ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TEGNÓLOGOS

APLICACIÓN DE NUEVAS TEGNOLOGÍAS EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE TEGNÓLOGO EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

FRANKLIN MAXIMILIANO MANTILLA GUAYANAY

frankmaxs@yahoo.com

DIRECTOR: ING. CARLOS JENRY CÓRDOVA M.

chcm@hotmail.com

QUITO, MAYO 2012.

DECLARACIÓN

Yo, Franklin Maximiliano Mantilla Guayanay, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Franklin Mantilla G.

CERTIFICACIÓN

Certifico	que	el	presente	trabajo	fue	desarrollado	por	FRANKLIN	MAXIMIL	.IANO
MANTILLA GUAYANAY, bajo mi supervisión.										

Ing. Carlos Jenry Córdova M.

DIRECTOR DE PROYECTO.

AGRADECIMIENTO.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Escuela de Formación de Tecnólogos, a la Carrera Administración de Proyectos de Construcción, a sus Profesores, Compañeros y a todas aquellas personas que han sabido orientarme en el camino de mi formación profesional.

Al Ing. Carlos Jenry Córdova, por la constante motivación para alcanzar la superación profesional, y por su colaboración en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA.

A mis queridos Padres; por su incansable lucha, por lograr que sus hijos sean cada día mejores; por sus acertados consejos, que han logrado formar personas libres de pensamiento y responsables de sus actos; y sobre todo por su infinito amor, que ha conseguido que las adversidades de la vida sean manejables.

RESUMEN.

El presente trabajo es una recopilación de conceptos básicos manejados en el campo de la topografía, los cuales han sido relacionados de tal forma que sirvan de guía para el manejo y aplicación de nuevas tecnologías en este campo.

Cabe destacar que para la Aplicación de Nuevas Tecnologías en Topografía, no solo es necesario el conocimiento básico de estos conceptos, sino también el conocer acerca de nuevas disposiciones y regularizaciones que existen al respecto, las cuales son emitidas por las autoridades nacionales e internacionales.

Como podremos apreciar en el presente trabajo la aplicación de estas nuevas tecnologías no solo se enmarca al uso de cierto aparato, más bien la aplicación se refiere a un concepto integral que encierra: el manejo, obtención de datos, comprensión y representación, para lograr conseguir finalmente un plano o representación cartográfica dicho de forma más técnica.

Sin duda una de las cosas que podremos apreciar al revisar este trabajo es una extraordinaria fascinación por la tecnología, y poder de alguna manera sentirnos agradecidos por todas aquellas personas y compañías que día a día han ido buscando la innovación en equipos y aparatos, los cuales con mucha certeza podemos decir han y van cumpliendo con su objetivo, que será siempre el facilitar el quehacer diario de nuestra existencia y que adicionalmente nos brindan la posibilidad de relacionar datos, manejarlos en diferentes programas y obtener resultados acorde a nuestras necesidades que siempre serán variadas e exigentes en calidad, precisión

y rapidez, que es justamente lo que se consigue al aplicar nuevas tecnologías en cualquier campo.

Otra de las cosas que vale la pena mencionar es el hecho que la aplicación de nuevas tecnologías ha revolucionado el mundo entero, porque indudablemente todos y cada uno de los seres así como las cosas que existimos en este planeta hemos sido, somos y seremos beneficiarios de cada fabricación y descubrimiento de nuevos inventos, ya que aun no siendo directamente usuarios de cualquier aparato, los resultados estoy seguro será en su mayoría en beneficio de toda la humanidad.

Finalmente podemos concluir diciendo que la aplicación de nuevas tecnologías está haciendo realidad el sueño de muchos que es el integrar al mundo entero como uno solo que es, ya que este concepto de globalización va mas allá de aspectos económicos, comerciales, u otros, también está en el área de la educación y tecnología, esperemos que en un futuro no muy lejano las nuevas tecnologías sean la razón para tener un mundo unido en busca de su preservación.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA.

1.1 CONCEPTOS:

1.1.1 TOPOGRAFÍA.

Es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los 3 elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.

Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (en sistema métrico decimal), y para direcciones e emplean unidades de arco. (Grados sexagesimales).

El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano es lo que comúnmente se conoce como "levantamiento".

La mayor parte de los levantamientos, tienen por objeto el cálculo de superficies y volúmenes, y la representación de las medidas tomadas en el campo mediante perfiles y planos, por lo cual estos trabajos también se consideran dentro de la topografía.

La teoría de la topografía se basa esencialmente en la Geometría plana, Geometría del espacio, Trigonometría y Matemáticas en general. Además del conocimiento de estas materias se hacen necesarias algunas cualidades personales como por ejemplo: Iniciativa, habilidad para manejar los aparatos, habilidad para tratar a las personas, confianza en sí mismo y buen criterio general.

1.1.2 GEODESIA.

La Geodesia es la ciencia que tiene por objeto el estudio de la forma y las dimensiones de la Tierra.

El primero en admitir la esfericidad de la Tierra fue Pitágoras en el año 550 a.C. y más tarde Eratóstenes determinó por primera vez el radio de la Tierra en el año 250 a.C.

En 1687 Newton enunció el siguiente principio universal: "la forma de equilibrio de una masa fluida homogénea sometida a las leyes de gravitación universal y girando alrededor de un eje, es un elipsoide de revolución aplastado por los polos". Sin embargo este principio no se cumple en la Tierra, ya que las masas internas no son homogéneas.

Por ello se admite como forma de la Tierra la superficie en equilibrio materializada por los mares en calma, denominada geoide; es una superficie física real y sobre la cual la gravedad en todos sus puntos es normal a ella.

Para los cálculos geodésicos se elige un punto fundamental o Datúm en el que la normal al geoide coincide con la normal al elipsoide. En este punto las dos superficies, elipsoide y geoide son tangentes.

1.1.3 EL GEOIDE.

El geoide es la representación del nivel medio de los mares y océanos en calma prolongados por debajo de los continentes. Esta superficie es en cada punto normal a la dirección de la gravedad. Es una superficie real y equipotencial. La expresión matemática que lo define es muy compleja para utilizarla en Cartografía como superficie de referencia, por ello y para simplificar el problema se utilizan una figuras aproximadas al geoide.

1.1.4 EL ELIPSOIDE DE APROXIMACIÓN.

El elipsoide de referencia es una superficie arbitraria que sirve de fundamento para el cálculo de la situación de los puntos geodésicos y para determinar con respecto a ella la configuración del geoide.

Hasta 1924, venía utilizando cada Nación el elipsoide que mejor se adaptaba a su superficie. En 1924, se adoptó para todo el mundo como superficie de referencia el elipsoide de Hayford.

En el elipsoide de referencia, se denominan meridianos las secciones producidas en ella por cualquier plano que contenga al eje de revolución, y se denominan paralelos a las circunferencias producidas por la intersección del elipsoide con planos perpendiculares a su eje. Al paralelo mayor, que contiene el centro del elipsoide, se le denomina Ecuador; los extremos del eje constituyen los polos Norte y Sur.

1.1.5 ELEMENTOS GEOGRÁFICOS EN LA SUPERFICIE APROXIMADA.

Se toma como superficie aproximada la esfera, en ella se define:

- La línea de los Polos PP', que es la recta alrededor de la cual gira la Tierra, dando lugar a los meridianos que son los círculos máximos que pasan por la línea de los Polos.
- El Ecuador QQ', que es el círculo máximo perpendicular a dicha recta, PP', y da lugar a los paralelos que son los círculos menores paralelos al Ecuador.

Para situar sobre la superficie de la Tierra los distintos vértices o lugares, se tomó un sistema de referencia constituido por el plano del Ecuador y por el meridiano de cierto lugar, que por acuerdo internacional es el del Observatorio de Greenwich, G.

Con estos dos planos fundamentales, un cierto lugar M se define por dos números: (diferencia de longitud) y (latitud geográfica), estableciendo una correspondencia entre cada par de números y los distintos puntos en la esfera.

- La diferencia de longitud: es el ángulo medido en el Ecuador entre el meridiano de Greenwich y el meridiano del punto M, se mide entre 0 y 1800 al Este o al Oeste de Greenwich, correspondiendo a la longitud positiva o negativa respectivamente.
- La latitud geográfica: es el ángulo medido en el meridiano del punto M entre el punto y el Ecuador.

1.1.6 PROCESO DE DENSIFICACIÓN. ENLACE DE REDES.

En el cálculo de estas redes, para evitar la acumulación de errores, se forman tres mallas cada vez más densas, que se denominan triangulación de primer, segundo y tercer orden.

La red de primer orden está constituida por grandes triángulos de lados comprendidos entre los 30 y 70 Kilómetros, pudiendo llegar como excepción a más de 200 Kilómetros.

La triangulación de segundo orden forma una red uniformemente repartida y apoyada en la de primer orden, con una longitud de los lados de los triángulos variable de 10 a 25 Kilómetros. Queda distribuida de modo que todos los vértices de primer orden lo sean también de segundo.

La red de tercer orden tiene lados de 5 a 10 Kilómetros, utilizándose también como vértices de tercer orden todos los de primero y de segundo.

1.1.7 REDES GEODÉSICAS: OBSERVACIÓN E IMPLANTACIÓN.

Para la realización del mapa topográfico son fundamentales las operaciones geodésicas, con las que se logra determinar la posición de una serie de puntos, que deben situarse con la mayor precisión posible porque van a servir de base para todos los trabajos posteriores. Estos puntos primordiales forman una red que cubre una zona determinada y reciben el nombre de vértices geodésicos.

Estos vértices forman triángulos, estos triángulos, por los métodos de la Geodesia Clásica, se median con el mayor rigor sus ángulos utilizando instrumentos de gran precisión. Además se medía directamente con extraordinaria minuciosidad un sólo lado especialmente favorable, al que se le denomina base. Los otros lados no medidos directamente se calculaban trigonométricamente.

Naturalmente para que estas operaciones sean posibles, cada vértice debe ser visible desde varios otros. Ésta es la única condición necesaria para la elección de estos puntos.

Los vértices de los triángulos, se marcan en el terreno construyendo hitos de grandes dimensiones, pintados de blanco para hacerlos visibles desde mucha distancia.

Con estas triangulaciones se calculan las coordenadas planimétricas (x, y). La coordenada z se denomina cota trigonométrica y tiene peor precisión que las cotas obtenidas mediante nivelación geométrica, las cuales siguen un proceso independiente de la red geodésica

1.1.8 MONOGRAFÍAS DE CONTROL.

La Monografía de Control Horizontal es una ficha con toda la información de dicho punto, es decir, nombre del vértice, Término Municipal al que pertenece, croquis de acceso, la proyección en la que se han calculado sus coordenadas y el valor de dichas coordenadas.

Tan importante como estos datos es conseguir localizar el vértice. Para ello se realiza una descripción escrita de su situación y de cómo llegar, junto con un croquis. De este modo cuando se va a realizar un trabajo en el que se necesite apoyar en alguno de los vértices conocidos se tiene su situación y sus coordenadas.

La red de nivelación tiene otro tipo de fichas con nombre, nivel de precisión de la red y su cota referida al Nivel Medio del Mar para el caso de Ecuador el Nivel Medio del Mar es tomado en la Libertad-Guayas.

1.2 PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS.

La Cartografía es la ciencia que estudia la representación plana de la esfera o del elipsoide, tratando de obtener por el cálculo, las coordenadas de los puntos del plano correspondientes a los situados en dichas superficies.

La dificultad que existe para la representación de estos puntos, es que la Tierra no puede representarse sobre un plano sin que sufra deformaciones. A pesar de ello, se ha de intentar que la representación conserve el mayor número de propiedades métricas, que al no poderse dar todas simultáneamente, se elegirán en función de la utilidad que se vaya a dar a la carta o al mapa.

Cuando una proyección conserva la distancia, se llama equidistante y a las líneas se las llama automecoicas; por tanto esas direcciones conservan la escala. Las líneas que no conservan esta propiedad tienen "anamorfosis lineal". Las proyecciones que conservan los ángulos se las denomina conformes y el no cumplimiento de esta regla por dos rectas que se cortan, se llama "anamorfosis angular". Por último, los sistemas que conservan la superficie, se les llama equivalentes y las proyecciones que no cumplen esta regla tienen "anamorfosis superficial".

Las ecuaciones de las dos superficies, esfera y elipsoide, nos indican que pueden ser desarrolladas sobre un plano, por ello, la necesidad de la Cartografía. Según definición internacionalmente adoptada, proyección es la correspondencia matemática biunívoca entre los puntos de una esfera o elipsoide y sus transformados en un plano. Esta correspondencia se expresa en función de las coordenadas geográficas (longitud y latitud), de cada punto del elipsoide y se traducen en el plano en coordenadas cartesianas (X, Y). La correspondencia será puntual y biunívoca entre los puntos del plano y del elipsoide.

1.2.1 PROYECCIONES PLANAS.

En los casos en que sólo se pretende representar a una parte muy limitada de la superficie terrestre, la práctica general ha sido considerarla como plana y prescindir de las proyecciones. Esto no es posible sin graves deformaciones más que dentro de superficies pequeñas, que en todo caso se limitan por un contorno (rectángulo, cuadrado o trapecio) y cuyos vértices tienen coordenadas de acuerdo con algún sistema de proyección.

Hay varios tipos de proyecciones planas dependiendo de la posición del vértice de proyección:

1.2.1.1 Estereográfica.- El vértice de proyección es el punto diametralmente opuesto al de tangencia del plano de proyección; es una proyección plana muy empleada en Cartografía. Suponiendo la Tierra esférica puede elegirse arbitrariamente el vértice de proyección, al considerar el caso de que éste sea uno de los Polos terrestres (estereográfica polar). En esta proyección se cumple que los meridianos son rectas concurrentes y los paralelos son circunferencias concéntricas. La escala aumenta hacia la periferia y no se puede representar toda la Tierra.

Este sistema se emplea generalmente para representar las regiones polares y para las cartas de navegación aeronáuticas.

- 1.2.1.2 Gnomónica.- El vértice de proyección se encuentra en el centro de la Tierra; se puede representar menos de la mitad de la Tierra y la escala aumenta hacia la periferia. Cualquier recta de la proyección corresponde a un círculo máximo. Por tanto el camino más corto en la esfera es una línea recta en el mapa (ortodrómica).
- **1.2.1.3** Ortográfica. El punto de vista se encuentra en el infinito; se puede representar justo la mitad de la superficie terrestre y la escala disminuye hacia la periferia.
- 1.2.1.4 Escenográfica. El vértice de proyección está situado a una distancia mayor que el diámetro de la esfera y diametralmente opuesto al punto de tangencia del plano de proyección. La escala aumenta hacia la periferia.

1.2.2 DESARROLLOS CILÍNDRICOS.

En ellos el paso de la esfera al plano se hace por medio de un cilindro. Dentro de este tipo de proyecciones destacan dos muy utilizadas en Topografía:

1.2.2.1 Proyección de Mercator. Se utilizó en 1569 y el gran avance fue que conservaba los ángulos, transformando los meridianos y paralelos en una red rectangular.

Se trata del desarrollo de un cilindro circunscrito al Ecuador terrestre, sobre el que se van espaciando los paralelos al aumentar las latitudes. En esta proyección no son representables los Polos.

1.2.2.2 Proyección U.T.M. (Universal Transversa Mercator). Se basa en la proyección de Mercator en la que el cilindro es tangente a un meridiano, considerando la Tierra como un elipsoide de revolución tangente interiormente a un cilindro y cuyo eje está situado en el plano del Ecuador. El elipsoide de referencia elegido es el de Hayford.

Su universalidad se logra empleando distintos cilindros, correspondientes a varios meridianos separados entre sí 6º; cada huso de 6º emplea un cilindro distinto. Estas fórmulas son válidas para todo el mundo, representando la totalidad del globo en 60 husos iguales. El meridiano de Greenwich separa los husos 30 y 31, estando Ecuador continental en los husos 17 y 18. Las condiciones que se imponen en esta proyección son:

- Debe conservar los ángulos, es decir, debe ser conforme.
- El meridiano central ha de ser automecoico, es decir, no puede tener deformación lineal.
- El Ecuador y el meridiano central de cada huso se representarán por líneas rectas.

• El origen de coordenadas en la proyección será el correspondiente a la intersección del Ecuador y el meridiano central del huso.

Los casquetes polares no se suelen representar en U.T.M., quedando limitado su empleo a latitudes menores de 80°.

A partir de la intersección del meridiano central del huso y el Ecuador, se construye una cuadrícula cien-kilométrica de forma que un punto en la superficie terrestre queda representado en el mapa con unas coordenadas universales.

En todos los mapas con coordenadas U.T.M., se tienen tres referencias: Norte magnético, Norte geográfico y Norte de la cuadrícula U.T.M. El ángulo entre el Norte de la cuadrícula y el Norte geográfico se llama convergencia de meridianos. El ángulo entre el Norte magnético y el Norte geográfico se llama declinación, que puede ser:

- Positiva si el Norte magnético está al Este del Norte geográfico.
- Negativa si el Norte magnético está al Oeste del Norte geográfico.

El Norte magnético es variable por lo que es importante indicar la fecha de realización del mapa y su variación anual.

1.2.3 PROYECCIONES POLIÉDRICAS.

Cuando se emplean diversos planos tangentes según se van representando zonas próximas, el conjunto forma una superficie poliédrica y de ahí el nombre de esta proyección.

Este sistema de proyección, no siendo conforme ni equivalente, presenta sin embargo anamorfosis insignificantes dentro de cada hoja y permite establecer un sistema de coordenadas planas en cada una de ellas sin que se aprecien errores de

distancias ni angulares. El problema está en unir las hojas concurrentes, ya que no cubren todo el espacio dejando un ángulo vacío.

1.2.4 PROYECCIONES CÓNICAS.

En este tipo de proyecciones la más importante en Topografía es la proyección Lambert. En ella el paso de la esfera se efectúa a través de un cono circunscrito a lo largo de un paralelo. Posteriormente este paralelo se desarrolla sobre un plano que es automecóico.

1.2.5 SISTEMA DE REPRESENTACIÓN USADO EN TOPOGRAFÍA.

El problema que es necesario resolver es representar en el papel, que sólo tiene dos dimensiones, el terreno con sus relieves que es de tres dimensiones, por lo que necesitamos alguno de los sistemas representativos que estudia la Geometría Descriptiva.

De los cuatro sistemas fundamentales, cónico, isométrico, diédrico y acotado, se elige el de planos acotados ya que el resto deforman las figuras al variar sus dimensiones en las distintas direcciones.

En el sistema acotado se representan los diversos puntos del espacio tomando un plano horizontal arbitrariamente elegido, que se le denomina plano de comparación. Sobre él se proyectan ortogonalmente, los diversos puntos. De este modo se sustituye la figura del espacio de tres dimensiones, por su proyección en el plano de dos dimensiones.

La representación, ha de cumplir otro objetivo fundamental y es que sea reversible, es decir, que a partir de la proyección seamos capaces de deducir la forma en el espacio. Para ello se precisa de un elemento más, que es la distancia **c** que existe entre cada punto y su proyección, y que se denomina cota.

La cota puede ser positiva o negativa, según el punto **A** se encuentre por encima o por debajo del plano de comparación. En la representación topográfica el plano de comparación ha de tomarse lo suficientemente bajo para que todas las cotas sean positivas.

1.3 LEVANTAMIENTOS.

1.3.1 PARTES DE LAS QUE CONSTA UN LEVANTAMIENTO.

Como se ha visto en la proyección acotada, los puntos vienen determinados por su proyección horizontal y por su cota. De ahí, que todos los levantamientos topográficos consten de dos partes:

- Planimetría, que consiste en el conjunto de operaciones necesarias para llegar a obtener la proyección horizontal.
- Altimetría, que consiste en determinar la cota de los puntos necesarios o las curvas de nivel.

A veces ambos trabajos se hacen por separado utilizando instrumentos diferentes, pero generalmente suelen hacerse simultáneamente, empleando un mismo instrumento; este método se denomina **taquimetría** y el trabajo así efectuado se le conoce con el nombre de levantamiento taquimétrico.

1.3.2 LEVANTAMIENTO TAQUIMETRICO.

La realización del levantamiento taquimétrico se realiza en dos etapas bien diferenciadas:

• Trabajo de campo: consiste en tomar sobre el terreno los datos necesarios, de forma que se sitúan los instrumentos en los puntos elegidos, lo que se denomina

hacer estación, y se anotan las observaciones en impresos especiales llamados libretas taquimétricas.

• Trabajo de gabinete: se calculan en las libretas las distancias reducidas, los desniveles y las coordenadas de los puntos visados, realizando todas las operaciones precisas hasta dejar dibujado el plano.

1.4 CLASES DE LEVANTAMIENTO.

Los levantamientos se dividen en geodésicos y topográficos. En los levantamientos geodésicos sobre grandes áreas de superficie terrestre se debe tener en cuenta la curvatura de la misma. En los levantamientos topográficos de áreas pequeñas esta consideración no es necesaria, ya que la superficie terrestre puede suponerse plana, lo que genera un plano horizontal. Las mediciones trazadas representan la proyección sobre el plano horizontal de las mediciones reales en campo. Por ejemplo, si la distancia entre dos puntos, $\bf A$ y $\bf B$, sobre la ladera de una colina es $\bf \lambda$, la distancia trazada será: $\bf \lambda$ $\bf cos$ $\bf \alpha$, donde $\bf \alpha$ es el ángulo formado por la línea $\bf AB$ con respecto a la horizontal, suponiendo que existe una pendiente uniforme.

Un plano horizontal es el que es normal a la dirección a de la gravedad, definida a su vez, por la línea de plomada en un punto dado, pero debido a la curvatura de la tierra, dicho plano resulta tangente a la superficie terrestre en ese punto. Así, si un área bastante grande se considera dentro de estas bases, habrá una discrepancia entre el área del plano horizontal y el área de la superficie terrestre real.

Se puede demostrar que para levantamientos de áreas hasta 250 km2 esta discrepancia no es muy seria y, por lo tanto, es obvio que los levantamientos topográficos serán adecuados para grandes dimensiones. Sin embargo, se debe tener precaución al realizar dichos levantamientos con puntos de control establecidos por levantamientos geodésicos.

1.4.1 LEVANTAMIENTO GEODÉSICO.

El levantamiento geodésico se distingue por la técnica y el uso que se les da. Como se explicara brevemente, las redes de mediciones de ángulos y distancias entre puntos son necesarias para controlar todos los levantamientos y al levantar grandes áreas, como un país completo, mediciones que deben hacerse con los estándares de precisión más altos posibles. Los métodos modernos para esta tarea incluyen sistemas de posicionamiento por satélite, que pueden obtener coordenadas tridimensionales de cualquier punto sobre la superficie de la tierra con un alto grado de precisión. El estudio de la magnitud y forma de la tierra con su campo gravitatorio se conoce como Geodesia, de ahí el nombre de este tipo de levantamiento.

1.4.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Se llama levantamiento topográfico, al conjunto de operaciones ejecutadas sobre el terreno, con los instrumentos adecuados, el levantamiento topográfico necesita una serie de mediciones y triangulaciones, que luego nos permitirá la elaboración del Plano de ese lugar, terreno o solar.

Cuando se habla de un levantamiento topográfico en un proyecto de construcción, se trata de una operación que puede originarse como consecuencia o durante una negociación de la adquisición del solar, y que lógicamente origina un coste, en general, de pequeña proporción respecto al precio de adquisición del solar donde se planea construir.

El levantamiento topográfico ha evolucionado en los últimos tiempos incorporando estaciones robot y GPS que hacen fácil y más preciso cualquier levantamiento.

El Levantamiento Topográfico es el punto de partida para una serie de etapas básicas dentro de la identificación y proyecto de construcción, entre estas tenemos:

- a. Levantamiento de planos: planimetría y altimetría.
- b. Replanteo de planos

- c. Deslindes
- d. Amojonamiento.
- **a.** El Levantamiento de planos consiste en la confección del plano, tanto en su proyección como en sus curvas de nivel que darán una idea de su movimiento y área real, el precio del levantamiento de planos se establece en general en precio / metro cuadrado.
- **b**. El Replanteo de planos consiste en llevar a la realidad física del terreno los linderos teóricos, los puntos de cierto proyecto concebido en una planificación; su coste se especifica en precios / metro lineal.
- c. El Deslinde consiste en señalar y calificar los linderos con propiedades aledañas.
- **d**. El Amojonamiento consiste en señalar, por medio de marcas físicas los linderos de una finca, terreno o solar.

En general, en terrenos urbanos, el más utilizado es el replanteo, que nos indica la posibilidad física de traslado de la superficie registral, y por lo tanto teórica, a la realidad del terreno, marcando en el las alineaciones, no solo regístrales, sino también urbanísticas.

El efectuar estos trabajos con la presteza debida nos evitará sorpresas posteriores como por ejemplo de no caber el diseño proyectado para la construcción en el lote o solar en que se haya proyectado, o bien que no se cumple la normativa urbanística en cuanto a alineaciones a guardar con otros edificios, o retiros: distancias a respetar respecto a calles, plazas, vías, etc.

Un buen plano de levantamiento servirá además, para que el arquitecto proyectista diseñe los edificios de forma adecuada al terreno.

1.5 TIPOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

De acuerdo con la finalidad de los trabajos topográficos existen varios tipos de levantamientos, que aunque aplican los mismos principios, cada uno de ellos tiene procedimientos específicos para facilitar el cumplimiento de las exigencias y requerimientos propios. Entre los levantamientos más comúnmente utilizados están los siguientes:

- Levantamientos de tipo general (lotes y parcelas).
- Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación.
- Levantamientos de minas.
- Levantamientos hidrográficos.
- Levantamientos catastrales y urbanos.

1.5.1 LEVANTAMIENTOS DE TIPO GENERAL (LOTES Y PARCELAS).

Estos levantamientos tienen por objeto marcar o localizar linderos, medianías o límites de propiedades, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones. Las principales operaciones son:

- Definición de itinerario y medición de poligonales por los linderos existentes para hallar su longitud y orientación o dirección.
- Replanteo de linderos desaparecidos partiendo de datos anteriores sobre longitud y orientación valiéndose de toda la información posible y disponible.
- División de fincas en parcelas de forma y características determinadas, operación que se conoce con el nombre de particiones o subdivisión de lotes.
- Amojonamiento de linderos para garantizar su posición y permanencia.
- Referencia de mojones, ligados posicionalmente a señales permanentes en el terreno.

- Cálculo de áreas, distancias y direcciones, que es en esencia los resultados de los trabajos de agrimensura.
- Representación gráfica del levantamiento mediante la confección o dibujo de planos.

1.5.2 LEVANTAMIENTO LONGITUDINAL O DE VÍAS DE COMUNICACIÓN.

Son los levantamientos que sirven para estudiar y construir vías de transporte o comunicaciones como carreteras, vías férreas, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc. Las operaciones son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de la franja donde va a quedar emplazada la obra tanto en planta como en elevación (planimetría y altimetría simultáneas).
- Diseño en planta del eje de la vía según las especificaciones de diseño geométrico dadas para el tipo de obra.
- Localización del eje de la obra diseñado mediante la colocación de estacas a cortos intervalos de unas a otras, generalmente a distancias fijas de 5, 10 o 20 metros.
- Nivelación del eje estacado o abscisado, mediante itinerarios de nivelación para determinar el perfil del terreno a lo largo del eje diseñado y localizado.
- Dibujo del perfil y anotación de las pendientes longitudinales.
- Determinación de secciones o perfiles transversales de la obra y la ubicación de los puntos de chaflanes respectivos.
- Cálculo de volúmenes (cubicación) y programación de las labores de explanación o de movimientos de tierras (diagramas de masas), para la optimización de cortes y rellenos hasta alcanzar la línea de subrasante de la vía.

- Trazado y localización de las obras respecto al eje, tales como puentes, desagües, alcantarillas, drenajes, filtros, muros de contención, etc.
- Localización y señalamiento de los derechos de vía ó zonas legales de paso a lo largo del eje de la obra.

1.5.3 LEVANTAMIENTOS DE MINAS.

Estos levantamientos tienen por objeto fijar y controlar la posición de los trabajos subterráneos requeridos para la explotación de minas de materiales minerales y relacionarlos con las obras superficiales. Las operaciones corresponden a las siguientes:

Determinación en la superficie del terreno de los límites legales de la concesión y amojonamiento de los mismos.

Levantamiento topográfico completo del terreno ocupado por la concesión y confeccionamiento del plano o dibujo topográfico correspondiente.

- Localización en la superficie de los pozos, excavaciones, perforaciones para las exploraciones, las vías férreas, las plantas de trituración de agregados y minerales y demás detalles característicos de estas explotaciones.
- Levantamientos subterráneos necesarios para la localización de todas las galerías o túneles de la misma.
- Dibujo de los planos de las partes componentes de la explotación, donde figuren las galerías, tanto en sección longitudinal como transversal.
- Dibujo del plano geológico, donde se indiquen las formaciones rocosas y accidentes geológicos.
- Cubicación de tierras y minerales extraídos de la excavación en la mina.

1.5.4 LEVANTAMIENTOS HIDROGRÁFICOS.

Estos levantamientos se refieren a los trabajos necesarios para la obtención de los planos de masas de aguas, líneas de litorales o costeras, relieve del fondo de lagos y ríos, ya sea para fines de navegación, para embalses, toma y conducción de aguas, cuantificación de recursos hídricos, etc. Las operaciones generales son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de las orillas que limitan las masas o corrientes de agua.
- Batimetría mediante sondas ecográficas para determinar la profundidad del agua y la naturaleza del fondo.
- Localización en planta de los puntos de sondeos batimétricos mediante observaciones de ángulos y distancias.
- Dibujo del plano correspondiente, en el que figuren las orillas, las presas, las profundidades y todos los detalles que se estimen necesarios.
- Observación de las mareas o de los cambios del nivel de las aguas en lagos y ríos.
- Medición de la intensidad de las corrientes o aforos de caudales o gastos (volumen de agua que pasa por un punto determinado de la corriente por unidad de tiempo).

1.5.5 LEVANTAMIENTOS CATASTRALES Y URBANOS.

Son los levantamientos que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios para fijar linderos o estudiar las zonas urbanas con el objeto de tener el plano que servirá de base para la planeación, estudios y diseños de ensanches, ampliaciones, reformas y proyecto de vías urbanas y de los servicios públicos, (redes de acueducto, alcantarillado, teléfonos, electricidad, etc.).

Un plano de población es un levantamiento donde se hacen las mediciones de las manzanas, redes viales, identificando claramente las áreas públicas (vías, parques, zonas de reserva, etc.) de las áreas privadas (edificaciones y solares), tomando la

mayor cantidad de detalles tanto de la configuración horizontal como vertical del terreno. Estos planos son de gran utilidad especialmente para proyectos y mejoras y reformas en las grandes ciudades. Este trabajo debe ser hecho con extrema precisión y se basa en puntos de posición conocida, fijados previamente con procedimientos geodésicos y que se toman como señales permanentes de referencia. Igualmente se debe complementar la red de puntos de referencia, materializando nuevos puntos de posición conocida, tanto en planta en función de sus coordenadas, como en elevación, altitud o cota.

Los levantamientos catastrales comprenden los trabajos necesarios para levantar planos de propiedades y definir los linderos y áreas de las fincas campestres, cultivos, edificaciones, así como toda clase de predios con espacios cubiertos y libres, con fines principalmente fiscales, especialmente para la determinación de avalúos y para el cobro de impuesto predial. Las operaciones que integran este trabajo son las siguientes:

- Establecimiento de una red de puntos de apoyo, tanto en planimetría como en altimetría.
- Relleno de esta red con tantos puntos como sea necesario para poder confeccionar un plano bien detallado.
- Geo-referenciación de cierto número de puntos especiales, tales como esquinas de calles, con marcas adecuadas referido a un sistema único de coordenadas rectangulares.
- Confección de un plano de la población bien detallado con la localización y dimensiones de cada casa.
- Preparación de un plano.
- Dibujo de uno o varios planos donde se pueda apreciar la red de distribución de los diferentes servicios que van por el subsuelo (tuberías, alcantarillados, cables telefónicos, etc.).

1.6 EVOLUCION DE LOS EQUIPOS TOPOGRAFICOS.

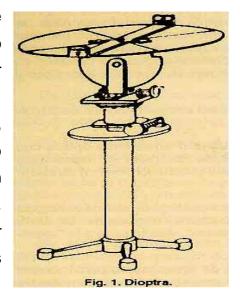
Más de una vez, leyendo en los catálogos de instrumentación, las maravillas que la técnica nos ofrece en cuanto a aparatos de topografía, no podemos por lo menos sentir admiración por aquellos topógrafos que a través de los siglos han realizado sus medidas, con una instrumentación rudimentaria, y sólo imaginando que tuviéramos que emplear aquellos equipos en la actualidad para la toma de datos, sentimos algo más que un escalofrío, con tan sólo pensarlo.

Remontándonos alrededor del año 3000 a. de C. los babilonios y egipcios utilizaban ya cuerdas y cadenas para la medición de distancias.

Hasta el 560 a. de C. no se tienen referencias de nueva instrumentación hasta que Anaximandro introdujo el "Gnomon", aunque se cree que a este le pudo llegar alguna referencia de los babilonios o egipcios. Entre los primeros usuarios de este nuevo instrumento encontramos a Metón y Eratóstenes para la determinación de la dirección Norte y la circunferencia de la tierra respectivamente.

La "dioptra" o plano horizontal para la medición de ángulos y nivelación tenía su principio en un tubo en "U" con agua el cual servía para horizontalizar la plataforma.

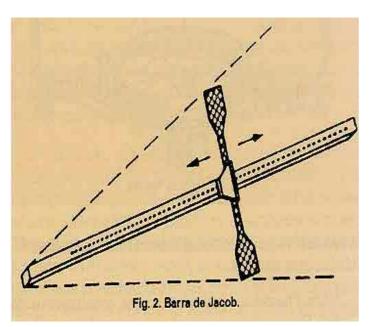
El "chorobate" o primer aproximación de un nivel, era una regla horizontal con patas en las cuatro esquinas, en la parte superior de la regla había un surco donde se vertía agua para usarla como nivel. Por otro lado Herón menciona la forma de obtener un medidor de distancia por medio de las revoluciones de una rueda.



Ptolomeo, hacia el año 150 a. de C. describió el cuadrante aplicándolo a observaciones astronómicas. Para ángulos verticales, las reglas de Ptolomeo fueron utilizadas hasta la Edad Media.

Se puede considerar como antecesor del teodolito al astrolabio de Hiparco, contemporáneo de Ptolomeo.

Los romanos, portadores de los conocimientos griegos por Europa, usaron la "Groma", que consta de una cruz excéntrica, con plomadas en sus extremos, fijada a una barra vertical, que disponía de una especie de alidadas. Vitrubio hace referencia a los carros medidores de distancias por medio de contadores de vueltas, aunque las medidas de precisión se seguían a pasos mediante contadores de pasos. Además de las descripciones de Vitrubio, se encontraron en Pompeya distintos instrumentos en el taller de un Agrimensor. También Vitrubio fue el constructor de la primera escuadra aplicando el fundamento de triángulo rectángulo de Pitágoras (lados de 3-4-5 metros).

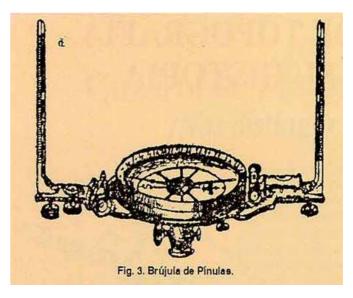


Muy posteriormente, los árabes los apoyándose en conocimientos de los griegos y romanos. usaban astrolabios divididos en 5 minutos de arco. [Usbeke Biruni diseño hacia 1000 d. de C., la primera máquina para la graduación de círculos]. Sobre el año 1300, descrito por Levi conoce un Ben Gerson, se mecanismo medida para la indirecta de distancias.

[posteriormente la barra de Jacob], mediante el movimiento de una barra perpendicular a otra principal graduada, que proporcionaba así los ángulos paralácticos.

La Brújula desde su nacimiento con los chinos hasta la referencia en 1187 de Alexander Neckman, con el desarrollo posterior introducido por Leonardo Da Vinci y Schmalcalder llegó a ser la precursora del teodolito.

Oronzio Fineo, en su libro "Geometría Práctica", aplica la brújula a un semicírculo graduado con dos alidadas, una fija y otra móvil. El siguiente paso hacia el goniómetro actual fue la mejora introducida por Josua Habernel con el teodolito-brújula que data del 1576.



Johan Praetorius, apoyándose en

los conocimientos de Gemma Frisius, perfecciona la plancheta, que durante mucho tiempo fue el instrumento más fino y avanzado con que podían contar los topógrafos.

Parece ser que anterior a Galileo, existen noticias de que un óptico holandés, Hans Lippershey, ideó una especie de anteojo sin llegar a montarlo; siguiendo esta línea de trabajo fue, Galileo quien montó su telescopio, continuando con el telescopio de



Kepler y de este a la mejora introducida por Christian Huygens quien colocó un retículo para realizar las punterías, con el avance que esto presentaba en los trabajos sobre la alidada de pínulas, usada hasta la época. William Gascoigne añadió el tornillo de los movimientos lentos dentro de los teodolitos.

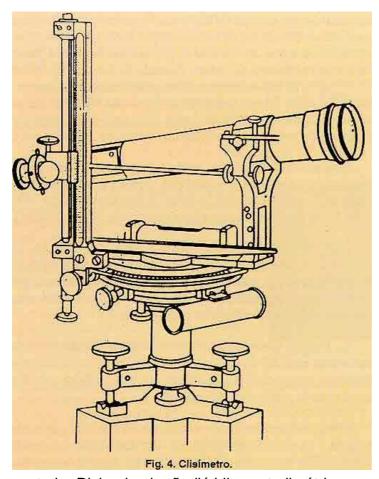
A todo esto en 1610 aparece la cadena de Agrimensor, atribuida a Aaron Rathbone.

En 1720 se construyó el primer teodolito como tal,

este venia provisto de cuatro tornillos nivelantes, cuya tutoría es de Jonathan Sisson (número de tornillos que casi hasta la actualidad, se siguen usando en los teodolitos americanos).

Tobias Mayer cambió los hilos reales del retículo, hasta la fecha de hilos de tela de arana, por una grabación en la propia lente. Ignacio Porro contribuyó con su telescopio y taquímetro autorreductor a los avances en el campo de la instrumentación.

Pedro Núñez aportó un mecanismo de lectura para un cuadrante, dividiendo los círculos concéntricos en (n-1) del anterior, naciendo así el nonio. Jhon Sisson construyó en 1730 el primer goniómetro, mejorando por Jesse Ramsden quien introdujo microscopios con tornillos micrométricos para las lecturas angulares.



Reichenbach invento en 1803 primera máquina para graduar círculos o limbos, basado en el sistema de copias. principio que actualmente seguimos usando; en 1804 el propio Richenbach introdujo su teodolito repetidor y el centrado forzoso.

Sobre 1740 aparece la primera escuadra doble, construida por el mecánico Adans.

En 1778, William Green describió un sistema óptico con hilos horizontales para la medida indirecta de distancias,

posterior Richenbach añadió hilos estadimétricos en su alidada en 1810.

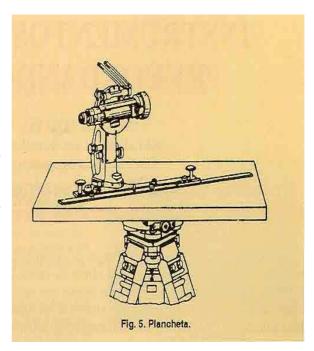
En 1823, Porro, con ayuda de una lente modificó el ángulo paraláctico, para obtener el que ahora conocemos. En 1839 bautizó a su instrumento "taquímetro", dando paso

a la "taquimetría".

En la línea de construcción de aparatos autorreductores encontramos en 1866 a Sanguet con su clisímetro o medidor de pendientes, el cual permitía obtener la distancia reducida con un mínimo cálculo.

Desde 1765 entró con fuerza en el mercado "las planchetas", con más o menos diferencias sobre las conocidas hasta hace algunos años (que quizá la última que se fabricase fuera de marca Sokkisha, utilizando un Red-Mini como alidada distanciómetro de corto alcance), dando lugar a los Taqueográfos y Honolograph.

La mira parlante se la debemos a Adrien Bordaloue, el cual, alrededor de 1830, fabricó la primera mira para nivelación,



hecho que potenció el estudio y fabricación de autorreductores, permitiendo así leer en la mira la distancia reducida y el término "t"; entre estos aparatos podemos citar en 1878 el taquímetro logarítmico, en 1893 el taquímetro autorreductor de Hammer, en 1890 Ronagli y Urbani usaron una placa de vidrio móvil con doble graduación horizontal, cuya distancia entre hilos variaba en función del cenital observado.

En 1900, Fennel creó, de acuerdo con Porro el primer anteojo analítico, usando un arco circular como línea base de los hilos del retículo. Carl Zeiss fabricó en 1932 un prototipo que se fabricó en 1942. En 1936 apareció el DKR y en 1946 el DKRM de Kern. (Posiblemente fue Kern con el KRIA, el ultimo que fabricó un autorreductor mecánico y no electromagnético, teniendo este los hilos rectos y paralelos, que en función de la inclinación del anteojo, por medio de levas y ruedas dentadas, variaban en la imagen del retículo observada desde el ocular, la distancia entre los hilos).

A finales del siglo XIX vieron la luz los primeros telémetros de imagen partida dentro del mismo ocular, dando lugar a los telémetros artilleros o de base fija y a los topográficos o de base móvil; entre ellos se pueden citar los fabricados por Ramsden (1790) y el de Barr & Stroud (1888).

En 1880 apareció el precursor de la actual estadía invar, con una barra de madera. En 1906 Carl Zeiss uso una barra de tubo de acero para su estadía, pasando al invar en 1923.

En 1886, Sanguet inventó el principio que en un futuro dio lugar al prisma taquimétrico. Este principio fue fabricado por Wild en el año 1921 con mira vertical, en lo que posteriormente sería el duplicador taquimétrico (principio ideado por Boskovic en 1777). Hemos de esperar hasta 1933 para encontrar este sistema empleado con nuestra conocida mira horizontal, fabricado por Breithaupt.

En 1908, Heinrich Wild, colaborador entonces de Carl Zeiss, introdujo el anteojo de enfoque interno. Así mismo a Wild le debemos el nivel de coincidencia, el micrómetro de coincidencia y la estadía invar como ahora la conocemos.

Los limbos de cristal fueron fabricados en serie poco antes del 1936, mejorando así la graduación en el propio limbo. En el año 1936, Smakula vaporizó las lentes del anteojo en el vacío, obteniendo algo parecido a lo que actualmente conocemos como la Óptica azul del anteojo.

El DKM3 de Kern apareció en 1939. En el 1862 aparece el THEO O10 de Carl Zeiss. Desde 1950 aparecen el T3 de Wild Heerburgg y de Carl Zeiss Jena el Theo 002 con registro fotográfico. El único interés de mencionar aquí estos aparatos, es por la creencia de que todos ellos y uno a uno marcaron una época dentro de la instrumentación topográfica.

Se hicieron estudios e intentos para obtener el primer nivel automático, teniendo que esperar hasta 1946, año en el que el ruso Stodolkjewich puso en práctica estos principios. En el año 1950, Carl Zeiss fabrico el Ni2, instrumento que poseía un

compensador mecánico en lugar de burbuja tubular, precursor de los actuales sistemas de compensación por gravedad. Askania traspasó este principio a los teodolitos en 1956 montando el compensador para el limbo vertical.

El primer distanciómetro electro-óptico se fabricó en Rusia en el 1936, promovido por el Instituto de óptica Gubernamental. Este tipo de instrumento se empleó en el distanciómetro Aga fabricado en Estocolmo en 1948. En 1957, Wadley obtuvo un distanciómetro de microondas, el Telurometer. Hasta 1968 no aparecerán los distanciómetros electro-ópticos de láser. Wild fabricará el DI-10, distanciómetro de pequeñas dimensiones, que unido a un teodolito proporcionaba un gran beneficio para las medidas topográficas, tanto en rapidez como en precisión.

A partir de estas fechas, el avance ha sido poco menos que vertiginoso, pasando rápidamente a los distanciómetros montados en excéntrica a los montados sobre el propio anteojo o bien sobre un puente en la misma carcasa del aparato. Esto se pudo hacer gracias a la reducción de tamaño y peso que estos instrumentos fueron sufriendo, permitiendo así colimar los puntos con un solo movimiento horizontal (en el caso del puente) u con una sola puntería vertical (en el caso del montaje sobre el anteojo).

Hace más o menos 20 años aparecieron las semi-estaciones, que eran un distanciómetro montado sobre el mismo teodolito, compartiendo carcasa con él (no muy distintas en aspecto a las actuales estaciones totales), pero con el teodolito que era analógico, la electrónica solo podía conocer los resultados de la medida de la distancia, debiendo teclear a mano los ángulos para que el aparato pudiera realizar los cálculos deseados.

Con la aparición de los sistemas electrónicos de captación de ángulos, la carrera contra el tiempo ha sido aún más rápida y efectiva, obteniendo teodolitos digitales más precisos que antaño e incluso abaratando los precios del mercado.

De la captación electrónica de ángulos, tanto en su versión incremental como absoluta, pasamos casi sin darnos cuenta a la concepción de la actual estación total, mejorando la lectura angular así como la medida de distancias. También la electrónica permite sistemas compensadores de uno, dos o tres ejes para la verticalidad del instrumento.

El siguiente paso que mejora la captación de datos son los colectores de datos, apareciendo paulatinamente los colectores externos (libretas con software propio que manejaban el funcionamiento de la estación), colectores de tarjetas de registro (los cuales son manejados por la estación y su software interno), tanto en su versión de contactos físicos con la estación o de carga por inducción electromagnética, como los colectores internos en la propia estación, debiendo conectar esta al ordenador para su descarga. No pasará mucho tiempo para que la técnica permita el volcado de datos por medio de un "moden" a la línea telefónica, estando el colector a cientos de kilómetros del ordenador que recibe los datos.

No podemos olvidar que los propios distanciómetros ya funcionan por medida de fase (permitiendo ya reflectores totalmente planos) o por medida de tiempo, lo cual permite poder leer la distancia a sólido, con tal de que este no sea de un material que absorba la onda emitida.

Sería extenso y no muy ilustrativo el dar un repaso a los avances en las características de las estaciones totales desde su origen hasta la actualidad, por lo que es preferible tan solo dar un ligero vistazo a las últimas novedades del mercado, no queriendo aquí establecer parámetros de calidad, ni en absoluto dar una idea de que un aparato o marca sea recomendable sobre otra, por lo que, si se menciona una casa comercial es porque se posee más información sobre dicho instrumento.

Podemos hacer referencia aquí a los últimos modelos de las estaciones motorizadas, en sus dos versiones, tanto para replanteo de puntos (los cuales mediante la introducción de las coordenadas de los puntos en el aparato, este se orienta y se queda marcando la dirección del punto a falta de leer distancia) y las robotizadas que

mediante un sistema de búsqueda y seguimiento del prisma puede ir tomando datos sin operador que manipule la estación total, sino que la propia persona que lleva el reflector está en contacto con la estación dándole cuantas órdenes precise el aparato; como por ejemplo la estación TCA del sistema 1000 de Leica, con 10cc de precisión angular y 2500 metros de alcance.

Es de ley comentar igualmente el sistema Monmos de la marca Sokkia, que mediante emisión infrarroja consigue una precisión de 0,8 mm + 1 p.p.m. Como una de las últimas curiosidades, la marca Pentax nos ofrece su nivel automático Autofocus AFL, el cual tiene un sistema de autoenfoque. Los ya conocidos NA2000 y NA3000 de la marca Leica, niveles electrónicos provistos de colector de datos leyendo a miras de códigos de barras. Ya como ultima reseña podemos señalar el sistema de alimentación fotovoltaica de la casa Geo5, es decir instrumentación alimentada por paneles solares.

De ahí en adelante se dio un giro importante con la aparición de los sistemas GPS, los cuales serán materia de estudio del siguiente capítulo, pero no sin antes dar una pequeña introducción de los mismos.

1.6.1 EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL, conocido como "GPS", quedó oficialmente inaugurado en 1995. Este sistema -nacido en el seno de del Departamento de Defensa de los EE.UU.- fue concebido originalmente como un sistema estratégico militar, pero con el paso del tiempo se desarrollaron una enorme cantidad de aplicaciones civiles. Su historia, que comienza en 1965 con el sistema TRANSIT.

Los mapas de papel, sobre todo aquellos que se contienen información sobre caminos, rutas y autopistas, se utilizan cada vez menos. El invento responsable de dicha obsolescencia es el sistema de posicionamiento global llamado GPS (Global Positioning System), un sistema electrónico que utiliza una constelación de satélites y receptores de bajo precio capaces de determinar en tiempo real su posición con una precisión de un par de metros. El GPS fue inicialmente desarrollado como un

sistema de estrategia bélica por parte del Departamento de Defensa de los EE.UU., pero con el paso del tiempo el gobierno de ese país decidió permitir el uso público del sistema, aunque limitando ligeramente su exactitud.



El "abuelo" del actual sistema GPS se llamó TRANSIT. Entró en servicio en 1965. (LIFE)

Hoy día se los puede encontrar en casi todos los autos, máquinas agrícolas, barcos y aviones, y son utilizados tanto por turistas, deportistas o choferes de autos de alquiler, ya que la posibilidad de superponer un mapa carretero o urbano sobre las coordenadas proporcionadas por el GPS lo convierten en una herramienta prácticamente indispensable para recorrer sitios que no conocemos. La historia de este maravilloso invento comienza cuando las fuerzas militares de los EE.UU. decidieron que necesitaban un sistema que les permitiese determinar su posposición

con el mayor detalle posible en cualquier lugar del mundo. El "abuelo" del actual sistema GPS se llamó "Sistema TRANSIT" y entró en servicio en 1965. Nacido gracias al trabajo de la NASA y el Departamento de Defensa, este sistema contaba con seis satélites que recorrían órbitas polares muy bajas, a una altura de solo 1074 kilómetros. Si bien proporcionaba una cobertura global e independiente de las condiciones atmosféricas, su disponibilidad no era constante. Esto significaba que a menudo las tropas necesitaban esperar durante una o dos horas que la posición de los satélites le fuese favorable, y luego "escucharlos" durante unos 15 minutos para poder saber dónde se encontraban ubicados. A pesar de estas limitaciones, TRANSIT supuso un gran avance.



Viejo modelo de receptor GPS.

El funcionamiento de este sistema se basaba en la emisión de dos señales, en diferentes frecuencias para evitar las perturbaciones atmosféricas. Los receptores determinaban su propia ubicación midiendo la desviación Doppler de las señales recibidas respecto de unas tablas almacenadas en su memoria. El error típico del sistema era de unos 250 metros, pero resultaba muy útil par a la navegación de aviones, submarinos y barcos. Por obvias razones de precisión y tamaño -los receptores eran enormes- eran inaplicables como un sistema de navegación urbano. Como en otros muchos otros aspectos de la Guerra Fría, el bloque soviético había desarrollado un sistema similar. Los rusos habían bautizado a su proyecto TSICADA,

y proporcionaba más o menos las mismas ventajas que el sistema americano. Esta situación de paridad era inadmisible para los generales norteamericanos, así que se decidió implementar un nuevo sistema que les proporcionase una clara ventaja sobre sus enemigos. Así fue como comenzó a desarrollarse lo que terminaría llamándose Global Positioning System (GPS) y que hoy utilizamos a diario.



Hoy día se los puede encontrar en autos, máquinas agrícolas, barcos y aviones.

El nuevo proyecto contemplaba la utilización de 24 satélites girando en una órbita de altura medios (20.000 kilómetros de altura), capaces de brindar cobertura continua en todo el mundo. La empresa Rockwell ganó la licitación del Departamento de Defensa y se le encargó la construcción de 28 satélites gemelos, cada uno dotado de un reloj sumamente preciso que -en definitiva- era el corazón del sistema. El primero de estos satélites se puso en órbita en 1978, y la NASA había planificado enviar al espacio los demás en un plazo de 8 años. Varios retrasos, incluido el terrible accidente del transbordador espacial Challenger el 28 de enero de 1986, hicieron que la entrada en servicio del sistema GPS se demorase hasta diciembre de 1983. A partir de esa fecha, las fuerzas militares de los EE.UU. contaron con la posibilidad de determinar su posición geográfica instantáneamente y de forma continua. La precisión del nuevo sistema era de alrededor de un metro, y podía ser incorporado en misiles, bombas inteligentes y prácticamente cualquier tipo de vehículo. Su uso, considerado de gran valor estratégico, estaba limitado al ámbito militar.



Cualquier persona puede conocer con exactitud razonable su posición.

En 1984 tuvo lugar un incidente internacional que terminaría convirtiendo al sistema GPS en una herramienta de uso civil. Un avión de pasajeros de la Korean Airlines fue derribado por la Unión Soviética cuando por error se desvió de su ruta e invadió el espacio aéreo de ese país. La administración del presidente Reagan, buscando evitar que incidentes similares potencialmente capaces de llevar al mundo situaciones poco afortunadas, decidió ofrecer a los usuarios civiles acceso al sistema GPS. Para evitar que sus enemigos pudiesen utilizar las ventajas del GPS contra esa nación, el Departamento de Defensa de los EE.UU. impuso restricciones en la precisión de los receptores, de forma que el error en el posicionamiento fuese mayor que el de los disponibles para el uso militar. Por ese motivo, un GPS de uso civil era incapaz de proporcionar datos con una "resolución" menor que unos 20 metros. Ese mismo año comenzaron a aparecer los primeros receptores fabricados por Texas Instruments y Trimble, permitiendo por primera vez en la historia que cualquier persona determinase con exactitud razonable su posición, sin importar si se encontraba en el centro de Manhattan o en la cumbre del Everest.



El sistema GPS permite "navegar" dentro de las ciudades.

A pesar de todas sus ventajas, el sistema no se hizo mundialmente popular hasta que tuvo lugar la denominada Guerra del Golfo, en 1991. Más o menos por esa fecha se puso en funcionamiento un servicio llamado "GPS Diferencial", inicialmente disponible solo para las tropas estadounidenses y sus aliados, capaz de lograr una precisión de 3 metros utilizando un dispositivo poco más grande que un teléfono móvil. En la actualidad se han hecho experimentos que permiten reducir ese error a menos de un centímetro, dando lugar a sistemas capaces de medir el desplazamiento incluso de placas tectónicas o del terreno durante un terremoto. Los usuarios "normales", sin embargo, seguían sin tener acceso a ese nivel de detalle debido a que el Departamento de Defensa introducía un error aleatorio en los relojes atómicos de los satélites, que podía ser corregido únicamente con información adicional proporcionada remotamente a los equipos militares. Esta situación cambió abruptamente en mayo del año 2000, cuando el entonces presidente Bill Clinton decidió eliminar ese error de los relojes de los satélites de la constelación GPS, permitiendo a todos los usuarios -por fin- geolocalizarse sin limitaciones inducidas. Esto hizo que el sistema comenzase a ser utilizado masivamente, incluso para "navegar" dentro de las ciudades. Se han incorporado a los teléfonos móviles, a las netbooks y los receptores tienen un precio accesible.

No vamos a entrar aquí a comentar las posibilidades del sistema G.P.S. con su estacionamiento en tiempo real o diferido, con altas precisiones que se están obteniendo.

El siguiente paso en la evolución de los equipos topográficos se da con la aparición del escáner digital, el cual debe ser considerado no como un equipo, sino más bien como un sistema, ya que su utilización comprende mucho mas la parte informática que operacional, a continuación se detalla este sistema.

1.6.2 SISTEMA DE ESCÁNER DIGITAL.



Equipo I - Site

El sistema de escáner es un método de levantamiento topográfico terrestre desarrollado para recopilar información tridimensional obteniendo millones de puntos topográficos de una manera ágil y directa. El sistema permite obtener los datos y controlar en tiempo real las áreas cubiertas e integrarlos para la generación de Modelos Digitales del Terreno. Su aplicación es posible en áreas mineras, tanto a cielo abierto como en interior, vertederos, instalaciones industriales, obras civiles,

zonas urbanas y en edificios de patrimonio histórico, tanto en espacios abiertos como en interior. De forma especial resulta útil cuando las condiciones de accesibilidad son difíciles (grandes taludes, zonas inestables y deslizamientos, explotaciones de gran verticalidad) y cuando las geometrías a obtener son muy complejas (cubicaciones de grandes acopios, avances de excavación de forma rápida y directa), obteniéndose mediante sistemas de medición láser la definición tridimensional de superficies o estructuras.

1.6.2.1 Descripción del sistema.- El sistema de medida láser es un conjunto compuesto por instrumental y software. El instrumental consiste en un equipo de barrido láser (foto) y un ordenador portátil para el control del sistema y la adquisición de datos. El software permite una visualización en tiempo real de los datos mientras que la estación de trabajo proporciona la solución más adecuada de tratamiento, gestión y manipulación de los datos de acuerdo con cada caso.

Las especificaciones técnicas del láser son las siguientes:

- Toma de datos extremadamente rápida: 6.000 puntos / segundo
- Láser de clase 1, sin peligro para los ojos
- Alcance máximo de 350 m (según las condiciones de trabajo)
- Alcance mínimo de 2 m
- Angulo de barrido máximo en el plano horizontal 340 º (azimutal)
- Ángulo de barrido máximo en el plano vertical 80 º (cenital)
- Precisión: ± 2,5 cm
- Frecuencia de repetición del pulso: 20.000 Hz
- Longitud de onda del láser: 0,9 µm (próximo al infrarrojo)
- Peso 13 Kg

1.6.2.2 Método de toma de datos.- Los sistemas de escáner láser terrestres consisten en la aplicación de un haz láser y la medición de la señal de reflexión. El software asociado que permite la adquisición de los datos, el control del escáner y la introducción de los parámetros de acuerdo a las condiciones de cada trabajo. En el

proceso de escaneo se pueden distinguir dos partes diferenciadas: la toma de datos y el tratamiento de los mismos. Durante la adquisición de datos se recoge la información espacial y de señal de reflexión de los puntos; durante la fase de tratamiento se realiza un análisis de los datos y se integran los diferentes barridos para obtener la nube de puntos que dará lugar a los modelos tridimensionales.

Los métodos de escaneo láser se pueden entender como una combinación de medidas en dirección y de tiempos de respuesta de la reflexión. El sistema permite también la obtención de la intensidad y del color de los objetos dependiendo de la señal de reflexión. Esto es de gran interés porque se obtienen en diferentes tonos de gris sobre la superficie barrida los materiales, texturas y estructuras existentes, lo cual permite posicionamientos de contactos litológicos y otros cambios de materiales y geometría de las estructuras directamente sobre el modelo o topografía.

El sistema está basado en los sistemas directos de la medida directa del tiempo que tarda la luz en recorrer la distancia entre el emisor y el blanco y en volver.

El equipo realiza un barrido automático emitiendo un pulso láser siguiendo un patrón determinado. Una vez que el pulso ha llegado a la superficie la señal es parcialmente reflejada. Cuando la señal reflejada llega al escáner, la lente recibe la señal y se para el contador de tiempo. En este momento la distancia obtenida es el doble de la distancia real; mediante el retardo y el ordenador se obtiene por tanto la distancia real al blanco.

Debido a las influencias atmosféricas y mecánicas es necesario un mayor número de medidas para obtener un resultado con el mínimo error.

Unos codificadores determinan los ángulos horizontal y vertical de proyección del pulso. Con éstos elementos más la distancia medida, se determinan las coordenadas espaciales de cada punto. Por otro lado la cantidad de energía reflejada depende de las características de la superficie de incidencia, como pueden ser la rugosidad o el color. De esta manera la amplitud de la pulsación devuelta se registra también para

así tener un valor de intensidad y de color. La ventaja que presenta la exploración láser consiste en la obtención de un modelo tridimensional de dimensiones reales de un modo automático y sin pasos previos, sobre el que se puede trabajar de una manera inmediata.

En la realización de cada barrido es posible definirle al sistema varios parámetros, entre otros, la densidad y frecuencia de barrido, que determinará la cantidad de puntos y la resolución y grado de detalle del trabajo. El tratamiento posterior permite la obtención, a partir de la nube de puntos no estructurada, de las características geométricas del modelo. De esta manera se obtiene una nube de puntos que ha de ser tratada para la obtención del modelo tridimensional.

1.6.2.3 Tratamiento de datos.- El resultado del escaneado de las superficies consiste en una nube de puntos que representan todos los objetos que reflejan el haz, incluidos ventanas, árboles, coches... es por ello que los datos brutos obtenidos del escaneo deben ser tratados para obtener la información requerida.

La adquisición de datos permite la visualización de los datos brutos en la pantalla del ordenador. Si los datos obtenidos en el escaneo son suficientemente detallados, el programa guardará cada escaneo en un archivo independiente que puede ser orientado en un sistema de coordenadas global o local.

De la obtención de los diferentes escaneos es necesario su acoplamiento para obtener el modelo tridimensional del objeto o superficie requerido. Para ello es necesario que tres puntos de un escaneo coincidan con tres puntos de otro, de esta manera los distintos escaneos se irán acoplando de dos en dos. El software busca estos puntos comunes bien por identificación de los reflectores colocados sobre el terreno, o bien mediante un sistema de búsqueda automática de puntos comunes entre los diferentes barridos y ajuste máximo de las nubes de puntos.

De la nube de puntos total es posible obtener un modelo georeferenciado con coordenadas absolutas en caso de ser necesario. Para ello se pueden seguir dos opciones, bien conociendo las coordenadas reales de tres puntos del modelo, o bien tomando las coordenadas de tres bases desde las que se ha realizado el escaneo. Durante el trabajo de realización de los barridos se pueden tomar las coordenadas de cada estación del escáner con un GPS de alta precisión o bien utilizar bases georeferenciadas previamente en el emplazamiento.

Es necesaria una labor de tratamiento de los datos para obtener el modelo deseado con la precisión exigida. Para ello el software incorpora herramientas de filtrado y de enmascaramiento. En primer lugar se debe proceder al análisis de la nube de puntos obtenida del escaneado, para ello se pueden utilizar las funciones de coordenadas, las distancias a edificios, las áreas a estudiar... todo ello permitirá eliminar mediante las herramientas de filtrado aquellos puntos no necesarios o que producen errores en la obtención del resultado buscado.

A partir de la nube de puntos se pueden obtener el modelo deseado mediante la combinación de distintas herramientas. Por ejemplo se puede crear la geometría de los bordes del objeto definiéndole polígonos, o distancias de los puntos o ángulos de las líneas... lo que permitiría un filtrado de los datos obtenidos en el escaneo. Otra posibilidad es la eliminación de aquellos puntos que presenten una intensidad específica que representarían por ejemplo los árboles u otro tipo de materiales no necesarios en el modelo.

Dependiendo de cada tipo de estudio se podrán utilizar distintas herramientas para el correcto análisis de los puntos y la obtención del modelo. El tiempo de análisis además es función del tipo de superficie a analizar pudiéndose obtener resultados de una manera rápida y sencilla.

El tratamiento de los datos permitirá obtener líneas de contorno, volúmenes, líneas de rotura, representaciones tridimensionales de los objetos.

1.6.2.4 Precisión del método.- En general la precisión de los métodos láser depende de la distancia al blanco y de la divergencia del láser. Las divergencias normales son del

orden de 2 a 3 mrad; por lo que a distancias de 100 metros se pueden obtener medidas en un diámetro de 200 mm.

El alcance máximo de los escáneres láser depende de la potencia del emisor láser, y también depende, aunque en menor medida, de la reflexión del blanco. Esta es la posibilidad del objeto a reflejar el haz, y viene expresada como el cociente entre la energía reflejada por área y tiempo unitarios. La reflexión depende de la potencia del haz, de la longitud de onda y de las condiciones de la superficie.

1.6.2.5 Ejemplos de aplicaciones.- Las aplicaciones posibles del sistema son muy amplias, destacando en todos los casos la gran rapidez y agilidad del sistema. Es de especial aplicación en casos de accesibilidad problemática, por ejemplo en aquellas bermas que hayan quedado colgadas, y cuando las geometrías requieren un grado de complejidad que implicaría una ingente labor con topografía convencional.

Se apuntan a continuación una serie de aplicaciones por sectores:

Minería.

- Topografía de explotaciones a cielo abierto
- Topografía de explotaciones en interior. Cámaras y pilares, grandes huecos.
- Cubicaciones de volúmenes de material, en avance de excavación y en stocks y acopios irregulares
- Topografía de zonas inestables, deslizadas y con taludes. Zonas problemáticas y de acceso difícil.
- Topografía para su actualización del avance de los frentes y cubicación periódica de explotaciones
- Simulaciones virtuales para zonas restauradas en Estudios de Impacto
- Espacios subterráneos mineros para depósitos de residuos
- Obra civil e infraestructuras
- Cartografía y modelización de obras e infraestructuras

- Topografía de avances de obra, control de calidad y mediciones en las en certificaciones
- Control de la geometría en la excavación de túneles y cubicación de los volúmenes de relleno de hormigón.
- Control de geometría y deformaciones en obras e infraestructuras
- Topografía de vertederos y actualización periódica de cubicaciones.

Industrial.

- Topografía de instalaciones complejas
- Depósitos inaccesibles
- Urbanismo y Patrimonio artístico y natural
- Planificación urbana y cartografía 3D de edificios. GIS 3D.
- Obtención de detalles arquitectónicos para evaluaciones y restauraciones
- Topografías de grandes edificios históricos, puentes y otras obras civiles de interés histórico
- Conjuntos monumentales, cascos históricos, recintos amurallados
- Cuevas y espacios subterráneos

Simulación de escenarios.

Reconstrucción de escenarios virtuales a partir de los modelos digitales.
 (Escenarios para simulacros, reconstrucciones virtuales, etc).

En fin con los ejemplos mencionados en como han ido evolucionando los equipos topográficos nos es suficiente para hacernos una idea del nivel técnico actual, no sin antes formular una interrogante que seguro inquietara al alma mas sosegada ¿Qué nos depara el futuro?

CAPITULO II

INTRODUCCION AL GPS.

2.1 INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

GPS es la abreviatura de Global Positioning System y utiliza la constelación NAVSTAR, siendo el acrónimo en inglés de NAVigation System for Time And Ranging, traducido como Sistema de Posicionamiento Global.

La metodología se basa en la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre, apoyándose en la información radioeléctrica enviada por satélites.

El GPS es un sistema basado en satélites artificiales activos, formando una constelación con un mínimo de 24 de ellos. Permite diferentes rangos de precisión según el tipo de receptor utilizado y la técnica aplicada.

En 1957, en el Congreso de Toronto, surgió la idea del lanzamiento de satélites artificiales con objetivos geodésicos, para solventar la necesidad de intervisibilidad que exigía la geodesia clásica. Se planteaba determinar la posición absoluta de un punto por métodos semejantes a los utilizados con fotografías a satélites o con las observaciones a estrellas.

El sistema GPS ha sido desarrollado por el Departamento de Defensa Americano (DoD).

La metodología nació con el objetivo de mejorar el sistema de satélites de navegación militar TRANSIT (efecto Doppler), muy usado en geodesia desde 1967 en todo el mundo.

El primer satélite GPS data de 1978 y la fecha desde la que se considera en funcionamiento el sistema es enero de 1994.

El sistema de referencia asociado se conoce como World Geodetic System (WGS). El primer elipsoide global de referencia se estableció en 1960 y ha sido mejorado (1966, 1972) hasta su versión actual denominada WGS84 (definido en 1984). Sobre este sistema de referencia se obtienen las coordenadas cartesianas o polares del punto en el que se ha realizado la observación.

Al calcular la posición de un punto por métodos de posicionamiento GPS deberemos tener en cuenta que éstas lo son con respecto al Sistema geodésico de Referencia WGS84 y que han de hacerse las oportunas observaciones y transformaciones, que nos permitan obtener los resultados en el sistema de coordenadas deseado.

En altimetría la ondulación del geoide (N) es la distancia existente entre el elipsoide de referencia y el geoide, medida sobre la normal geodésica. Este es el parámetro que nos permitirá relacionar alturas elipsoidales y ortométricas.

Recordemos que el geoide es la superficie equipotencial del campo gravitacional que cubre por completo el globo, por debajo de la topografía continental, y que en cualquiera de sus puntos es perpendicular a la línea de plomada o dirección de la gravedad.

A principios de los años 70 se propuso el proyecto GPS, para satisfacer los requerimientos militares del gobierno de los Estados Unidos en la determinación de posiciones terrestres precisas sin importar las condiciones meteorológicas por las que estuviera afectado y bajo un sistema unificado de cobertura. Una vez consolidado militarmente dicho sistema, sus aplicaciones se extendieron para usos comerciales, divulgándose entre la comunidad científica. Las aplicaciones del sistema incluyen en la actualidad aplicaciones en navegación, topografía y geodesia abarcando desde la administración de una flota de vehículos hasta la automatización de maquinaria de construcción.

Frente al control del sistema GPS por parte del gobierno americano, la Unión Europea está desarrollando su propia constelación de satélites para disponer de un

sistema de navegación propio. Este nuevo sistema se denomina GALILEO y el número de satélites será de 24 a 35. Además, existe un sistema semejante, llamado GLONASS, de patente rusa.

2.2 SISTEMA DE REFERENCIA Y PARAMETROS DE TRANSFORMACIÓN.

Al realizar observaciones GPS, las coordenadas obtenidas están referidas al sistema WGS84.

Para pasar estas coordenadas obtenidas mediante observaciones, al sistema de referencia local que se precise, tendremos que hacer una transformación de coordenadas.

Los parámetros de esa transformación son un total de siete, 3 traslaciones (Tx, Ty, Tz), 3 rotaciones (Rx, Ry, Rz), y un factor de escala (λ) y se obtiene a partir de puntos con coordenadas conocidas en el sistema inicial (WGS-84) y en el sistema final (local).

También pueden realizarse transformaciones 2D, interpolaciones, ajustes polinómicos, aplicación de superficies de mínima curvatura, etc.

Este sistema local, que dependerá de la trascendencia de los datos, puede ser un puro sistema local generado a partir de unas coordenadas arbitrarias asignadas a un punto cualquiera, o como es el caso de la Cuidad de Quito donde se maneja el sistema SIRES- DMQ.(Ordenanza Metropolitana N°225, 31 de agosto del 2007).

A continuación se detallan ambos sistemas, habitualmente empleados en trabajos topográficos por técnicas GPS.

2.2.1 SISTEMA WGS84.

El sistema convencional de referencia terrestre (CTRS) adoptado para el posicionamiento GPS es el denominado World Geodetic System 1984 (WGS84) que viene definido por:

- Origen en el geocentro.
- Eje Z paralelo a la dirección del Polo terrestre Convencional Internacional (CIO), posición del polo medio época 1984.0
- El eje X es la intersección del plano meridiano de referencia y el plano del ecuador astronómico medio.
- El eje Y, situado en este plano, constituye con X, Z un sistema coordenado rectangular dextrógiro.
- Los valores de las constantes son:
- Semieje mayor: a = 6378137 metros.
- 1/f = 298,257223563
- Constante gravitacional: GM = 3986004,418 * 108 m3/s2.
- Velocidad de rotación: w = 7292115 * 10-11 rd/s.

2.2.2 SISTEMAS DE REFERENCIA LOCALES.

Todas las redes geodésicas están calculadas sobre un sistema de referencia geodésico definido por:

- Elipsoide de referencia.
- Punto Astronómico fundamental (donde coinciden la vertical astronómica y la geodésica).
- Origen de longitudes y latitudes.
- Origen de altitudes.

A este conjunto de datos, que nos permiten identificar un sistema coordenado, se le conoce por **DATUM**.

Para poder utilizar las observaciones GPS deberemos pasar del sistema WGS84 al sistema geodésico local. En el caso de Quito el sistema empleado es el **Sistema de Referencia Espacial - SIRES –DMQ**., definido por:

Datum: WGS84.

• Elipsoide: WGS84.

Semieje mayor a: 6378137.00 m.

• Achatamiento: 1/298.257223563.

• Semieje menor b: 6356752,314 m.

Proyección Cartográfica: Trasversa de Mercator Modificada (TMQ-WGS84).

Parámetros de la Proyección:

Meridiano Central: W 78°30'00".

• Origen de Latitudes: N 00°00' 00".

• Factor de Escala central: 1.0004584.

Falso Este: 500000 metros.

• Falso Norte: 10000000 metros.

Zona: 17 Sur Modificada (w 77° - w 80°).

Como Datum vertical se utiliza:

• El Sistema de Alturas con respecto al nivel medio del mar, en la Estación Mareográfica de la Libertad, Provincia del Guayas.

El primer problema se plantea en las altitudes. Las observadas mediante técnicas GPS, son altitudes elipsoidales referidas al elipsoide WGS84 mientras que las altitudes del marco de referencia SIRES-DMQ cuentan con altitudes ortométricas referidas al Datum vertical de la Libertad- Guayas, utilizando como superficie de referencia el geoide. Para pasar de un sistema a otro, deberemos conocer la ondulación del geoide **N** respecto al elipsoide medida sobre la normal al elipsoide.

2.2.3 PARAMETROS DE TRANSFORMACION.

Para calcular los parámetros de transformación de un sistema a otro necesitamos conocer los valores de las coordenadas en ambos sistemas de un mínimo de 3 puntos.

Estos 3 puntos nos generan 9 ecuaciones (3 por punto, una en cada eje) para la resolución de las 7 incógnitas que buscamos (Tx, Ty, Tz, Rx, Ry, Rz, λ), siendo dos los grados de libertad.

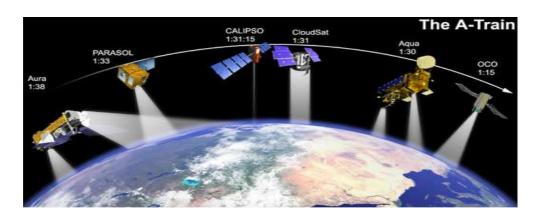
Calculados los parámetros de transformación entre dos sistemas de coordenadas podremos convertir las coordenadas de otros puntos de un sistema a otro, según las necesidades del trabajo.

2.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA GPS.

El sistema GPS consta de tres sectores: los satélites, el sistema de control terrestre de los mismos, y los receptores de usuario que recogen las señales enviadas por los satélites y determinan las coordenadas del punto sobre el que se encuentran.

En la aplicación de la metodología GPS se diferencian esos tres elementos:

2.3.1 SECTOR ESPACIAL.



Está compuesto por la constelación de satélites NAVSTAR (Sistema de Navegación para Tiempo y Distancia) los cuales transmiten: señal de tiempos sincronizados,

parámetros de posición de los satélites, información del estado de salud de los satélites sobre las dos portadoras y otros datos adicionales.

La constelación actual consta de entre 27 y 31 satélites distribuidos en seis órbitas con 4 ó más satélites en cada una. Los planos orbitales tienen una inclinación de 55 grados y están distribuidas uniformemente en el plano del ecuador. Con una órbita de 12 horas sidéreas, un satélite estará sobre el horizonte unas cinco horas. El objetivo es que al menos 4 sean visibles al mismo tiempo, a cualquier hora del día y desde cualquier punto de la superficie terrestre.

Los lanzamientos se llevaron a cabo en dos generaciones. De la primera de ellas, Bloque I, ya no quedan satélites operativos pues la vida media de los satélites era de 6-7 años. Todos los satélites actuales pertenecen al Bloque II-A, II-F y II-R.

La altitud de los satélites es de unos 20100 Km. a su paso por el zenit del lugar.

Orbitan con un periodo de 12 horas sidéreas por lo que la configuración de un instante se repite el día anterior con una diferencia entre día sidéreo y día solar medio (3m 56seg).

Los seis planos orbitales se definen con las letras **A,B,C,D,E,F** y dentro de cada órbita cada satélite se identifica con los números 1,2,3,4,5. Así cada satélite está perfectamente identificado, existiendo diversas formas de hacerlo:

- 1. Por el número de lanzamiento del satélite o número NAVSTAR (SVN)
- 2. Orbita a la que pertenece y número de posición dentro de ella
- 3. Número de catálogo NASA
- 4. Identificación Internacional: año de lanzamiento, día juliano, tipo
- 5. Número IRON. Número aleatorio asignado por NORAD.
- Código Seudo Aleatorio (PRN).

El sistema usual de identificación es por el Código Seudo Aleatorio del satélite.

Un satélite pueda quedar fuera de servicio civil por avería o envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no conmutables de los sistemas electrónicos, agotamiento del combustible de maniobra o por intereses militares.

La información temporal y de posición, están íntimamente relacionadas. El sistema GPS se basa fundamentalmente en la medida del tiempo de la forma muy precisa. Para ello los satélites contienen varios osciladores de alta precisión, con estabilizadores de máxima precisión capaces de dar medidas del tiempo del orden de 10 – 12, y de 10 –14 en los de última generación (bloque III, todavía no operativo).

Una referencia de tiempos defectuosa afecta al conjunto de la información del receptor. La escala de tiempo se denomina GPS Time, siendo la unidad el segundo atómico Internacional. El origen de la escala GPS se ha fijado como coincidente con el UTC a las 0 horas del día 6 de enero de 1980. El tiempo universal coordinado UTC es un tiempo atómico uniforme, cuya unidad es el segundo atómico (se trata de un híbrido entre tiempo atómico y tiempo universal).

2.3.1.1 Señal de los satélites.- Cada satélite va provisto de un reloj-oscilador que provee una frecuencia fundamental sobre la que se estructura todo el conjunto de la señal radiodifundida por el satélite.

Los satélites poseen una serie de antenas emisoras que funcionan en la banda L del espectro electromagnético, que son las que recibiremos en nuestros receptores. El satélite emite información sobre dos movimientos ondulatorios que actúan como portadoras de códigos, la primera se denomina L1. La segunda se denomina L2. El poder utilizar las 2 frecuencias permite determinar por comparación de la diferencia de retardos, el retardo ionosférico, difícilmente predecible por otros sistemas.

Sobre estas dos portadoras se envía una información modulada compuesta por tres códigos y un mensaje de navegación, generados también a partir de la frecuencia fundamental correspondiente

El primer código que envían es el llamado código C/A (coarse /adquisition) y ofrece precisiones que en la actualidad oscilan entre los 3m y los 10 m, y el segundo es el código P (precise) con precisiones métricas. Estos códigos son usados para posicionamientos absolutos, en navegación; y el tercero L2C de precisión similar al C/A.

En cuanto al mensaje, éste consta de 1500 bits, correspondientes a 30 segundos.

Está divido en 5 celdas. En cada celda encontramos información relativa a:

- CELDA 1. Parámetros de desfase del reloj y modelo del retardo ionosférico y troposférico.
- CELDAS 2-3. Efemérides de los satélites.
- CELDA 4. Aplicaciones militares.
- CELDA 5. Almanaque.

Sobre la L1 se suelen modular los dos códigos vistos, el C/A y el P además del mensaje correspondiente. En la L2 sólo se modula también el mensaje de navegación además de los códigos L2C y P.

2.3.2 SECTOR CONTROL.



La misión de este sector consiste en el seguimiento continuo de los satélites, calculando su posición, transmitiendo datos y controlando diariamente todos los

satélites de la constelación NAVSTAR. Había 5 centros: Colorado, Hawai, Kwajalein, Isla de Ascensión e Isla de Diego García. Desde 1995 hay 10 estaciones monitoras.

Todas ellas reciben continuamente las señales GPS con receptores bifrecuencia provistos de relojes de H. También se registra una extensa información entre la que cabe destacar:

- Influencia que sobre el satélite tiene el campo magnético terrestre.
- Parámetros sobre la presión de la radiación solar.
- Posibles fallos de los relojes atómicos.
- Operatividad de cada uno de los satélites.
- Posición estimada para cada uno de los satélites dentro de la constelación global.

Todos estos datos se trasmiten a la estación principal situada en Colorado Spring (USA) donde se procesa la información, obteniendo de esta manera todas las posiciones de los satélites en sus órbitas (sus efemérides) y los estados de los relojes que llevan cada uno de ellos para que con posterioridad los mismos satélites radiodifundan dicha información a los usuarios potenciales.

2.3.3 SECTOR USUARIO.

Este segmento del sistema GPS varía según la aplicación que se esté tratando. Está formado por todos los equipos utilizados para la recepción de las señales emitidas por los satélites, así como por el software necesario para la comunicación del receptor con el ordenador, y el post-procesado de la información para la obtención de los resultados.



Hemos de tener en cuenta que el sistema GPS fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines exclusivamente militares y por ello el objetivo principal del GPS es el posicionamiento de vehículos y tropas militares en cualquier parte del mundo.

Las primeras aplicaciones civiles llegaron de la mano de la Navegación, en lo que hoy conocemos como gestión y control de flotas, posteriormente con el desarrollo de los equipos se ha ido extendiendo para usos topográficos mejorando notablemente la precisión.

CAPITULO III.

RECEPTORES GPS.

3.1 CLASIFICACIÓN.

Si los clasificamos en función del observable que emplean para determinar la posición del punto distinguimos entre receptores de medida de pseudodistancias (código), que son los navegadores, y los receptores de medida de pseudodistancias y fase (receptores topográficos y geodésicos).

Los receptores también se pueden clasificar en receptores que registran la frecuencia L1 (código C/A), o bien registran conjuntamente las frecuencias L1 y L2 (receptores bifrecuencia).

La principal diferencia entre unos equipos GPS y otros, atiende a la precisión que permiten alcanzar:

3.1.1 NAVEGADORES



navegadores GPS

Únicamente reciben datos de código C/A por la portadora L1. Correlacionan el código y determinan la pseudodistancia entre el receptor y satélite, dando como resultado

final coordenadas tridimensionales de la situación geográfica del receptor (X, Y, Z), en el Sistema Geodésico WGS-84.

Son simples receptores GPS muy sencillos en su uso y de bajo precio. Funcionan autónomamente y consiguen precisiones por debajo de los 10 metros (sin Disponibilidad Selectiva SA-Selective Availability).

3.1.2 GPS SUBMETRICOS.

Son equipos GPS que reciben las mismas observables que los anteriores. Difieren de los anteriores al trabajar diferencialmente, un equipo de referencia y otro móvil en modo cinemático o en modo estático. Se trata de los equipos anteriores con admisión de correcciones.

Las precisiones que se pueden conseguir se encuentran por debajo de 1 metro, en función del tipo de receptor y los algoritmos de cálculo. Las aplicaciones se encuadran en los campos de la cartografía y GIS Receptor GPS mono frecuencia de código.

3.1.3 GPS MONOFRECUENCIA DE CODIGO Y FASE.



Leica GMX901 es un receptor mono frecuencia.



GPS topográfico

Estos receptores toman datos de la portadora L1 en sus dos modalidades código C/A y fase. Son equipos que trabajan en modo diferencial en tiempo real y en diferido (post-proceso). La precisión aumenta considerablemente respecto a los anteriores siendo de 1cm. + 2ppm., lo que nos permite utilizarlo en aplicaciones Topográficas.

Otras de sus características son:

- · Opción menos cara.
- Limitación de líneas menores a 15-20 kilómetros.
- Tiempos altos de observación.
- Con o sin opción RTK.
- Utilizado en trabajos topográficos como densificaciones de redes, apoyos fotogramétricos, levantamiento de puntos.

3.1.4 GPS DOBLE FRECUENCIA.



Receptor GPS Sokkia doble frecuencia, GSR2700 IS

Son los equipos de mayor precisión, y se utilizan en aplicaciones Topográficas y Geodésicas. Toman observables de las dos portadoras emitidas por los satélites, realizando medidas de código C/A y P en L1, de código P y L2C en L2, y medidas de fase en L1 y L2.

Trabajan en tiempo real o en post-proceso alcanzando precisiones del orden de 5mm.+1ppm y disminuyendo los tiempos de observación.

Se utilizan en redes topográficas y geodésicas, redes de control de deformaciones y control fotogramétrico, con tiempos de observación más cortos que en el caso anterior y distancias mayores de 20 km.

Cuadro comparativo de los diversos tipos de receptores GPS:

METODO	FRECUENCIA	OBSERVABLES	PRECISION	APLICACIONES
ABSOLUTO	L1	COD.C/A	±10 m	NAVEGACION
DIFERENCIAL	L1	COD. C/A	1 m	CARTO/GIS
DIFERENCIAL	L1	C/A Y FASE	1cm + 2ppm	TOPOGRAFIA
DIFERENCIAL	L1 Y L2	C/A,P,FASE	5mm + 1ppm	TOPO/GEO

3.2 DESCRIPCIÓN DEL RECEPTOR.

Los equipos que se utilizan en las aplicaciones topográficas y geodésicas constan de los siguientes elementos:

3.2.1 ANTENA GPS: Recibe y amplifica la señal recibida de los satélites. La antena es el elemento al cual viene siempre referido nuestro posicionamiento, está conectada a través de un preamplificador al receptor, directamente o mediante cable. La misión de la antena es la de convertir la energía electromagnética que recibe en corriente eléctrica que a su vez pasa al receptor.

- 3.2.2 RECEPTOR GPS: Ordenador que decodifica la señal recibida por la antena y registra las observaciones. El receptor GPS consta de una serie de elementos que se encargan de la recepción de las radiofrecuencias enviadas por los satélites. Además suelen poseer diferentes canales para seguir simultáneamente a varios satélites, un procesador interno con su correspondiente soporte lógico, una unidad de memoria para el almacenamiento de la información, teclado de control, pantalla de comunicación con el usuario, diferentes conectores para funciones varias y una fuente de alimentación interna o externa.
- **3.2.3 TERMINAL**: Es un interface de usuario que permite conocer el estado de la recepción, proceso de cálculo, y llevar a cabo la edición de los datos del receptor.

Por último, también se emplean trípodes, cables especiales, equipos de control meteorológico y diverso material auxiliar.

Una vez estacionados en el punto requerido y con el equipo completo en funcionamiento, el receptor puede ofrecer al operador, a través de la pantalla y con ayuda del teclado, una gran cantidad de información sobre la observación que estamos realizando:

- Satélites en seguimiento.
- Acimut de cada satélite en seguimiento.
- Elevación de cada satélite en seguimiento.
- Nuestra posición aproximada actual. (Longitud, latitud y altitud).
- Dirección y velocidad del movimiento, para navegación.
- Bondad de la geometría de observación.
- Bondad de la medida que puede hacerse sobre cada satélite.
- Edad o antigüedad de la información ofrecida.
- Progreso de la observación: satélites que se pierden y captan, y número de observaciones realizadas a cada uno.
- Nombre y número de la sesión que damos a la estación de observación, así como la identificación del operador y notas varias.

- Registros meteorológicos y datos locales introducidos.
- Estado de la fuente de alimentación.
- Otra información adicional.

El desarrollo de la tecnología GPS está orientado hacia la mejora en el seguimiento de satélites, la disminución de efectos multipath con complejos algoritmos de cálculo y la creación de equipos más compactos, pequeños y ligeros integrados en las estaciones totales tradicionales.

3.3 TRATAMIENTO DE LOS DATOS.

Para el tratamiento de los datos generalmente es necesario utilizar un software (programa informático específico), según la marca del instrumental, aunque cada vez es más frecuente mezclar la información registrada con diferentes receptores, y tratarla con diferentes programas. El programa de tratamiento de datos en general consta de los siguientes módulos:

- Planificación de observaciones
- Descarga de datos, incluidos los ficheros universales RINEX.
- Gestión de proyectos, como unidades de trabajo.
- Resolución de "Ambigüedades", calculando las líneas-bases.
- Visualizar y editar los datos GPS definitivos.
- Ajuste de los datos redundantes.
- Cálculo de la transformación del sistema WGS-84 al sistema local.
- Edición de las coordenadas definitivas.

Existen muchos programas para el tratamiento de los datos entre los cuales se puede mencionar:

- Eagle Point. Software de Ingeniería.
- Geopak- Software de diseño de infraestructuras de transporte.
- CivilCAD Modulo de Autocad especifico para los profesionales de la Ingenieria Civil y Topografia.
- Grid 2 CAD Conversor que permite realizar el paso de datos
 GRID procedentes de alguna de las plataformas de ESRI.
- Perigeo Calcula curvas de nivel a partir de nubes de puntos.
- Protopo Topografía, Construcción e Ingeniería Civil integrado en AutoCAD.
- TopoCal Cálculo topográfico del Modelo Digital del Terreno.
- TopoUtil Un conjunto de utilidades topográficas dentro o fuera del entorno de AutoCAD.
- Viales Permite el cálculo de los puntos secuenciales y el gráfico de planta de la definición planimétrica de un vial.

3.4 OBSERVABLES GPS Y MEDIDA DE DISTANCIAS A SATELITES.

El GPS es un sistema que permite obtener la posición de un punto midiendo las distancias existentes entre las antenas emisoras de los satélites y la antena receptora del equipo de campo.

Existen dos métodos fundamentales: mediante pseudodistancias (ó código) o por medidas de fase. En ambos casos el objetivo es la determinación de la distancia entre la antena GPS y el satélite del que recibe la señal.

Calculando la distancia como mínimo a tres satélites e intersectando inversamente en el espacio podremos determinar las coordenadas de la antena receptora, si el reloj del satélite y el reloj del receptor estuviesen sincronizados, en la práctica son necesarios 4 satélites para resolver con el cuarto la incógnita del estado del reloj. La precisión de dichas coordenadas dependerá del tipo de observaciones realizadas y de la metodología empleada en el posicionamiento. Por otra parte la metodología nos permite corregir parte de los errores que afectan a la precisión.

Las observables de tiempo (códigos) son:

- Código C/A modulado sobre L1.
- Código P modulado sobre la portadora L1.
- Código P modulado sobre la portadora L2.
- Código L2C modulado sobre la portadora L2.

Observaciones de diferencia de fase:

- Diferencia de fase de la portadora L1.
- Diferencia de fase de la portadora L2.

3.5 MEDIDAS DE CODIGO O PSEUDODISTANCIA.

Para la solución geométrica son suficientes las mediciones de distancia a cuatro satélites, uno por cada incógnita (XYZ, tiempo).

Esa distancia desde el receptor al satélite se determina por medio de una medición del tiempo de propagación del código C/A, L2C o del código P (este último de la portadora L1 o de la portadora L2).

El satélite transmite un impulso (código), este impulso contiene información adicional del instante de emisión. En el receptor se mide el momento de llegada del impulso y se lee la información contenida sobre el instante de emisión. La diferencia de tiempo

multiplicada por la velocidad de propagación de la señal nos permite obtener la distancia. Esta medida se denomina "pseudodistancia".

El tiempo del retardo nos permite calcular una distancia que no es precisamente la existente, ya que no conocemos el estado del reloj del receptor, de ahí que el valor hallado no sea una distancia real sino una pseudodistancia.

El método de pseudodistancias es propio de la técnica GPS. Se trata de una auténtica multilateración tridimensional que sitúa a la estación de observación, en la intersección de las esferas con centro en el satélite y radio correspondiente a la distancia entre las antenas de los satélites y el receptor, medida por este.

La pseudodistancia se podría definir como el desplazamiento temporal necesario para correlacionar una réplica del código GPS, generado en el receptor, con la señal procedente del satélite y multiplicado por la velocidad de la luz. Por tanto el observable es un tiempo.

La precisión de posicionamiento que nos ofrece este método es de aproximadamente un 1% del periodo entre sucesivas épocas de un código (se suele denominar longitud del chip). Así para el código P, cuyas épocas son de 0,1 microsegundo (por lo que la precisión de medida será de 1 nanosegundo), al multiplicar dicho factor por la velocidad de la luz, obtendremos una precisión de distancia de 30 cm. en tiempo real. Para el código C/A, cuya precisión es diez veces menor a la del código P, y obtendremos unos errores de unos 3 m.

3.6 MEDIDAS DE FASE.

La determinación de la distancia por este tipo de medida se puede comparar a la metodología empleada por un distanciómetro.

El satélite genera una onda con una determinada frecuencia (L1 o L2) en un instante y el receptor genera esa misma onda en ese mismo instante. El receptor compara la onda recibida con la generada y mide el desfase entre ambas así como la variación de este desfase en el tiempo. Para determinar la distancia exacta nos falta conocer el valor inicial del número entero de longitudes de onda (N o "ambigüedad inicial de fase") entre el satélite y el receptor que se mantendrá constante en el tiempo y después de un tiempo continuado de observación.

El método de medidas de fase es el que permite obtener mayor precisión. Su fundamento es el siguiente: partiendo de una frecuencia de referencia obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora demodulada que se ha conseguido tras la correlación, controlándose así, en fase, la emisión radioeléctrica realizada desde el satélite con frecuencia y posición conocidas.

Cuando esta emisión llega a la antena, su recorrido corresponde a un número entero de longitudes de onda (denominado N o "ambigüedad inicial de fase") más una cierta parte de longitud de onda cuyo observable (o momento exacto de recepción por parte de la antena) puede variar entre 0 y 360°. Tenemos pues, una frecuencia y cierta parte de la longitud de onda conocida, y la ambigüedad (Número entero de las longitudes de onda) por conocer. La resolución de la ambigüedad se realiza en base a un extenso proceso de cálculo, que además nos resolverá el estado de los relojes y por supuesto, los incrementos de coordenadas entre estaciones. Una vez obtenidos dichos valores, la resolución interna que nos proporcione el sistema, aunque diversas fuentes de error limiten la precisión operativa a algún centímetro o incluso menos, siempre en función de las técnicas de observación empleadas.

Debe destacarse que es fundamental en el sistema no perder el seguimiento de la fase para que la ambigüedad inicial no pueda variar. Si hay alguna pérdida de recepción por cualquier causa, la lectura de la diferencia de fase se rompe (Cicle Slip), y con ello aumenta el número de ambigüedades del sistema. Esta pérdida de ciclos puede ocurrir por muchas causas desde disturbios ionosféricos a obstrucciones físicas importantes (edificios, etc.). Podremos comprender, entonces,

la dificultad de trabajar en zonas próximas a arbolados, tendidos eléctricos, torres, edificios, etc., limitando las aplicaciones de éste método en tiempo real.

3.7 INCERTIDUMBRES EN OBSERVACIONES GPS.

Los parámetros que van a condicionar en gran medida las precisiones que podamos obtener con el sistema GPS, y por lo tanto las fuentes de error posibles pueden deberse a los satélites, al medio de propagación de la señal o a los receptores.

A continuación se destacan las siguientes:

3.7.1 TIEMPO (RELOJES).

Dado que en la información que nos llega de los satélites, estos nos transmiten el tiempo exacto en el que empezaron a emitir su mensaje codificado, y que los receptores miden, también, el tiempo exacto en el que recibieron cada señal, podremos calcular una medida de distancia entre el receptor y el satélite, conociendo la velocidad de propagación de la onda y el tiempo transcurrido desde que se emitió la señal hasta que fue recibida. El problema surgirá cuando los relojes del satélite y el receptor no marquen el mismo tiempo, de tal manera que un microsegundo de desfase se traduce en un error de 300 metros en la medición de la distancia.

3.7.2 IONOSFERA.

La ionosfera es la región de la atmósfera que se sitúa aproximadamente entre 50 y 1000 kilómetros sobre la superficie de la tierra. Posee la particularidad de que los rayos ultravioletas procedentes del sol ionizan las moléculas de gas que allí se encuentran liberando electrones, produciendo de esta forma una dispersión no lineal en las ondas electromagnéticas enviadas por los satélites. Cada onda se decelera en un ritmo inversamente proporcional al cuadrado de su frecuencia.

La manera utilizada para eliminar esta fuente de error consiste en comparar la información que recibimos utilizando las dos portadoras, L1 y L2 (receptores bifrecuencia), mediante la combinación de observables; o trabajar con un límite de distancias entre vértices inferiores a 20 km.

3.7.3 TROPOSFERA

Estos errores se cometen cuando se produce una refracción de las ondas según las distintas condiciones meteorológicas de temperatura, presión y humedad relativa del aire, que encuentra a su paso.

Para eliminar estos errores se aplican modelos troposféricos ya establecidos, o mediante algoritmos de estimación del retardo troposférico.

3.7.4 EFECTO MULTITRAYECTORIA

Se produce cuando la onda sufre reflexiones, choques contra objetos reflectantes en su camino hacia la antena.

Para reducir este efecto se requiere disponer de antenas con planos de tierra y sobre todo poner un especial cuidado en el emplazamiento de la misma.

Para metrizar la precisión de la geometría de los satélites se define el concepto de Indicador de la Precisión (DOP-Dilution Of Precision). Permite cuantificar la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre estos y su posición en el espacio.

El factor DOP, refleja la configuración geométrica de los satélites, como coeficiente entre la incertidumbre de precisión a priori y la incertidumbre de precisión a posteriori. Una mala distribución de satélites ocasiona una alta incertidumbre en la posición. Cuando los satélites están bien distribuidos, la incertidumbre en la determinación de la posición es menor.

Si los satélites están muy cerca unos de otros, se incrementa también la incertidumbre en la posición.

Se pueden calcular diferentes tipos de Dilución de la Precisión:

- VDOP Dilución Vertical de la Precisión. Incertidumbre en altura (vertical).
 Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección vertical.
- HDOP Dilución Horizontal de la Precisión. Incertidumbre 2D (horizontal).
 Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección horizontal.
- PDOP Dilución de la Precisión en Posición. Incertidumbre 3D. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D.
- TDOP Dilución de la Precisión en Tiempo. Incertidumbre en tiempo.
- GDOP Dilución de la Precisión Geométrica. Incertidumbre 3D y de tiempo.
 Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

El valor DOP más útil es el GDOP, ya que es una combinación de todos los factores. Sin embargo, algunos receptores calculan el PDOP o HDOP, valores que no toman en consideración el componente de tiempo.

La mejor manera de minimizar el efecto del GDOP es observar tantos satélites como sean posibles. No obstante hay que recordar que las señales de satélites con poca elevación generalmente tienen una gran influencia de las fuentes de error.

Como regla general, cuando se utilice el GPS para topografía, lo mejor es observar satélites con un ángulo de elevación superior a 15º sobre el horizonte. Las posiciones más precisas se calculan cuando el GDOP tiene un valor bajo, generalmente menor que 8.

Las precisiones iniciales conseguidas en el posicionamiento estándar (SPS) con el sistema GPS superaban con creces las expectativas. Este tipo de posicionamiento estaba a la altura del posicionamiento preciso (PPS) ofreciendo hasta 10 metros de precisión.

Para degradar los valores obtenidos con SPS, el Departamento de Defensa Americano puso en marcha la Disponibilidad Selectiva (SA), que actuaba sobre la información que enviaban los satélites en el mensaje, modificando los parámetros orbitales y el estado de los relojes. Con la disponibilidad selectiva activa las precisiones alcanzables eran de 15 a 100 metros. Se desactivó el 1 de Mayo de 2000, quedando el sistema GPS a libre disposición, sin distorsiones intencionadas de las señales.

Este concepto de Disponibilidad Selectiva (SA), consiste en alterar intencionadamente la señal de los satélites para controlar el uso civil del sistema. Era aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), que altera ligeramente el tiempo. Y alterando la transmisión de las efemérides (o la trayectoria que seguirá el satélite). El factor SA afectaba a los usuarios civiles que utilizaban un solo receptor GPS para obtener una posición absoluta. Los usuarios de sistemas diferenciales no se veían afectados de manera significativa por este efecto.

El resultado final supone una degradación en la precisión de la posición, y si bien el efecto SA está desactivado desde el 1 de mayo de 2000, deberá tenerse en cuenta de nuevo en el caso de que volviera a activarse.

Otro efecto a considerar es el denominado efecto Anti-Spoofing (50-400 m), que también es una distorsión intencionada del código P. Ha sido concebido con la idea de no permitir que otros usuarios tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándoles a emplear el código C/A. El efecto Anti-spoofing encripta el código P en

una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares (EEUU y sus aliados) pueden descifrar el código Y. Los receptores militares son más precisos porque no utilizan el código C/A para calcular el tiempo que tarda en llegar la señal desde el satélite al receptor GPS. Únicamente emplean el código P.

El código P modula a la portadora con una frecuencia de 10,23 Hz., mientras que el código C/A lo hace a 1,023 Hz. Las distancias se pueden calcular con mayor precisión empleando el código P, ya que este se transmite 10 veces más por segundo que el código C/A.

Los usuarios de receptores GPS militares generalmente obtendrán precisiones del orden de 5 metros, mientras que los usuarios de equipos GPS civiles equivalentes únicamente alcanzarán precisiones de 10 metros sin SA, o un poco mejores.

Algunos de estas variables pueden controlarse. Por ejemplo el sesgo del oscilador de los satélites puede evitarse mediante las correcciones enviadas por las estaciones de seguimiento, el sesgo orbital mediante las efemérides calculadas a posteriori (efemérides precisas) y el retraso ionosférico mediante la utilización de dos frecuencias y el proceso diferencial.

El efecto multipath se evita situando la antena de tal forma que evitemos este tipo de ondas y nos serviremos de planos de tierra si es preciso. En la actualidad existe un firmware de seguimiento en los equipos que evita la recepción de este tipo de ondas. Los errores debidos al oscilador del receptor los resolveremos observando diferencialmente.

La incertidumbre introducida en la posición por las variables mencionadas que afectan a la observación GPS, se considera que puede tomar los siguientes valores (en metros):

Causa GPS autónomo Diferencial

Reloj del Satélite 1.5 0

- Error orbital 0.5 0
- Ionosfera 5-50 0.4
- Troposfera 0.5 0.2
- Ruido del receptor 0.3 0.3
- Multipath 0.6 0.6
- SA 30 0
- Precisión típica GPS autónomo Diferencial
- Horizontal 50 1.5
- Vertical 78 2.0
- 3-D 93 2.8

3.8 METODOS Y APLICACIONES DE POSICIONAMIENTO GPS.

Existen distintos criterios a la hora de clasificar los métodos de observación o posicionamiento GPS. Se pueden clasificar según distintos factores:

3.8.1 SEGÚN EL SISTEMA DE REFERENCIA:

3.8.1.1 Absoluto.

Se calcula la posición de un punto utilizando las medidas de pseudodistancias por código (C/A, L2C o P) con un solo receptor. La precisión del método está en menos de 10 metros (función del código utilizado).

3.8.1.2 Relativo o Diferencial

Es necesario observar al menos con dos equipos simultáneamente. Las mediciones se pueden hacer por código o por fase. Se determina la distancia o incremento de coordenadas entre las antenas de los receptores (diferencia de posición entre ellos). A este método se le suele denominar diferencial. La gran ventaja de este método

radica en que los errores de posicionamiento, muy similares en ambos puntos, son eliminados en su mayor parte.

3.8.2 SEGÚN EL MOVIMIENTO DEL RECEPTOR:

3.8.2.1 Estático

Se determina un único trío de coordenadas (X, Y, Z) directamente o $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ si el posicionamiento es diferencial, de una antena a partir de una serie de observaciones realizadas durante un periodo de tiempo en el que no se sufren desplazamientos superiores a la precisión del sistema. Existe redundancia en la observación.

3.8.2.2 Cinemático

Se determina el conjunto de coordenadas (X, Y, Z) directamente o $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ si el posicionamiento es diferencial, en función del tiempo y la situación de la antena, la cual estará en movimientos superiores a la precisión del sistema. No hay redundancia en las coordenadas del punto determinado, por tanto, se obtiene sin redundancia las coordenadas de un punto a partir de una muestra única de datos o época.

3.8.3 SEGÚN EL OBSERVABLE UTILIZADO:

3.8.3.1 Medida de código.

Se determina a partir de pseudodistancias entre el satélite y el receptor mediante la utilización del código de la portadora. Se puede medir el código C/A (accesible para cualquier usuario) y L2C, o el código P (más preciso, pero normalmente encriptado).

3.8.3.2 Medida de fase de la portadora.

Se utiliza la fase de la portadora para realizar la medida de la pseudodistancia. Requiere trabajar en modo diferencial o relativo.

3.8.4 SEGÚN EL MOMENTO DE LA OBTENCIÓN DE COORDENADAS:

3.8.4.1 Tiempo Real (Real Time – RT).

Las coordenadas del receptor, móvil o estático, se obtienen en tiempo real, es decir, en el momento de la observación. La precisión es función del observable utilizado (código o fase) y del método utilizado, absoluto o relativo.

3.8.4.2 Post-proceso.

Las coordenadas del receptor, móvil o estático, son obtenidas en post-proceso, es decir, una vez finalizada la observación se calculan las posiciones en gabinete (lo que permite trabajar con efemérides más precisas). Este método se suele utilizar para posicionamiento estático relativo. En el caso de posicionamiento estático relativo con medida de fase se obtienen soluciones más precisas que en tiempo real.

A partir de la combinación de estos métodos puros surgirán los distintos métodos de observación propiamente dichos:

- Estático Absoluto (pseudodistancias).
- Cinemático Absoluto (pseudodistancias).
- Estático Relativo (pseudodistancia y fase):
 - 1. Estándar
 - 2. Rápido

- Cinemático relativo (pseudodistancia y fase):
 - 1. Cinemático (postproceso).
 - 2. RTK (fase, tiempo real, Real Time Kinematic).
 - 3. RT-DGPS (código, Real Time Diferencial GPS)

Para el caso de la topografía y geodesia todas las medidas GPS utilizarán el modo diferencial o relativo. Es decir, se mide una línea base (o base línea), desde un punto fijo (estación de referencia con coordenadas conocidas) a un punto desconocido (móvil o "rover").

3.9 MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO GPS APLICADOS EN TOPOGRAFÍA Y GEODESIA.

Estos métodos utilizan la medida de fase para la determinación de la línea base entre el receptor fijo y el receptor móvil:

3.9.1 MÉTODO ESTÁTICO RELATIVO ESTÁNDAR.

Se trata del clásico posicionamiento para la medida de distancias con gran precisión (5mm + 1ppm) en el que dos o más receptores se estacionan y observan durante un periodo mínimo de media hora, una o dos (o más), según la redundancia y precisión necesarias, y en función de la configuración de la constelación local y distancia a observar. Los resultados obtenidos pueden alcanzar precisiones muy altas, teóricamente hasta niveles milimétricos. Este método es el empleado para medir distancias mayores de 20 kilómetros con toda precisión.

Las aplicaciones de este método son:

- Redes geodésicas de cobertura a grandes áreas.
- Redes nacionales y continentales.

- Seguimientos de movimientos tectónicos.
- Redes de gran precisión.

3.9.2 MÉTODO ESTÁTICO RELATIVO RÁPIDO.

Es una variante del Método Estático Relativo Estándar. De esta forma se reducen los periodos de observación hasta 5 o 10 minutos por estación, manteniendo los mismos ordenes de precisión que para el método Estático (5mm-10mm + 1ppm).

Utiliza un algoritmo para la resolución estadística de las ambigüedades (en los equipos de la casa Leica, este algoritmo de resolución rápida de ambigüedades se denomina FARA), que permite la disminución de los tiempos de observación, por el contrario, tiene la limitación en las distancias a observar, menores de 20 kilómetros. El método destaca por su rapidez, sencillez y eficacia.

Las aplicaciones de este método son:

- · Redes topográficas locales.
- · Redes de control.
- Apoyo fotogramétrico.

3.9.3 MÉTODO CINEMÁTICO RELATIVO.

El receptor de referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil (ROVER), deberá ser inicializado para resolver la ambigüedad, de una de las siguientes formas: mediante una observación en estático (rápido) o bien, partiendo de un punto con coordenadas conocidas. Las épocas o intervalos de cadencia de toma de datos será función del objetivo de trabajo (velocidad del movimiento, cantidad de puntos a levantar...).

Existen mayores restricciones en la observación, ya que no puede haber pérdida de la ambigüedad calculada inicialmente. Si la hubiera tendríamos que volver a inicializar el receptor móvil.

Existe una variante de este método denominado **STOP&GO**. En este caso existe un número determinado de puntos a levantar, en los cuales realizaremos una parada durante unas épocas, almacenaremos la información del punto y seguiremos sin perder la señal de los satélites, hacia el siguiente punto a levantar. Este método ha quedado obsoleto en la actualidad debido a la aparición del RTK.

3.9.4 REAL TIME KINEMATIC (RTK)- GPS EN TIEMPO REAL.

Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 ó 2 cm + 1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o "rover", es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones (vía radio-modem, GSM, GPRS, por satélite u otros) entre REFERENCIA y ROVER. Esta sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance de la transmisión). Sus aplicaciones son muchas en el mundo de la topografía, y van desde levantamientos, hasta replanteos en tiempo real, fundamentalmente.

3.9.5 REAL TIME DIFERENCIAL GPS (RTDGPS).

Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión métrica o submétrica. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en

modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o Rover, es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Se trabaja con el código, es decir con la medida de pseudodistancias. En el receptor móvil se realiza una corrección a las pseudodistancias calculadas, mediante los parámetros de corrección que envía el receptor de referencia. Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones entre REFERENCIA y ROVER. Este sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance del sistema de transmisión de telecomunicaciones utilizado). Mejora el posicionamiento absoluto por código. Este método se aplica fundamentalmente en navegación. En el caso de topografía y cartografía se usa en levantamientos a pequeña escala, GIS, actualizaciones cartográficas de pequeña escala.

CAPITULO IV.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO EN RTK.

El levantamiento topográfico puede realizarse mediante el sistema GPS utilizando el método cinemático en tiempo real RTK (Real Time Kinematic). El método de trabajo con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento. Para este levantamiento se utilizan 2 receptores con equipo de radiomodem, una colectora de datos, un trípode rígido, un bastón y un flexómetro.

Un ejemplo de equipo completo estaría compuesto por:

- Receptor de doble frecuencia en modo RTK.
- Baterías (para la estación de referencia y el receptor móvil).
- Antena de doble frecuencia.
- Terminal para receptor GPS (colectora).
- · Radio-modem.

4.1 GEOREFERENCIACIÓN: TRANSFORMACIÓN DE SISTEMA DE REFERENCIA.

4.1.1 LA GEO-REFERENCIACIÓN. Trata sobre la ubicación de cierto punto en un datum determinado, para lo cual es necesario contar con una red geodésica. En el caso del Ecuador, la entidad oficial de la cartografía es el Instituto Geográfico Militar-IGM. (Instituto Geográfico Militar. **Ley de Cartografía Nacional.** IGM, Ecuador, 2006.)

Para geo-referenciar un punto de partida para cualquier proyecto o levantamiento, es necesario utilizar la técnica de puntos estáticos, lógicamente una de las antenas esta ubicada en un punto conocido, cuyos datos los obtendremos de la monografía de control horizontal expedida por el IGM.

4.1.2.1 RED GPS DEL ECUADOR.

La Red GPS del Ecuador comprende 135 estaciones que fueron observadas durante los años de 1994, 1996 y 1998. Las mediciones de terreno se realizaron a lo largo del territorio ecuatoriano, incluyendo una densificación en el área de Quito. Los receptores utilizados para estas campañas fueron Trimble y Ashtech.

- **4.1.2.1.1 Procesamiento de datos**.- El procesamiento de datos fue realizado en el DGFI, Alemania con el software BerneseGPS versión 4.0.
- **4.1.2.1.2 Publicaciones desarrolladas.-** Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame; Herbert Tremel, Ricardo Urbina; Munchen–Germany.

La Red GPS se encuentra totalmente determinada, obteniéndose coordenadas enlazadas a SIRGAS (ITRF94), para la época 1995.4.

- **4.1.2.1.3** Cálculo de parámetros.- Se realizó el cálculo de parámetros (siete) de transformación entre los sistemas PSAD56 y WGS84 (42 puntos utilizados).
- **4.1.2.1.4 Mantenimiento de la red GPS del Ecuador.** En noviembre y diciembre del 2002 (2002.9), se realizó la observación GPS de 38 puntos, de los cuales 16 pertenecían a la red GPS del Ecuador y 22 fueron nuevos puntos; Además, durante la campaña de campo se ubicaron estaciones GPS permanentes en los puntos SIRGAS de Latacunga y Libertad, con el objetivo de enlazar los 22 nuevos puntos a la red GPS del Ecuador y sacar las velocidades de los 16 vértices re-observados. El tiempo mínimo de observación por punto fue de 8 horas. Los equipos utilizados fueron 8 receptores GPS geodésicos TRIMBLE 4700 que tienen una precisión de: Pr = ± (0.005 m + 1 ppm). Cada receptor GPS con su respectiva antena geodésica Micro-centered L1/L2/w/Ground Plane.

4.2 OBTENCIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS.

Para la obtención del levantamiento de detalle, la metodología de observación con GPS en tiempo real, RTK, es un método rápido, cómodo y capaz de dar la precisión requerida para el trabajo.

El receptor fijo lo situamos sobre un punto de la red básica, de coordenadas conocidas calculadas en la fase anterior en el sistema de referencia local. Este vértice se denomina como vértice de referencia.

La metodología en tiempo real se basa en el cálculo de ambigüedades en el mismo instante de la toma de datos. Tras poner en funcionamiento el receptor de referencia se ha de esperar a que éste resuelva las ambigüedades antes de proceder a la obtención de datos de los puntos del levantamiento.

Si el número de satélites sobre el horizonte y su geometría es válido, el receptor de referencia fija ambigüedades en pocos minutos. Una vez realizada esta operación el cálculo de coordenadas de los demás puntos será instantáneo.

La comunicación entre el receptor de referencia y los receptores móviles, es posible gracias al sistema de telecomunicaciones utilizado para la transmisión, con un alcance de 5 Km entre ambos receptores. Para evitar problemas de comunicación entre receptores puede elevarse la antena del receptor de referencia lo máximo posible.

El procedimiento para efectuar el levantamiento de detalle con equipos GPS en tiempo real requiere el mismo equipo que para posicionamientos diferenciales, además de sistemas de transmisión de telecomunicaciones.

Se estaciona el equipo de referencia (fijo) con posicionamiento absoluto indicándole que calcule su posición durante un intervalo de tiempo adecuado (de 15 a 20 minutos) o se introducen sus coordenadas conocidas con anterioridad. El receptor

enviará las correcciones (RTCM-RTIME-RTCA) al equipo móvil a través de un sistema de telecomunicación operativo entre ambos receptores.

Las coordenadas de los puntos, se obtienen en el sistema de referencia WGS84.

La metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM. También podrían obtenerse en cualquier otro sistema de referencia local con respecto al cual se haya realizado la geo-referenciación (transformación de sistema de referencia).

Las precisiones obtenidas en las coordenadas del levantamiento dependerán de varios factores (precisión de las coordenadas de la red, precisión de los equipos utilizados, errores accidentales cometidos, etc.). De esta forma, la precisión de los puntos del levantamiento puede llegar a ser del orden de 2-3 cm.

El levantamiento se lleva a cabo por dos operarios con dos receptores, uno de referencia y otro móvil. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, mientras que el otro operario va realizando los croquis de la zona, así como anotando el número de punto y su correspondiente descripción, quedando así definido cualquier tipo de elemento a representar. El receptor fijo sólo necesita vigilancia y control de la batería.

Para los puntos de detalle que requieran mayor precisión o en donde por las circunstancias la antena GPS no pueda captar la señal será necesario hacerlo con estación total, cinta., para una mejor elaboración se requerirá de un registro fotográfico.

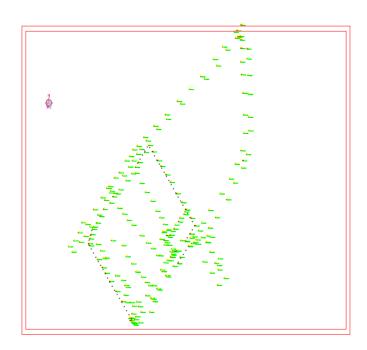
En los croquis se definen los elementos artificiales: registros de luz, aceras, carreteras,..; los elementos naturales: árboles, roquedos,...; y los accidentes del terreno como por ejemplo los taludes, para obtener un buen resultado en la realización del curvado en gabinete.

El levantamiento de una carretera se efectuaría mediante perfiles transversales, tomando en cada uno de ellos los diferentes elementos que la componen (mediana, isletas de vial, arcenes, farolas, borde del asfalto y los puntos del talud en los que variaba la pendiente).

Para obtener las cotas del terreno necesarias para realizar posteriormente el curvado de la zona, se toman una serie de puntos de relleno, dando una mayor densidad de puntos en las zonas donde la topografía del terreno es más variable.

Al final de cada día los puntos observados en campo se importan al ordenador, observando la nube de puntos para asegurar el haber cubierto toda la zona a levantar y evitando que queden zonas sin el número de puntos adecuado para una buena edición posterior.

A continuación mostramos un ejemplo de una nube de puntos levantados:



Ejemplo de nube de puntos1.

4.3 EDICIÓN CARTOGRÁFICA.

4.3.1 ADQUISICIÓN DE DATOS.

La captura de datos es el primer paso en el proceso de producción cartográfica.

Una vez listados todos los puntos tomados en campo, se exportan a formato ASCII, desde el programa de cálculo GPS. Con el fichero ASCII, se importan los datos al programa de cálculo topográfico, y desde él a formato DXF, para comenzar a trabajar desde el programa Microstation, en formato DGN, o dwg en Autocad. De esta manera se obtiene la nube de puntos en un fichero de diseño 3D, con el cual poder realizar las operaciones necesarias para la obtención del plano.

4.3.2 PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA.

En este proceso se prepara la simbología clasificando los símbolos según entidades (puntuales, lineales y superficiales) acordes con los croquis de la zona realizados en el campo.

Establecida la simbología que va a utilizarse, se efectúa el curvado para determinar el relieve. Las curvas pueden someterse a procesos de generalización, aplicándoles suavizados, correcciones y modificaciones para una mejor comprensión del relieve y obtener un buen aspecto visual.

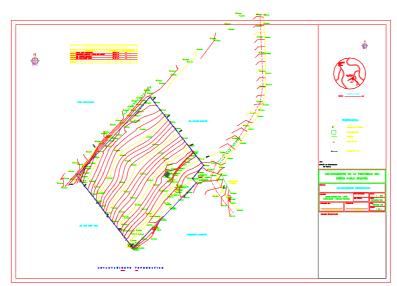
Se determina el perímetro de toda la zona y a continuación se realiza el proceso de edición del plano. Representada toda la zona de trabajo, se procede a la distribución de las hojas, obteniendo una mayor manejabilidad en el tratamiento de la información obtenida.

Dependiendo de las dimensiones de la hoja se define el diseño de la cuadrícula, el marco y la leyenda, teniendo siempre en cuenta la escala de trabajo y el formato de salida.

Una vez realizado todo el proceso de edición, se lleva a cabo la revisión de las hojas, en donde se corrigen los posibles errores cometidos, comprobando los siguientes aspectos:

- Diseño de la simbolización
- Elaboración de las curvas de nivel
- Selección de puntos acotados
- Distribución y diseño de las hojas
- Prioridad en la superposición de capas

Como resultado final de todos los procesos anteriores se obtiene la cartografía, pudiendo ser su formato tanto digital como en papel.



Ejemplo de cartografía final 2

4.3.2.1 Modelo digital y curvado del terreno.- En la actualidad los modelos digitales tienen interés propio, además de permitir la realización del curvado cartográfico. Es por ello por lo que nos detenemos en su estudio.

Definiremos el modelo digital del terreno como una "representación continua de la superficie de la Tierra, seleccionando un gran número de puntos de los cuales sus coordenadas XYZ son conocidas y representadas en un sistema arbitrario de coordenadas", o una "representación digital del terreno en forma adecuada para su procesamiento informático". Básicamente consiste en utilizar una metodología y un algoritmo matemático que permita:

- Calcular la cota en cualquier punto del terreno
- Generar curvas de nivel.

Los datos de entrada disponibles son las coordenadas XYZ de cada uno de los puntos tomados en campo. La calidad de estos datos será fundamental para conseguir un buen modelo matemático del terreno, se habrán seleccionado en campo los puntos que mejor representen el terreno y se habrá realizado una distribución uniforme en la toma de los puntos, con una mayor densidad de éstos en las zonas donde se puedan producir mayores indeterminaciones.

A la hora de realizar la malla de triángulos del terreno, tendremos que definir los tipos de puntos tomados en campo para la creación del MDT, para obtener el mejor comportamiento posible en el modelo:

- Puntos de relleno Puntos con coordenadas XYZ necesarios para la creación del modelo. Los triángulos que se forman en el modelo tienen sus vértices en estos puntos.
- Líneas de ruptura Están definidas por una serie de puntos e indican un cambio brusco en las características del terreno. Éstas son cabeza y pie de talud, límite de asfalto, etc. Los lados de los triángulos se apoyan sobre estas líneas y nunca las atraviesan.

A partir de las entidades anteriormente definidas se genera el modelo digital del terreno MDT, guardándose la superficie representada en un fichero, en el cual se aprecia cómo los lados de los triángulos respetan las entidades definidas

apoyándose en las líneas de ruptura del modelo, como hemos comentado anteriormente.

Con el modelo generado se efectúa un control visual de la forma del terreno, para tratar de localizar los posibles errores residuales que se pudieran generar, como brusquedad en las elevaciones y depresiones.

Una vez realizada la malla de triángulos, se genera el curvado obtenido por interpolación lineal en cada uno de los triángulos que conforman la malla.

Utilizando este método se obtienen todos los puntos que forman las curvas que son consecuencia de la intersección de planos horizontales con las aristas de los triángulos.

La representación del relieve se puede efectuar mediante curvas de nivel con una cierta equidistancia, por ejemplo de 0.5 metros en una escala de representación 1:500, complementadas con una serie de puntos acotados. A las curvas obtenidas se les puede aplicar los siguientes procesos para obtener mejores resultados:

- Suavizado de las curvas de nivel.- Es un proceso automático, de esta manera eliminamos picos y ángulos de las curvas de nivel muy visibles en la representación de la escala del proyecto. Así mejoramos tanto la visualización como la correspondencia de las curvas con el terreno, ayudando a una buena percepción por parte del usuario del plano.
- Corrección manual de las curvas A pesar del suavizado automático de las curvas, en algunos tramos de ellas hay que realizar correcciones, como puede ser la inserción de más vértices en las curvas para generar un aspecto más lineal, o quitar posibles ángulos que dan un aspecto poco realista de las curvas. Todo esto se realiza respetando en todo lo posible el curvado inicial.

 Rotulación manual de curvas de nivel maestras – Se realiza una corrección de la posición de los rótulos de algunas curvas, debido que los textos colocados de forma automática no siempre respetan las normas cartográficas de toponimia.

El curvado se importa al fichero gráfico y se obtiene la cartografía (apartado anterior) o bien se crea un fichero digital para otros tratamientos.

4.5 EJEMPLO DE APLICACIÓN.

4.5.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMETRICO EN ESTACIONES HIDROMETRICAS PROYECTO HIDROELECTRICO TOACHI-PILATON.

4.5.1.1 Antecedentes.

La Empresa HIDROTOAPI EP, es la encargada de construir y operar el Proyecto Hidroeléctrico TOACHI - PILATON el mismo que tiene una potencia instalada de 254 MW y una generación de 1.100 GWh/año.

La zona del Proyecto Hidroeléctrico Toachi-Pilatón se encuentra ubicada aproximadamente a unos 80 km de distancia al suroeste de la ciudad de Quito, en los límites de las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, cantones Mejía, Santo Domingo y Sigchos, y parroquias Manuel Cornejo Astorga, Alluriquín y Palo Quemado, respectivamente.

El proyecto hidroeléctrico geográficamente se halla ubicado en el rectángulo formado por las siguientes coordenadas UTM:

Este	Norte
723500	9954000
739800	9967000
723500	9967000
739800	9954000

El Proyecto Toachi-Pilatón es una obra hidroeléctrica que se desarrolla entre los 1.100 y 736 msnm y comprende la construcción de una captación en el río Pilatón y una presa de hormigón en el río Toachi y dos centrales de generación denominadas Sarapullo (49 MW) y Alluriquín (204 MW), con un total de 253 megavatios (MW) de potencia instalada y túneles que conectan las obras de toma con las centrales.

La determinación del comportamiento de los ríos del proyecto y sus zonas circundantes para los caudales de crecida, depende directamente de la información geográfica disponible.

Con la finalidad de solventar los requerimientos se ha programado realizar modelos matemáticos computacionales que determinen el comportamiento de los cauces y las zonas aledañas de los ríos del proyecto así como las posibles afectaciones a las poblaciones cercanas a las obras hidráulicas frente a posibles crecidas máximas, para esto es necesario contar con información topográfica y batimétrica de buena calidad y precisión, enlazada con la red de puntos geo-referenciados que la empresa mantiene.

La zona de influencia del estudio de crecidas se ha definido aguas abajo de las obras principales del proyecto, desde la captación Pilatón hasta la confluencia con el río Toachi, y desde la presa Toachi hasta el recinto El Paraíso, inclusive, en el río Toachi. Actualmente se cuenta con información topográfica obtenida a base de restitución aero-fotogramétrica de las cartas topográficas del IGM a escala 1:25 000, lo cual no permite realizar un estudio a detalle, por lo que se ha visto la necesidad de contratar un técnico que cuente con la capacidad apropiada para levantar la información requerida para los estudios hidráulicos correspondientes.

Dentro de este ámbito, y cumpliendo con las regulaciones y procedimientos establecidos para el efecto por parte del INCOP, HIDROTAPI EP, contrato los servicios Profesionales del Ingeniero Carlos Jenry Córdova Mesa, para efectuar los trabajos antes descritos.

4.5.1.2 Procedimiento.

Partiendo de la red geodésica que la Empresa HIDROTOAPI EP, solicito al IGM, se procedió a la densificación de la red a lo largo del trayecto de los ríos Pilatón y Toachi, utilizando antenas GPS SOKKIA GRS 2700 IS, mediante el método de puntos estáticos, para luego mediante el uso del software proceder a la determinación y ajuste de coordenadas en el margen izquierdo de los ríos, aguas abajo, la topografía en el área seca fue realizada con el método RTK, y la batimetría de los ríos partiendo de puntos colocados con la antenas GPS, se realizó con una Estación Total marca SOKKIA modelo SET 630 RK, laser.

4.5.1.3 Proceso y representación de datos.

El proceso de los datos obtenidos en campo fueron manejados en el programa Eagle Point, estos datos a su vez editados y graficados en el programa de dibujo Auto Cad.

4.5.1.4 Entrega de resultados.

Como resultado de los trabajos efectuados se obtuvieron 92 perfiles, dicha información fue entregada a la Gerencia de diseño de HIDROTOAPI EP, y una copia de los mismos al departamento de hidráulica de la Escuela Politécnica Nacional para la generación de los modelos hidráulicos.

Como ejemplo aquí se mostraran los planos de las estaciones hidrométricas, tal y como fueron presentados a la Empresa HIDROTOAPI EP.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

Como conclusiones del presente trabajo se puede decir que:

La humanidad desde sus inicios siempre ha ido en busca de innovaciones y descubrimientos que faciliten el quehacer diario, esta sed de búsqueda de confort, ha hecho que nosotros seamos beneficiarios de toda esta tecnología.

La ciencia como tal ha creado principios incorruptibles, los cuales se han mantenido y seguirán manteniendo, ya que todas las nuevas tecnologías se han basado en el desarrollo de estos principios.

Para entender el funcionamiento de cualquier equipo va a hacer siempre necesario el conocimiento de los fundamentos teóricos, lo que permitirá descubrir en el camino si estamos aplicando correctamente la tecnología.

La selección de cierto equipo para determinado trabajo siempre va a estar en función del requerimiento del trabajo; esto es, si necesitamos hacer un ajuste y georeferenciación de un proyecto o lote, este deberá ser siempre utilizando técnicas de puntos estáticos, con el debido post-proceso, o si se requiere hacer el levantamiento de una área agrícola, bastara con la utilización de los promedios de los equipos GPS., y la técnica de RTK.

No siempre los equipos podrán brindarnos la solución a nuestros requerimientos, por lo que va a ser necesario en muchos casos la combinación de las tecnologías, esto quiere decir que como en el ejemplo de aplicación podremos utilizar en un mismo proyecto, ajuste de puntos estáticos, traslado de puntos y levantamiento en RTK, y la complementación de detalles con estación total, y si es el caso a cinta.

Todos los trabajos y la determinación del uso de cierta tecnología van a requerir siempre del uso del sentido común.

5.2 Recomendaciones.

En el proceso educativo es necesario que se implemente la enseñanza de este tipo de tecnologías y la revisión de los conceptos básicos deberían considerarse como un capítulo de investigación propia del estudiante, claro siempre con la tutoría, orientación y explicación de los temas que sean poco comprensibles.

La universidad como ente de enseñanza debería contar con equipos que vayan acorde a la época, si bien es cierto para la correcta utilización de equipos modernos es necesario el dominio de los fundamentos teóricos y en algunos casos las técnicas de uso se mantienen como por ejemplo las plantadas de los equipos,, la comprensión de los datos arrojados por ciertos programas de procesamiento de datos, pero esto deberá complementarse con la enseñanza con equipos modernos, para que el estudiante no solo tenga referencias fotográficas o catálogos, sino que pueda manipular los mismos.

Como parte complementaria al uso de estos equipos es necesario contar con el aprendizaje de programas de proceso de datos, si bien es cierto ciertas instituciones con fines de lucro dan estos cursos, pero es la universidad pública la llamada a proporcionar este tipo de enseñanza, para que en un futuro los estudiantes puedan ahondar estos conocimientos en cualquier institución particular.

BIBLIOGRAFÍA.

Direcciones de Internet:

- http://www.sct.gob.mx/efecto_y2k/h_occidental/satelites/tsld011.htm
- http://www-cfa.harvard.edu/space_geodesy/ATLAS/gps_es.html
- http://www1.50megs.com/geoma/tecno02.htm
- http://www.quest.com.mx/sissol.htm
- http://www.terra.es/personal/beth999/miweb/gps.htm
- http://www.isa.cie.uva.es/gps/GPSintro.html

Textos:

- TOPOGRAFÍA, Miguel Montes de Oca, México 1979.
- TOPOGRAFÍA APLICADA A LA CONSTRUCCION, B. Austin Barry, México 1985.
- TECNICAS MODERNAS EN TOPOGRAFÍA, Bannister-Raymond-Baker, México 2006.
- OPERATIONS MANUAL, GSR2700 IS, Sokkia.
- ORDENANZA METROPOLITANA N° 225, Consejo Metropoli tano de Quito, 31 de agosto del 2007.
- LEY DE CARTOGRAFÍA NACIONAL, Instituto Geográfico Militar. IGM, Ecuador, 2006.
- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS), Caturla J.L. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, I.G.N. Madrid.1988
- GPS THEORY AND PRACTICE, Hofmann-Wellenhof, B.; Liuchtenegger, H.;
 Collins, J. Springer-Verlag, Wien, Austria, 1994.
- GPS SATELLITE SURVEYING, John Wiley & Sons, Leick A, Inc. New York, 1995.

- GPS LA NUEVA ERA DE LA TOPOGRAFÍA, Núñez-García A., Valbuena J.L., Velasco J., Ediciones de las Ciencias Sociales S.A., Madrid, 1992.
- GPS FOR GEODSEY, Teunissen P.J., Kleusberg A., Ed. Springer- Verlag, Germany, 1998.
- SURVEY INSTRUMENT, Deumlich Fritz. (Walter de Gruyter New York, 1982).
- TOPOGRAFÍA GENERAL Y APLICADA, Domínguez García Tejero Fco., Ed. Dossat S.A., Madrid, 1989.

ANEXOS.

G.P.S.: GLOBAL POSITIONING SYSTEM.



GLONASS.



La contrapartida rusa al G.P.S. lleva el nombre Global Navigation Satellite System (GLONASS) y es operacional desde el 18 de Enero de 1996, día en el que los 24 satélites estaban operativos y en comunicación al mismo tiempo. Kazantsev et al. (1992) discutió el estatuto de GLONASS. Actualmente, tras varios esfuerzos se ha conseguido construir receptores

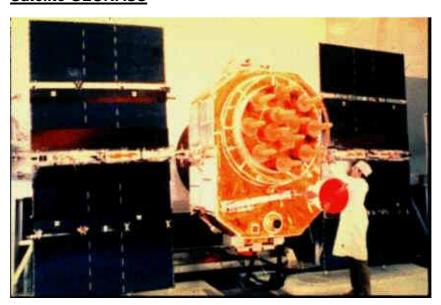
que puedan recibir señales pertenecientes a los dos grupos de satélites GLONASS y GPS. Existe por supuesto un gran interés en incorporar los satélites GLONASS al sistema debido al incremento potencial del número de satélites visibles simultáneamente. Como ha sido destacado anteriormente, cuanto mayor es la cantidad de satélites disponibles al mismo tiempo, más rápidas, mejor y más fiables son las técnicas de posicionamiento. Hoy en día las expectativas se centran en un nuevo sistema de gran interés: el GNSS (Global Navigation Satellite System) integrado por los dos grandes sistemas.

La tabla siguiente presenta una breve comparación entre las características de GPS y GLONASS:

	GPS	GLONASS	
Satélites			
nº de satélites	24	24	
nº de planos orbitales	6	3	
satélites/plano orbital	4	8	
inclinación orbital	55°	64.80	
excentricidad nominal	0	0	
radio orbital	26560km	25510km	
periodo orbital	11h 58min	11h15min	
periodo orbitar	THI John		
	Señales		
separación señales	CDMA	FDMA	
portadora	L1: 1575.42 Mhz	L1: 1602.56-1615.5 Mhz	
	L2: 1227.60 Mhz	L2: 1246.43-1256.5 Mhz	
código C/A (L1)	1.023 Mhz	0.511 Mhz	
código P (L1,L2)	10.23 Mhz	5.110 Mhz	
Mensaje de Navegación			
duración (min)	10.5	2.5	
	37500	7500	
dur.palabra (seg)		2	
cap. palabra (bit)		100	
	50	15	
palabras/trama	Elementos de Keple	Coord. cartesianas geocéntricas,	
efemérides	modificados	velocidades y aceleraciones	
eremendes	modificados		
	General		
Referencia temporal	UTC (USNO	UTC (SU)	
coord. espaciales	WGS 84	SGS 85	
disponibilidad selectiva	SI	NO	
antispoofing código P	SI	NO	

La llegada de GLONASS subraya la necesidad de que en el futuro GNSS adopte un sistema de referencia común. En efecto, como se puede observar en la tabla GPS y GLONASS usan diferentes referencias tanto de tiempo como de espacio. Esto no imposibilita el uso compartido de los 48 satélites que componen las dos constelaciones pero lo complica. GPS ya sigue las recomendaciones internacionales para las tramas de referencia con 10 cm y referencia de tiempo de 10 a 50 ns y la adecuación con el estándar mejora día a día. Éste no es el caso de GLONASS pero este año dos importantes comités internacionales (el Comité Internationale des Poids et Mesures y el Committee for the Definition of the Second) alcanzaron un acuerdo esperanzador que especifica las bases para la normalización de GPS, GLONASS y los GNSS's venideros.

Satélite GLONASS



El acuerdo no hace a GLONASS dependiente de GPS ni viceversa, pero requiere que los dos sistemas sigan las recomendaciones internacionales para tiempo y espacio. Debido a la creciente importancia de las aplicaciones civiles las autoridades rusas acercaron en Noviembre de 1996 su escala nacional UTC (SU) a la escala internacional UTC. Para aplicaciones temporales ya están en el mercado receptores del sistema dual combinado.

CONTENIDO.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA.

- 1.1 CONCEPTOS
- 1.2 PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS.
- 1.3LEVANTAMIENTOS.
- 1.4 CLASES DE LEVANTAMIENTO
- 1.5 TIPOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
- 1.6 EVOLUCIÓN DE LOS EQUIPOS TOPOGRÁFICOS.

CAPITULO II: INTRODUCCION AL GPS.

- 2.1 INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL
- 2.2 SISTEMA DE REFERENCIA Y PARAMETROS DE TRANSFORMACION
- 2.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA GPS:
- SECTOR ESPACIAL
- SECTOR DE CONTROL
- SECTOR USUARIO

CAPITULO III: RECEPTORES GPS.

- 3.1 CLASIFICACIÓN
- 3.2 TRATAMIENTO DE LOS DATOS
- 3.3 OBSERVABLES GPS Y MEDIDA DE DISTANCIAS A SATELITES
- 3.4 MEDIDAS DE CODIGO O PSEUDODISTANCIA
- 3.5 MEDIDAS DE FASE
- 3.6 INCERTIDUMBRES EN OBSERVACIONES GPS
- 3.7 METODOS DE OBSERVACION GPS

CAPITULO IV: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO EN RTK.

- 4.1 GEOREFERENCIACIÓN: TRANSFORMACIÓN DE SISTEMA DE REFERENCIA
- 4.2 OBTENCIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS
- 4.3 EDICION CARTOGRÁFICA
- 4.4 EJEMPLO DE APLICACIÓN
- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMETRICO EN ESTACIONES HIDROMETRICAS PROYECTO HIDROELECTRICO TOACHI-PILATON.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 5.1 CONCLUSIONES.
- 5.2 RECOMENDACIONES.