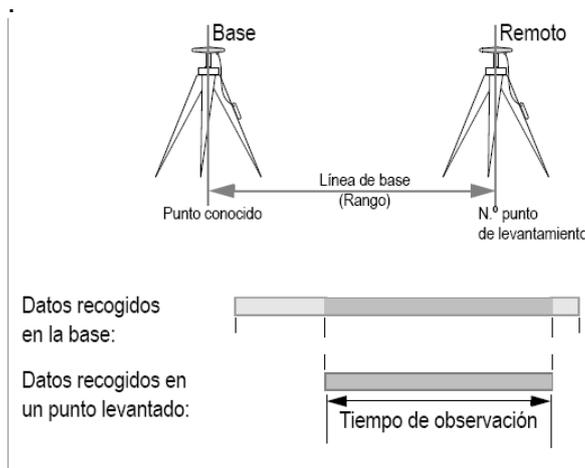
mediante el postproceso de los datos brutos.

Figura 13 Ubicación GPS en BASE (izquierda) y ROVER (derecha)



Fuente: Propia

Figura 14 Captura de datos brutos



Fuente: Manual de Referencia PROMARK 3

El fabricante del PROMARK 3, indica en su manual que la precisión del levantamiento estático es de 0,005 m + 1ppm en levantamiento horizontal y 0,010 m + 2ppm en levantamiento vertical

Una interrogante frecuente es por cuánto tiempo deben registrarse datos en la Base y el Rover; esta duración depende de factores como la distancia existente entre la base y el rover, ya que a mayor distancia mayor será el tiempo necesario de observación; otro factor son las condiciones ambientales, ya que si en la zona existe vegetación densa u otro tipo de obstáculo puede necesitarse mayor tiempo de observación para registrar los datos necesarios para el posicionamiento del punto deseado. Por último puede señalarse a la geometría de los satélites, es decir, la posición de los satélites en el espacio como otro factor que incide en la duración del levantamiento; si durante una observación se presentan períodos donde la disponibilidad o geometría de los satélites es deficiente, entonces es recomendable prolongar el período de observación para compensarlo.

El PROMARK3 en la pantalla identificada como Levantamiento Estático Figura 15 presenta una ventana que indica la posición de los satélites en el espacio, identificada con PDOP, los valores mostrados son un indicador de la calidad de la distribución de los satélites y de su impacto en la precisión de las observaciones GPS, a menor valor del PDOP mejor será la distribución de los satélites y por lo tanto mayor será la precisión de las observaciones; un rango de 3-5 se considera bueno, entre 1-3 óptimo y si está por encima de 5 es recomendable realizar el posicionamiento en otro momento. De igual manera en la misma pantalla existe otra ventana identificada como

Rango obs. (Rango de observación), el cual indica la longitud máxima de la línea base que se puede determinar con precisión en el postproceso; cuanto más datos recoja mayor será el valor mostrado en esta ventana. Es necesario conocer la distancia aproximada entre la BASE y el ROVER; cuando en dicha ventana aparezca una cantidad mayor que la distancia estimada, es el momento de detener la sesión de medición.

Figura 15 Pantalla Levantamiento Estático

Levantamiento estático	
ID Sitio	Nombre de archi
0125	R4469D05.294
Rango obs.	Transcur.
0.0	00:00:15
# Sats	PDOP
8	2.2
Aliment.	Memoria libre
	Tarjeta SD
<b>Listo</b>	

Fuente: Manual de Referencia PROMARK 3

### **Estación Total**

El microprocesador de la Estación Total (Swanston, 2006) está habilitado para crear data confiable y depurada a partir de un menú de cálculos estandar que comprende promedio de mediciones múltiples, corrección electrónica instantánea de distancias por constante de prisma, refracción atmosférica, presión y curvatura terrestre, reducción de distancias inclinadas a su componente horizontal y vertical, además del cálculo de cotas.

Las Estaciones Totales pueden transferir los valores medidos de ángulos, distancias y coordenadas a dispositivos electrónicos de almacenamiento de datos; en general puede decirse que existen dos tipos de sistemas de almacenamiento: almacenamiento de datos en la memoria interna del instrumento y el sistema de almacenamiento externo mediante tarjetas de memoria tipo PCMCIA; este tipo de tarjeta es

intercambiable lo que permite el almacenamiento de una gran cantidad de datos. La SET 630RK dispone de una memoria interna con capacidad de almacenamiento de 10.000 puntos.

En campo, para iniciar la captura de datos de los puntos del terreno, se empieza por hacer estación y nivelar la Estación Total sobre uno de los puntos de control posicionado previamente con el GPS, se ingresan las coordenadas de este punto y se dirige una visual al otro punto de control y se ingresan las coordenadas del segundo punto de control o el azimut de esta línea base; este procedimiento orienta la Estación, y define la línea base o línea de referencia que no es otra cosa que una línea de la cual se conoce las coordenadas rectangulares de sus extremos o la coordenada de uno de ellos y el azimut de la misma. Con esta información el microprocesador estará en capacidad de calcular y presentar en pantalla las coordenadas rectangulares de los puntos donde se ha colocado el prisma y se han registrado mediciones. Al desplazar la Estación Total a otro punto, para completar la captura de datos, se repite el procedimiento de orientación de la Estación.

Es importante señalar las ventajas de la captura y (Padilla, 2001) almacenamiento electrónico de datos comparados con los métodos tradicionales de registro manual, entre las que cabe mencionar: a) rapidez en el levantamiento, ya que sólo con pulsar una tecla realiza las mediciones necesarias y los almacena en el dispositivo seleccionado por el operador, b) eliminación de errores de lectura y anotación en las libretas de campo c) rapidez en el trabajo de oficina, los datos son bajados directamente a la computadora en pocos minutos, procediendo, mediante el software apropiado, a realizar los cálculos necesarios para finalmente obtener el dibujo topográfico asistido

por computadora. Entre las desventajas se pueden mencionar: a) impericia del operador para realizar la colección electrónica de manera correcta b) pérdida de datos de campo debido a fallas del dispositivo de almacenamiento c) pérdida accidental de los datos de campo.

### **Representación Gráfica- Dibujo Asistido por Computadora**

Las mediciones realizadas en un levantamiento topográfico deben ser (Casanova, 2008) representadas gráficamente de manera precisa; debido a que los planos topográficos son utilizados para el desarrollo de proyectos de infraestructura se hace necesario plasmar en ellos en forma resumida la mayor información posible.

Los sistemas de dibujo asistido por computadora conocidos como CAD, por sus siglas en inglés *Computer Aided Drawing*, se han vuelto muy comunes (Wolf y Brinker, 1997) en los trabajos de Topografía, en estos sistemas el componente más importante es el software asociado a los mismos, este permite al operador interactuar con la computadora y activar las diferentes funciones del sistema; hoy en día existen en el mercado una variedad de programas utilizados para realizar el dibujo del plano topográfico que permiten obtener un producto con un acabado impecable en un tiempo muy corto, con las ventajas que ofrece el formato digital de almacenamiento y reproducción tantas veces y al momento requerido.

Los componentes básicos de (Torres y Villate, 2001) un sistema CAD son un computador de cierta capacidad, el software respectivo y una impresora o plotter. Estos sistemas permiten dibujar los planos topográficos en tiempo real y permite la observación del mismo en la pantalla del

computador permitiendo realizar las modificaciones que sean necesarias. Los datos se pueden introducir (Torres y Villate, 2001) mediante el teclado o por archivos con las coordenadas de los puntos del terreno que se han levantado. Los aspectos a ser considerados son los mismos que se toman en cuenta al dibujar el plano topográfico de manera manual: selección de la escala, cuadrícula, leyenda, recuadro de identificación etc.

El uso de los sistemas CAD presenta varias ventajas entre las que se puede mencionar la velocidad en la elaboración del plano topográfico, eliminación de errores, mayor precisión y la obtención de un producto final más consistente y acabado; el almacenamiento en formato digital permite obtener tantas copias como se desee de manera rápida y en el momento requerido, otra ventaja es que estos formatos se pueden transmitir de forma electrónica de un usuario a otro a través de la red. Puede afirmarse que las herramientas CAD brindan al usuario (Swanston, 2006) la posibilidad de obtener productos de elevadísima calidad bajo regímenes de alta eficiencia técnica y económica propendiendo a la eliminación de errores y equivocaciones de apreciación, de lectura o de transcripción. Sin embargo, a pesar de todas las ventajas antes señaladas (Wolf y Brinker, 1997) se recomienda que el responsable de campo, quien esta familiarizado con la zona, revise el plano topográfico para detectar posibles errores; por otro lado se resalta la importancia del entrenamiento previo en el uso de estas herramientas para evitar errores y equivocaciones en su uso.

## **Conclusiones**

Sin lugar a dudas que las nuevas tecnologías han revolucionado de manera contundente el “como” hacer topografía la era digital pone a disposición del profesional de la Topografía el manejo en formatos digitales de la información que se recaba previamente, archivos digitales que contienen los datos capturados en campo, software o programas especializados para el proceso de esos datos y cálculo de las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, base de datos para ser procesados por el software de aplicación en un sistema CAD, lo que conlleva a la obtención del producto final del levantamiento: el plano topográfico.

La realidad de hoy es que la Estación Total y el GPS (McCormac, 2008) se utilizan juntos, este último, en principio, para el posicionamiento de puntos de control y la Estación para la obtención de la información topográfica de los punto de interés. Es importante resaltar que el uso de las nuevas tecnologías adaptadas al levantamiento topográfico requiere que el profesional responsable y el resto del personal se capaciten mediante cursos, talleres, lectura de material especializado y de la práctica en el uso de las mismas, sin embargo, a pesar de las bondades que nos ofrecen las nuevas tecnologías, tales como rapidez, precisión, eliminación de errores derivados de la intervención humana en procesos como registro, anotación y traspaso de información, pulcritud, almacenamiento y posibilidad de modificación del producto final, no se puede dejar de lado la importancia del criterio del profesional de la topografía en la selección acertada de la ubicación de puntos de control, en el estableciendo de las líneas base y ejes operativos para las tareas de

campo, así como en la validación del producto final; tareas estas que sin lugar a duda está fundamentadas en los conocimientos y experiencia en campo del profesional de la Topografía.

Es indiscutible que el uso de un par de receptores de GPS de precisión y de la Estación Total, es la combinación perfecta para efectuar prácticamente cualquier tipo de levantamiento topográfico, de manera de garantizar la eficiencia, seguridad de la información y pronta respuesta a los requerimientos del proyecto, independientemente de la ubicación geográfica, topografía del lugar, vegetación y condiciones atmosféricas, entre otras. Puede decirse (Torres y Villate ,2001) que debido a que la información inicial se obtiene en formato digital y para la captura de datos se utiliza GPS y estaciones totales, así como el uso de las herramientas CAD en la obtención del plano topográfico, se puede afirmar que hoy en día es posible hacer un levantamiento topográfico automatizado de principio a fin.

Si se compara el levantamiento tradicional realizado con teodolito y nivel de Ingeniero con uno realizado con GPS y Estación Total, son indiscutibles los beneficios que las nuevas tecnologías han aportado a esta área del conocimiento; entre otros se puede señalar mayor precisión, automatización en la captura de datos, rapidez, manejo de la información en formatos digitales y la obtención del producto final: el plano topográfico con características impecables impensables en los levantamientos tradicionales.

Debido a la importancia que tiene la Topografía en el desarrollo de proyectos de construcción de infraestructura tan importantes para los planes de desarrollo del país, el Núcleo Universitario Rafael Rangel ha

adquirido los equipos aquí mencionados para incorporar al estudiante de Ingeniería en el uso de las mismas. Es común oír de algunos profesionales, e incluso de algunos estudiantes que es anticuada la enseñanza (McCormac, 2008) de los fundamentos de la Topografía, tales como la Teoría de Errores, medición de distancia con cinta, si con sólo apretar algunos botones se pueden hacer mediciones muy precisas, sin embargo como se ha establecido en la información presentada en este trabajo, el criterio del profesional de la Topografía está presente en las tareas de planificación, selección de puntos de control y validación del producto obtenido.

En este trabajo no se aborda las consideraciones del postproceso de los datos capturados ni lo relacionado a los errores que afectan las mediciones GPS; sin embargo, la comprensión de ambos aspectos le permite al profesional de la Topografía tomar decisiones oportunas que permitan la obtención de un producto final de alta calidad haciendo uso óptimo de los recursos previamente seleccionados.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TORRES A., VILLATE E. (2001) Topografía 4ª edición. Bogota Pearson Educación de Colombia pag 17, 380, 379, 435, 431, 74, 436.
- WOLF P., BRINKER R. (1997) Topografía 9ª edición. Mexico. Alfaomega. pag 469, 494, 224, 488, 60, 384, 386-389
- SWANSTON, G. (2006) Topografía: mensaje gráfico geoespacial. Universidad Central de Venezuela pag. 159, 464, 160- 164, 171, 466, 413
- Dana, P.H, (1995) Global Positioning System Overview. University of Texas.  
URL. [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_html)
- WELLS, D.E., BECK, D.  
DELIKARAOGLOU, A. KLEUSBERG, E.J. KRAKJWSKY, G.  
LACHAPPELLE, R.B, LANGLEY, M. NAKI BOGGLU, K.P. SCHWARS, J.M.  
TRANQUILLA Y P. VANICEK (1986). Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates, Fredericton, N.B., Canada. Pag, 3.08, 4.17, 11.01, 3.15, 11.0, 4.18.
- CASANOVA, L. (2008) Topografía Plana. Talleres Gráficos Universitarios. Universidad de Los Andes Venezuela. Pag. 10.8, 10.2, 8.1
- MCCORMAC, J. (2008). Topografía. Limusa Wiley. Mexico pag 267, 270, 268, 265, 179, 8
- REYES, M., Y HERNÁNDEZ, A. (2003). Tratamiento de Errores en Levantamientos Topográficos. Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática. Mexico Pag 252-253
- PADILLA, J. (2001) Manual del Curso de Topografía Moderna. Procesos Cartográficos Automatizados. México. Pag. 1-25
- MAGELLAN, MANUAL DE REFERENCIA PROMARK 3, Pag. 6,- 8, 11, 50