

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y
AGRIMENSURA

ESCUELA DE AGRIMENSURA

**“APORTES PARA LA DETERMINACION
DEL GEOIDE CON GPS”**

TRABAJO FINAL REALIZADO POR: SILVIO I. SCARAFIA LEGAJO 1958/5

DIRECTOR: ING. ALDO MANGIATERRA

ASESOR: ING. EDUARDO HUERTA

AÑO: 2005

INDICE

Introducción	4
CAPITULO I: Reseña y Actualización del Trabajo Final: “Aportes para la investigación de la ondulación del geoide sobre el elipsoide WGS 84”	
1 - Introducción y descripción de la red de puntos	6
2 - Nociones fundamentales de la geodesia superior	7
2.1.- Geoide	8
2.2.- Datum	8
2.3.- Sistemas de coordenadas empleados en geodesia superior	10
2.3.1.- Sistema de coordenadas espaciales rectangulares	10
2.3.2.- Sistema de coordenadas geodésicas	11
3 - Elementos de astronomía geodésica	11
4 - Determinación de las coordenadas geodésicas utilizando GPS	12
4.1.- Introducción	12
4.2.- Los satélites del Sistema de Posicionamiento Global	15
4.3.- Receptores	16
4.4.- Posicionamientos estático y diferencial	17
4.5.- Campaña de GPS en la zona de estudio	19
5 - Determinación de alturas utilizando GPS	20
5.1.- Altura elipsoidal	20
6 - Determinación de alturas con nivelación geométrica	21
6.1.- Nivelación de precisión y alta precisión	21
6.2.- Descripción del método por doble alineación	24
6.3.- Campañas de nivelación	25
7 - Ondulación del geoide	26
8 - Desvío de la vertical	28
9 - Conclusiones	29
 CAPITULO II: Sistemas de Referencia. Marcos de Referencia. Métodos Actuales.	
1 - Sistemas y marcos de referencia	34
1.1.- Introducción	34
1.2.- Sistemas de nivel mundial	34

1.3.- Marco de referencia en América del Sur	38
1.4.- Sistemas y marcos de referencia en Argentina	40
1.5.- Marcos de referencia en la Provincia de Santa Fe	44
2 - Sistema de posicionamiento Global	45
2.1.- Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC)	45
2.1.1.- Estación Permanente GPS – Rosario	48
3 – Georreferenciación	50

CAPITULO III: Propuesta de Realización del Trabajo

1 – Propuesta de realización del trabajo	55
2 – Conclusión	57

Bibliografía

INTRODUCCION

El presente trabajo consta de tres capítulos, conformado de la siguiente forma:

En el Capítulo I se realizó una reseña y actualización del trabajo final “Aportes para la investigación de la ondulación del geoide sobre el elipsoide WGS 84” realizado en el año 1996, en el cual se presenta la zona de estudio y una red de puntos conformada para el mismo, se expresan definiciones referidas a distintas materias estudiadas en el transcurso de la carrera, metodologías necesarias para llevar a cabo el trabajo y como fueron realizadas las campañas, teniendo en cuenta el uso del Sistema de Posicionamiento Satelital y la nivelación de precisión arribando a las conclusiones.

En el Capítulo II se explican distintos Sistemas y Marcos de Referencia que existen a nivel mundial, nacional y provincial; como así también lo referido a GPS como es la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC), la Estación Permanente ubicada en esta Facultad que conforma la citada red y el método de Georreferenciación.

En el Capítulo III se presenta una propuesta de realización actual, teniendo en cuenta los capítulos anteriores y una conclusión del mismo.

CAPITULO I

RESEÑA Y ACTUALIZACIÓN DEL TRABAJO FINAL: “APORTES PARA LA INVESTIGACION DE LA ONDULACION DEL GEOIDE SOBRE EL ELIPSOIDE WGS 84”. AÑO 1996.

1- INTRODUCCION Y DESCRIPCION DE LA RED DE PUNTOS.

El trabajo fue realizado en las cercanías (aprox. 3500mts.) de las localidades de Gral. Roca (Pcia. de Córdoba) y Tortugas (Pcia. de Santa Fe), siendo el cauce natural del arroyo Tortugas el límite interprovincial.

En esa zona existe una falla de llanura denominada “Fosa Tectónica de la Cañada de San Antonio”. Es por ello que en el año 1993, se decidió comenzar un trabajo de investigación siendo los objetivos del mismo:

- 1- Contribuir al estudio de dicha falla.
- 2- Confeccionar una carta de las ondulaciones del geoide sobre el elipsoide WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial) a nivel local.
- 3- Darle cota sobre el N.M.M. (Nivel Medio del Mar), a partir de un punto altimétrico del I.G.M. (Instituto Geográfico Militar), a un punto ubicado en Gral. Roca.

Debido a que la magnitud de las tareas, necesarias para estudiar una falla de llanura, demandan muchos años de estudios y que este tiempo no coincidía con el fijado para la elaboración de este trabajo final se decidió en conjunto con el director y los asesores no considerar el primer objetivo propuesto.

Para la confección de la carta se utilizaron datos altimétricos provenientes de las observaciones con GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y de la nivelación geométrica de precisión vinculada a un punto fijo altimétrico referido al N.M.M..

Las mediciones se efectuaron sobre una red conformada por ocho puntos (Fig. 1), que fueron designados como: Norte (N), Centro (C), Sur (S), Este (E), Pilar (P), Oeste (O), Torre (T) y Cooperativa (Coop). Los puntos O, E y S son puntos trigonométricos correspondientes al I.G.M., al igual que el punto N pero éste fue reconstruido al comenzar los trabajos de investigación en la zona. El punto C se construyó especialmente para dichos trabajos. El punto T es un mojón de hierro vinculado a un punto trigonométrico ubicado a unos pocos metros. El punto P es el pilar de acimut de un punto trigonométrico de I orden. El punto Coop se encuentra sobre la terraza de la Cooperativa Eléctrica de Gral. Roca.

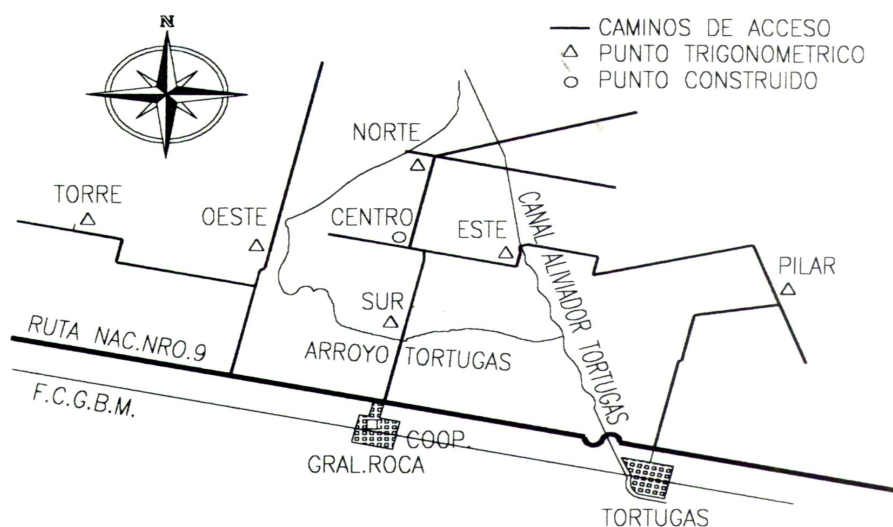


Fig. 1

Los puntos O, T y Coop se encuentran ubicados en la Pcia. de Córdoba, los restantes en la Pcia. de Santa Fe.

2 - NOCIONES FUNDAMENTALES DE LA GEODESIA SUPERIOR.

La principal tarea científica de la Geodesia Superior es el estudio de las formas, de las dimensiones y del campo gravitacional exterior de la tierra, esto comprende:

- 1-) La determinación de los parámetros y del tipo de superficie matemática de referencia que represente con la mejor aproximación posible la forma de la tierra en su totalidad.
- 2-) El estudio de la verdadera forma de la tierra (superficie física real) y su campo gravitacional exterior

La superficie que mejor se adapta a la forma terrestre, para representarla, es un elipsoide de revolución de poco aplastamiento. Estudiando las diferencias existentes entre éste y la superficie terrestre es como se puede conocer la forma real de la tierra.

Como la forma real de la tierra es muy compleja todos los problemas matemáticos de la geodesia se resuelven sobre la superficie del elipsoide. Se pueden elegir distintos elipsoides, se denomina a éstos "Elipsoides de Referencia".

2.a. - GEOIDE.

Debido al campo gravitatorio terrestre se puede imaginar a la tierra “envuelta” en capas denominadas superficies equipotenciales o de nivel. Estas superficies tienen la característica de que las líneas verticales la atraviesan perpendicularmente en todos sus puntos.

De todas estas superficies se elige una que coincide con la del nivel medio del mar (libre de la influencias de mareas, viento, salinidad, etc.) y se la extiende idealmente bajo los continentes formando así una superficie continua, cerrada y convexa denominándosela “Geoide”. Su forma se ve afectada por la distribución de las masas terrestres.

La dirección de las líneas verticales, cuyas coordenadas se calculan mediante observaciones astronómicas, está determinada por la dirección del campo gravitatorio terrestre.

2.b. - DATUM.

Para todo levantamiento geodésico “aislado” era necesario (antes de la utilización del Sistema de Posicionamiento Global) crear un Datum o Sistema Geodésico, el cual queda definido por los siguientes parámetros: semieje mayor y aplastamiento del elipsoide de cálculo, coordenadas del punto origen del levantamiento, acimut de arranque y longitud de base (para la determinación de la escala).

Anteriormente, las coordenadas del punto origen se obtenían asignándole las coordenadas astronómicas, es decir, se hacía coincidir la posición astronómica con la geodésica (Fig. 2).

$$B = \varphi \quad ; \quad L = - \omega \quad ; \quad h = H$$

El signo (-) en la Longitud ω se debe a que en este caso se toma el sentido retrógrado al definido para el sistema de coordenadas.

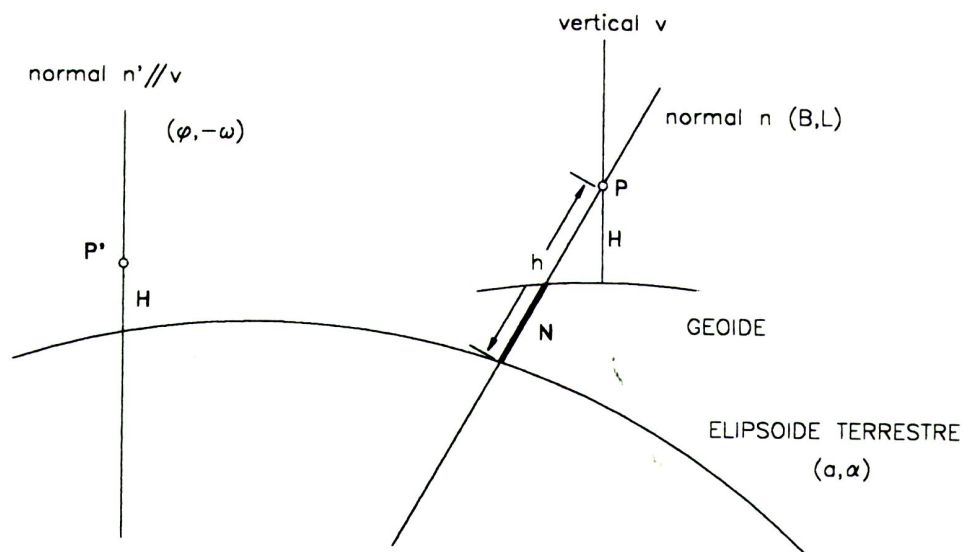


Fig. 2

De esta manera a un punto P se le asignaban, en realidad, las coordenadas de un punto P' que se encuentra próximo a P en un orden de 100 a 300 mts.(Fig. 3)

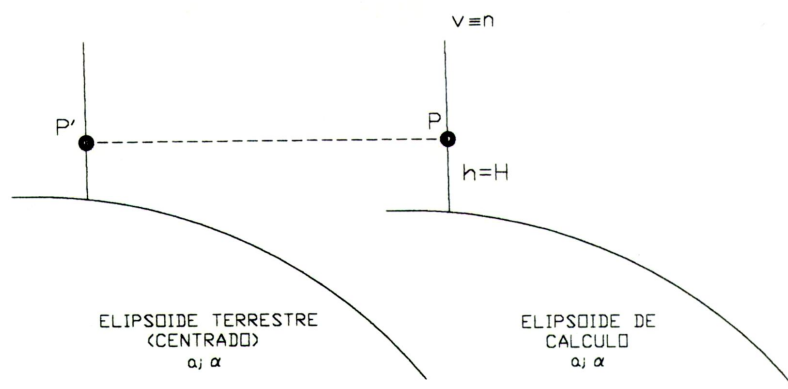


Fig. 3

Asignar al punto de arranque las coordenadas astronómicas implica desplazar el elipsoide terrestre, centrado en el centro de masas de la tierra, según el vector P'P; por lo tanto el levantamiento geodésico era calculado sobre un elipsoide no centrado, es decir, un elipsoide propio llamado “de cálculo”. La superficie de éste elipsoide es tangente a la superficie del Geoide en el punto origen del levantamiento.

En este trabajo se utilizó como origen del levantamiento para definir el datum al punto Coop, del cual se obtuvieron coordenadas geodésicas en el sistema WGS 84. Estas coordenadas fueron obtenidas a partir de los vectores que se midieron en campaña con GPS entre el punto Coop y cada punto trigonométrico, realizando previamente la transformación de las coordenadas, de los puntos trigonométricos, desde el marco de referencia Campo Inchauspe 69 al sistema de referencia WGS 84.

2.c. - SISTEMAS DE COORDENADAS EMPLEADOS EN GEODESIA SUPERIOR

2.c.1.- Sistema de Coordenadas Espaciales Rectangulares X, Y, Z.

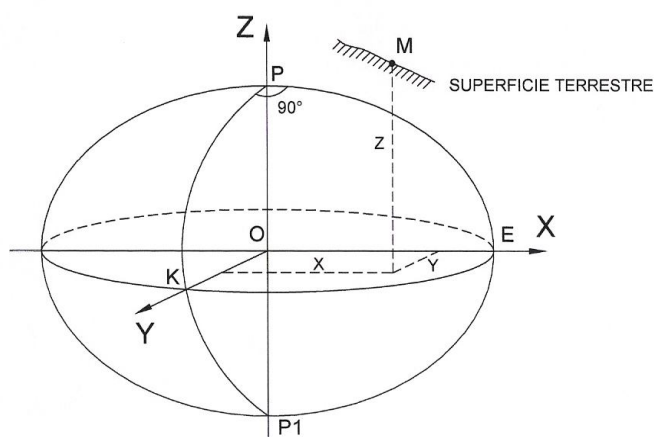


Fig. 4

En la Fig. 4 el centro del elipsoide O (centro de gravedad de la tierra) se toma como origen de coordenadas. El eje OZ (POP₁) coincide con el eje de rotación terrestre. El eje OX se encuentra sobre el plano ecuatorial en el meridiano PEP₁ (meridiano de Greenwich) que se toma como origen. El eje OY está situado sobre el plano ecuatorial, pero en el meridiano PKP₁, la superficie de este meridiano forma un ángulo de 90° con la superficie del meridiano de origen. De este modo la posición del punto M sobre la superficie terrestre se determina mediante las coordenadas X, Y, Z.

2.c.2.- Sistema de Coordenadas Geodésicas.

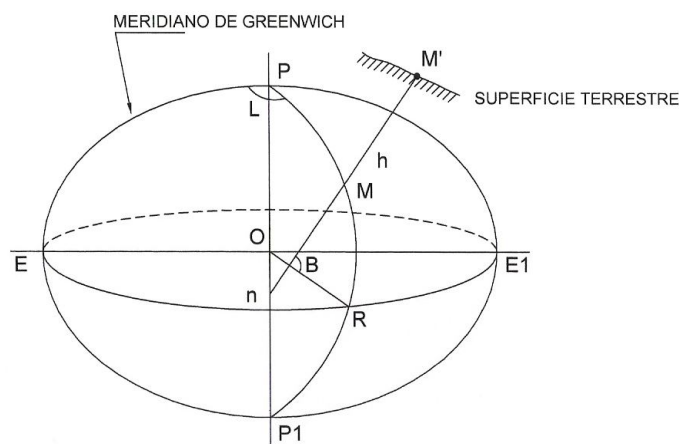


Fig. 5

Sea en la Fig. 5 PE_1P_1E la elipse de meridiano que pasa por el punto a partir del cual se miden las longitudes (Greenwich), M es la proyección sobre el elipsoide del punto M' (perteneciente a la superficie terrestre) según la normal $M'n$; $PMRP_1$ el meridiano que pasa por el punto dado M . El ángulo agudo B se denomina “Latitud Geodésica” y está formado por la normal Mn a la superficie del elipsoide desde el punto dado y por el plano ecuatorial ERE_1 . A la “Longitud Geodésica” L del punto M , la llamamos ángulo diedro PMP_1E , formado por el plano del meridiano de Greenwich PEP_1 y el plano del meridiano del punto en cuestión.

Cuando los puntos están situados en el hemisferio sur, la latitud se toma como negativa y se denomina Latitud Sur. En el caso de la longitud, si los puntos se sitúan al occidente, se toma como negativa y se denomina occidental.

Las latitudes y longitudes geodésicas definen la ubicación de las proyecciones de los puntos de la superficie terrestre sobre el elipsoide, conforme a la normal a éste. Para completar la ubicación de un punto de la superficie terrestre en el sistema geodésico de coordenadas necesitamos saber la altura geodésica h , que es el segmento de la normal al elipsoide desde el punto ubicado en la superficie terrestre (M') hasta la superficie del elipsoide (punto M).

3 – ELEMENTOS DE ASTRONOMIA GEODESICA

Las observaciones astronómicas fueron quedando en desuso frente a la rapidez, comodidad y precisión que ofrece GPS. A pesar de esto se efectuaron determinaciones de latitud y longitud en

el punto Coop para comparar posteriormente estas coordenadas astronómicas con las coordenadas geodésicas obtenidas por GPS y, de esta manera, obtener el valor del desvío de la vertical lo que nos dará la inclinación del geode respecto al elipsoide WGS 84.

Las coordenadas astronómicas latitud (φ) y longitud (ω) pertenecen a la vertical que pasa por el punto Coop. Estas se obtienen por observación de estrellas, es decir, necesitamos conocer la posición de las estrellas con respecto a la tierra como así también entre ellas.

La determinación de la latitud astronómica se realiza por culminación superior de pares de estrellas. Se entiende por culminación cuando la estrella realiza el pasaje por el meridiano de la estación; se toman pares de estrellas, una en su culminación norte (signo +) y otra en su culminación sur (signo -), aproximadamente de la misma distancia cenital “Z”, de esta manera se eliminan las influencias de los errores sistemáticos en la determinación de Z.

Se efectuó la programación y se realizaron las observaciones con la colaboración y dirección del Ingeniero Oscar Parachú. De los cálculos posteriores surgió la latitud astronómica.

Para determinar la longitud astronómica (ω) se realiza la observación de un par de estrellas en su pasaje por el 1er. vertical al este y otra al oeste. Al igual que en la latitud, tienen que tener la misma distancia cenital. De esta manera, la influencia de los errores es mínima.

Cuando se efectuó la programación no se contaba con la presencia del Ingeniero Parachú, por lo tanto se dejó de lado la condición del mismo Z para dar prioridad al brillo de las estrellas. Se realizó la observación y resultó la longitud astronómica.

4 - DETERMINACION DE LAS COORDENADAS GEODESICAS UTILIZANDO GPS.

4.1. - INTRODUCCION

El sistema de posicionamiento global (GPS) permite ubicar los puntos vinculados a la tierra en un sistema único de coordenadas de cobertura mundial, el WGS 84. Para ello posee estaciones de control de las cuales se conoce la ubicación con gran precisión sobre la superficie de la tierra, las mismas realizan un rastreo permanente de los satélites calculando las posiciones de estos y prediciendo sus orbitas. Esta información es transmitida a los satélites para así llegar a los usuarios del sistema.

El principio fundamental utilizado por GPS, para conocer la ubicación de un punto, se basa en la trilateración espacial. Para resolver este problema se plantea una intersección espacial de tres

esferas que tendrán como centro los puntos de coordenadas conocidas (satélites) y como radio la distancia entre éstos y el punto del cual se desea conocer la posición (receptor).

Existe otra alternativa en la cual la intersección se produce con hiperboloides, en vez de esferas, pero no haremos hincapié en ella ya que es poco utilizada en GPS y además es la de menor precisión.

Cabe aclarar que, al medir longitudes éstas siempre estarán afectadas de errores, en este caso las distancias observadas por los receptores también lo estarán.

Citaremos los errores que afectan la medición de la distancia satélite-receptor: incertidumbre de las efemérides transmitidas, error en la marcha del reloj del satélite y del receptor, error en la propagación de la onda y errores que dependen de la ubicación del receptor (efecto multipath). Además existe un factor, que si bien no es un error, afecta de manera diferente la incertidumbre en la posición del receptor: la configuración geométrica que determinan los satélites y el receptor (ubicación relativa entre los satélites y entre éstos y el receptor). La relación entre la desviación estándar de las distancias y la de la posición del punto puede conocerse a través de una constante, denominado DOP (Dilution Of Precision), cuando mayor sea este valor peor será la geometría de los satélites. Uno de los más utilizado es el PDOP, que define la relación entre la precisión de las distancias y la correspondiente a la planialtimetría en el punto donde se ubica el receptor.

Para medir la distancia satélite-receptor existen dos posibilidades las cuales detallamos a continuación:

- Por correlación de códigos (pseudodistancias)

Los satélites emiten ondas portadoras donde se modulan códigos, por otro lado, el receptor posee una réplica de los códigos que emiten los satélites. Cuando el receptor recibe la onda emitida por el satélite genera internamente la réplica del código, pero desfasado. La operación siguiente consiste en correlacionar estos códigos (recibido y autogenerado) lo que permite medir tiempo, conociendo la velocidad de propagación de la onda estamos en condiciones de calcular la distancia (satélite-receptor) recorrida por la onda.

Es necesario conocer las posiciones de los satélites y las distancias satélite-receptor en el mismo instante de tiempo. Debido a que el reloj del receptor no está sincronizado con el del satélite (existe un Δt) y que la atmósfera produce un retardo en la propagación de la onda, la distancia obtenida satélite-receptor no coincide con la real y es denominada pseudo distancia.

Para resolver el inconveniente de la sincronización (Δt) se deberá observar como mínimo cuatro satélites (en vez de tres), de esta manera se tendrán cuatro ecuaciones (una por cada satélite) con cuatro incógnitas (x , y , z , Δt) lo que permitirá resolver el sistema de ecuaciones planteado y así conocer la diferencia Δt , en conjunto con las tres incógnitas de posición (x , y , z) de cada punto.

La medición por código puede realizarse con los códigos C/A y P (siempre y cuando este último se encuentre disponible).

- Por medida de Fase

Los satélites emiten dos frecuencias de onda portadora ($L1$ y $L2$). Si conocemos la longitudes de las ondas y podemos contar la cantidad de ciclos y fracción de ciclos que se generan en el intervalo de tiempo en el cual la onda portadora recorre la distancia satélite-receptor, estaremos en condiciones de obtener esta longitud.

Cuando la onda portadora llega a la antena (instante t_0) habrá recorrido una distancia satélite-receptor, que se corresponderá con un número N de ciclos denominada ambigüedad

El receptor genera una réplica de la frecuencia de la señal recibida y, al comparar las dos ondas se puede determinar el “desfasaje” entre ambas, este es el observable de esta técnica.

Como la distancia entre satélite y receptor es variable, aumentará o disminuirá una cantidad de ciclos. Esta cantidad puede ser un valor entero de ciclos (n) y un desfasaje (ϕ), el receptor está en condiciones de determinar el valor n (ya que está provisto de un contador de ciclos) al momento de la conexión. Pero, para determinar el valor inicial N se deberán utilizar métodos (posicionamiento relativo) que nos brinden los datos necesarios para plantear sistemas de ecuaciones que permitan conocerlo o eliminarlo.

La distancia satélite-receptor resultará del producto entre la longitud de la onda portadora y el valor que resulte de la suma del número entero inicial de ciclos (N), el número entero que aumente o disminuya desde el momento de la conexión (n) y el desfasaje (ϕ).

Esta técnica, debido a las longitudes de onda y al método empleado, elimina la influencia de ciertos errores del sistema, logrando una mejor precisión (centimétrica) comparándola con la técnica de correlación por códigos (algunos metros).

4.2. - LOS SATELITES DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

La característica fundamental de los satélites del GPS es la utilización de códigos pseudo-aleatorios como base de la medición. Estos códigos (que se los puede imaginar como una serie de 0 y 1 o +1 y -1) forman estructuras (dibujos), es decir, en ciertas ocasiones no afectan la onda portadora (+1) pero la invierte con (-1) dando como resultado una onda deformada que es la que recibe el receptor. Esto es lo que se denomina pseudo ruido aleatorio (PRN), que es propio y exclusivo de cada satélite.

Los receptores poseen en su memoria replicas de los PRN de cada satélite, de esta manera cuando reciben la señal pueden identificar el satélite del cual provienen.

Los satélites GPS transmiten dos tipos de códigos pseudo-aleatorios que veremos más adelante.

Las ondas que parten del satélite, antes de llegar al receptor que se quiere posicionar, atraviesan la atmósfera. En ella la señal se refracta y, como consecuencia, la onda recorre una trayectoria curva prolongando su longitud produciendo un retardo de la señal.

Desde este punto de vista, la atmósfera puede ser considerada como formada por dos capas: una inferior, la tropósfera, modelada a partir de datos meteorológicos tomados en superficie y una superior, la ionósfera, que no puede ser modelada pero su efecto es proporcional a la frecuencia de la señal. Así, en primera aproximación, la observación de dos frecuencias distintas permite eliminar dicho efecto.

Los satélites del GPS transmiten en dos frecuencias coherentes, provenientes de un mismo oscilador patrón:

L1 de 1575,42 Mhz (longitud de onda: 19.05 cm)

L2 de 1227,60 Mhz. (longitud de onda : 24.45 cm)

Sobre la portadora L1 se modulan: los códigos P, C/A y el mensaje de navegación.

Sobre la portadora L2 se modulan: el código P y el mensaje de navegación.

El código P es más preciso que el código C/A debido a que posee una longitud de onda más corta, pero tiene el inconveniente de que puede ser reservado para uso militar exclusivo. Para ello se utiliza una técnica llamada “anti spoofing” (AS). Cuando esta técnica está activada se dice que el código P está “encriptado”.

El código C/A, a diferencia del P, está abierto a todos los usuarios pero ambos “estaban” afectados por una degradación voluntaria (producida por el Departamento de Defensa de los EEUU) llamada Disponibilidad Selectiva (SA). Esta se basaba en transmitir con errores

intencionales las efemérides (parámetros orbitales) y los estados de los relojes que se envían en el mensaje de navegación; este además contiene, entre otras informaciones, si está o no encriptado el código P, brinda un modelo ionosférico, un almanaque (que aporta datos orbitales para programar una observación).

A partir del 1 de Mayo del año 2000 la Disponibilidad Selectiva fue desactivada, en consecuencia las precisiones de las coordenadas obtenidas con los receptores mejoraron notablemente alcanzando un entorno de error de 10 mts en horizontal observando el código C/A (posicionamiento absoluto) y aún mejores.

4.3. - RECEPTORES

El receptor es el instrumento necesario para el uso del sistema. Está compuesto entre otros elementos por: antena receptora, sección de radiofrecuencia, microprocesador y memoria o sistema de almacenamiento.

Existen diferentes clases que van desde los que pueden observar el código C/A únicamente, hasta las distintas combinaciones de observables como pueden ser: código C/A y una frecuencia portadora (L1) o los dos códigos (C/A y P) y las dos frecuencia portadoras (L1y L2). Algunos receptores observan una correlación fina del código C/A.

La obtención de las coordenadas puede ser en tiempo real, post proceso o instantánea (menor precisión).

Con el transcurso del tiempo los distintos fabricantes fueron incorporando nueva tecnología a los receptores, como ser:

- reducción del efecto multipath (multicamino)
- rastreo de satélites con señales débiles
- mayor capacidad de memoria
- mayor velocidad de procesamiento y de entrada/salida de datos
- disminución de consumo de energía y menor peso

El avance tecnológico, además, se ve reflejado en las colectoras de datos o controladoras y en los software de procesamiento de datos los cuales aumentaron sus aplicaciones.

De acuerdo a las precisiones y aplicaciones se puede clasificar a los receptores en tres grupos:

- Para uso geodésico: son aquellos con los cuales se pueden lograr precisiones centimétricas. Pueden observar las dos frecuencias de la onda portadora (L1 y L2) o una de ellas (L1). Respecto a la obtención de las coordenadas, este puede realizarse luego de la observación (post-proceso) o en tiempo real (RTK), para esta última opción el receptor (estación total GPS) cuenta con un equipo de radio modem (transmisor) incorporado, lo que permite intercambiar datos entre receptor remoto y receptor base (posicionamiento diferencial), para obtener las coordenadas de los puntos en forma instantánea, permitiendo realizar replanteos con GPS. El rango máximo de alcance dependerá de la potencia del transmisor, puede alcanzar los 10 km (en condiciones favorables). Las precisiones son del orden de algunos centímetros. (según folleto del fabricante)
- Para uso topográfico: son aquellos con los cuales se pueden obtener precisiones métricas o sub métricas. Las coordenadas pueden obtenerse luego del post procesamiento de los datos observados o en tiempo real
- Navegadores: estos receptores trabajan solamente con el método absoluto (tienen como único observable el código C/A). Son los de menor precisión del mercado (10 mts luego de unos minutos de observación). Los de última generación incluyen algunas aplicaciones como ser: cálculo de superficies, cartografía de rutas, etc.

4.4. - POSICIONAMIENTOS ABSOLUTO Y DIFERENCIAL

Cualquier tipo de receptor GPS puede alcanzar el nivel de 10 mts en posicionamiento absoluto. Se puede mejorar la precisión si aplicamos la corrección diferencial (posicionamiento relativo) para eliminar los errores más significativos. Si utilizamos las mediciones de fase, en lugar de pseudo-distancias, podemos llevar la precisión de la posición diferencial a menos de 10 cm y aún bajarla a milímetros.

A continuación veremos las distintas posibilidades:

Posicionamiento Absoluto

Estático: un solo receptor realiza observaciones durante un tiempo determinado en un punto, como estas están afectadas de errores, se utiliza como resultado el promedio de las observaciones. El observable es el código C/A o el P. Las precisiones son del orden de los 10 mts (en un período de algunos minutos de observación).

Dinámico: a diferencia con el anterior, en este el receptor está en movimiento mientras realiza las observaciones. En consecuencia, cada punto queda definido por un trío de coordenadas y, al no existir un promedio es lógico pensar que las precisiones obtenidas van a ser peores.

Posicionamiento Diferencial (Relativo)

Estático: para realizar este método es necesario contar con dos receptores.

El método se basa en asignarle coordenadas a un punto (remoto) a partir de la posición, conocida o no, de otro punto (base). Para ello los receptores deben recibir simultáneamente las señales procedentes de los mismos satélites, luego de la observación se procesarán los datos, de ambos receptores, para obtener las coordenadas salvo el caso de las estaciones totales GPS donde, como había comentado cuando hablamos de receptores, estas se obtienen in situ.

El posicionamiento relativo puede utilizarse para observaciones tanto con códigos (C/A o C/A suavizado) como con fase (L1 y L1/L2).

La ventaja de este método de posicionamiento respecto al absoluto, es que se pueden reducir o eliminar la mayoría de los errores que afectan las observaciones, además para el caso de la medición por fase nos permite conocer el valor inicial de ciclos N (ambigüedad), que deriva en obtener coordenadas más precisas. Para ahondar en el tema si realizamos una observación con código C/A aplicando este método mejoraremos la precisión a 3 mts aproximadamente, en cambio si la observación es con fase la precisión alcanzada será de unos pocos centímetros.

Debemos tener muy en cuenta que para distancias mayores a 30 km, los receptores a usar tienen que ser de doble frecuencia (L1/L2), debido a que con este tipo de receptores podemos calcular el retardo producido por la ionósfera y corregir las observaciones.

Dinámico: para llevar a cabo este método es necesario iniciar la medición con el método estático, esto nos permite conocer la ambigüedad (N) de la fase, para luego tener dos opciones de levantamiento:

Uno de ellos es con el receptor remoto en movimiento continuo, denominado “DINAMICO PURO”.

La otra opción es la denominada “STOP AND GO” donde se detiene el receptor remoto en el punto de interés unos segundos para luego pasar a otros puntos. Debemos tener la precaución de no perder la señal proveniente de los satélites ya que de esta forma perderíamos el valor de N, conocido al iniciar el método; a excepción de que contemos con receptores que trabajen con el método “on the fly” (en movimiento), el cual tiene la capacidad de recuperar el valor N en pocos segundos.

Las precisiones en este caso son de algunos centímetros (menos de 10).

Cabe aclarar que las precisiones varían en función de algunos factores como ser: PDOP, cantidad de satélites observados, distancia entre receptores, etc

4.5. - CAMPAÑA GPS EN LA ZONA DE ESTUDIO

En la red de puntos sobre la cual trabajamos se realizaron tres campañas con instrumental GPS:

Primer Campaña: se utilizaron instrumentos de la F.C.A.G. (Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas-U.N.L.P.) y de la F.C.E.I.A. (U.N.R.), siendo los mismos receptores MAGELLAN NAV 5000 PRO, de una frecuencia y código de adquisición rápida C/A. El método utilizado fue el diferencial estático empleando una antena exterior; la bajada de datos se realizó en el momento de la observación debido a que los receptores no contaban con memoria interna suficiente. Se ubicó la estación de control en el punto Coop y los siete puntos restantes fueron medidos con la estación remota en dos sesiones de 20 minutos (separados por un intervalo de 10 minutos) en cada uno de ellos y a una velocidad de muestreo de 1 segundo.

Segunda Campaña: se utilizaron instrumentos del Dpto de Astrometría de la F.C.A.G. (U.N.L.P.), siendo los mismos dos receptores geodésicos ASHTECH Z-12, de doble frecuencia y código P. Al igual que en la primer campaña se utilizó el método diferencial estático, pero con sesiones de 30 minutos y una velocidad de muestreo de 20 segundos. El trabajo tuvo dos puntos de radiación, primero el receptor base en el punto Coop y el receptor móvil recorrió todos

los puntos de la red, a excepción del punto Torre; segundo, el receptor base en el punto Torre y el remoto recorrió los puntos restantes. Se midieron las variables meteorológicas (presión, temperatura y humedad relativa) para el cálculo de la corrección troposférica en una sola de las estaciones, considerando que la zona no presenta importantes desniveles.

Tercer Campaña: se utilizaron instrumentos de la F.C.E.I.A. (U.N.R.) y de la F.C.E.T. (Fac de Cs Exactas y Tecnológicas-U.N.S.E.), siendo éstos receptores MAGELLAN GPS PRO MARK V. La metodología utilizada fue la misma que en la primera campaña. El primer día se ubicaron en forma simultánea los receptores (3) en los puntos Torre, Pilar y Este. El segundo día dos receptores permanecieron en los puntos Este y Centro, mientras que el restante se ubicó primero en el punto Sur y luego en el punto Este 1.

Para poder cumplir los objetivos del trabajo se necesitaban conocer las alturas elipsóidicas de todos los puntos de la red, como así también la latitud y longitud geodésica del punto Coop. Se decidió utilizar los resultados obtenidos en la segunda campaña, es decir, cuando fueron utilizados los receptores ASHTECH Z-12 debido a las precisiones que estos instrumentos proporcionan, en el orden de una parte por millón para vectores menores a 20 Km y métodos de medición como los aplicados.

5 - DETERMINACION DE ALTURAS UTILIZANDO GPS

5.1. - ALTURA ELIPSOIDAL

Usando GPS es posible obtener diferencias de posiciones en forma precisa. Si necesitamos la altura elipsoidal y las coordenadas planas, debe ser incluida en el levantamiento una estación con coordenadas geocéntricas conocidas cuyas precisiones sean acordes a las necesitadas para dicho levantamiento.

La calidad de los resultados depende de las distancias entre los puntos observados, la zona de trabajo (llana o montañosa) y la disponibilidad de información precisa de las órbitas, además del tipo de instrumento utilizado.

La diferencia de posición puede ser dada como una diferencia en coordenadas cartesianas (x , y , z) o como una diferencia de latitud, longitud geodésica y altura elipsoidal (h). La diferencia de altura entre dos puntos es de menor calidad que la diferencia de posición horizontal.

Las correcciones debido a la refracción troposférica juegan un papel muy importante, especialmente cuando existen grandes diferencias de alturas entre los puntos. Si la separación entre las estaciones y la diferencia de altura son pequeñas el efecto queda cancelado.

6 - DETERMINACION DE ALTURAS CON NIVELACION GEOMETRICA

La cota de un punto es distinta según el itinerario recorrido en la nivelación debido al no paralelismo de las superficies equipotenciales, de ahí que se introduce el concepto de cota ortométrica, que es la distancia medida a través de la vertical entre la superficie equipotencial, donde se encuentra el punto, y la superficie del N.M.N., considerado como nivel 0 o geode. Esta cota es única para cada punto, pero para obtenerla se deben considerar datos gravimétricos junto a los desniveles brindados por la nivelación geométrica.

En este caso, debido a que la zona es típicamente de llanura y las distancias entre puntos no son muy extensas, la influencia de la gravedad no repercute en las cotas de los puntos de la red.

6.1. - NIVELACION DE PRECISION Y ALTA PRECISION

En un primer momento, uno de los objetivos del trabajo fue contribuir al estudio de una falla de llanura, por lo que se necesitaba nivelación de alta precisión para la determinación de los desniveles de los puntos en estudio. Como hubo cambios en los objetivos, dejó de ser necesaria la alta precisión y se optó por llevar la precisión de la nivelación al orden que tienen los resultados obtenidos con GPS (1 o 2 cm).

$$\textit{Tolerancia:} \quad T = K * \sqrt{L/\text{km}} \quad \begin{array}{l} K = 2 \text{ mm (niv. Alta precisión)} \\ K = 5 \text{ mm (niv. Precisión)} \end{array}$$

Instrumental: - Nivel ZEISS A y miras ZEISS invar mediocentimetradas con doble graduación (Niv. Alta Precisión).

- Nivel Automático ZEISS Ni 2 y miras metálicas mediocentimetradas.

A continuación se detallará el cálculo del error a priori para evaluar si, utilizando el nivel Zeiss A estaríamos en el entorno de la tolerancia establecida para el método de nivelación de alta precisión.

Establecida la tolerancia para el error de cierre: $T = K \cdot \sqrt{L/km}$ con $K = 2$ mm.

donde: K = coeficiente de proporcionalidad.

L = longitud del itinerario.

El valor de K para la nivelación de alta precisión puede ser también de 2.5 o 3.

Para una longitud de 1 km esta tolerancia es de 2 mm.

Entonces para 1 km de longitud se plantea:

Error de cierre: $E = \Delta H_i + \Delta H_v$ (considerando los signos de los ΔH)

Donde: ΔH_i = desnivel de ida

ΔH_v = desnivel de vuelta

$$E \leq T \rightarrow E \leq 2\text{mm.}$$

Como: $E = \Delta H_i + \Delta H_v$ si llamamos “Error medio de desnivel” a $\varepsilon_{m\Delta H}$

Sabemos que:

$$E = \sqrt{2} \cdot \varepsilon_{m\Delta H} \quad (\text{considerando a ambos desniveles igualmente precisos})$$

$$\varepsilon_{m\Delta H} = E / \sqrt{2}$$

$$\varepsilon_{m\Delta H} \leq 2 \text{ mm} / \sqrt{2}$$

$$\varepsilon_{m\Delta H} \leq \sqrt{2} \text{ mm} \quad (1)$$

Debemos tener en cuenta que:

$$\Delta H_i = (\Delta h_{ea} + \Delta h_{eb}) / 2$$

Esto se debe a la utilización de las miras Zeiss de invar mediocentimetradas con doble graduación, lo que conduce a obtener dos Δh , uno en escala alta (ea) y otro en escala baja (eb).

O sea que:

$$\varepsilon_{m\Delta H} = (e_T \cdot \sqrt{n}) / \sqrt{2} \quad \text{donde: } e_T: \text{ error total correspondiente a una nivelada.}$$

n : cantidad de visuales iguales consecutivas.

Como el nivel se estaciona equidistante de los puntos de enlace, los errores sistemáticos no influyen sobre los valores obtenidos, con lo cual el e_T puede atribuirse exclusivamente a los errores accidentales de horizontalidad y lectura. El nivel Zeiss A cuenta con el micrómetro correspondiente al dispositivo de placa de vidrio con caras planas y paralelas y retículo en cuña. Por lo tanto:

Error medio de lectura: $e_{ml} = 0.05 \text{ mm}$ (micrómetro)

Error medio de horizontabilidad: $e_{mh} = \frac{0.2'' * 25000 \text{ mm}}{206265''} = 0.02 \text{ mm}$

Se consideró 0.2" la precisión del calado de la burbuja y se decidió elegir 25 mts la longitud del tiro visual. Entonces:

$$e_T = \sqrt{(e_{ml}^2 + e_{mh}^2)} = 0.05 \text{ mm}$$

Obtenemos n: donde $L = l * n \rightarrow n = L / l$ para $L = 1 \text{ km}$ y $l = 25 \text{ mts}$

$$n = 1 \text{ km} / 0.025 \text{ km}$$

$$n = 40$$

Luego: $\epsilon_{m\Delta H} = \epsilon_{mk} = (e_T * \sqrt{n}) / \sqrt{2}$ ϵ_{mk} = error medio kilométrico

$$\epsilon_{m\Delta H} = 0.22 \text{ mm.}$$

De **(1)**: $\epsilon_{m\Delta H} \leq \sqrt{2} \text{ mm} \approx 1.41 \text{ mm}$

$$0.22 \text{ mm} < 1.41 \text{ mm}$$

De aquí podemos afirmar, de acuerdo al estudio de los probables errores, que el nivel Zeiss A cumple satisfactoriamente las exigencias establecidas.

6.2. - DESCRIPCION DEL METODO: NIVELACION POR DOBLE ALINEACION.

El siguiente desarrollo está basado en la publicación: “ Nivelación de Alta Precisión por Doble Alineación”. Ing. Geog. Aldo Mangiaterra – Agrim. Gustavo Noguera.

El método consiste en la nivelación simultánea de dos alineaciones paralelas (Fig. 6). En la estación E_j , equidistante de L_d L_i y M_i M_d , se lee sucesivamente en L_d , L_i , M_i , M_d y se repite la lectura en L_i para controlar un posible hundimiento de este apoyo y el mantenimiento del plano visual. Se calculan las diferencias de lecturas, “ $\Delta_{ad} M$ ” (desde estación E_j) y luego “ $\Delta_{at} M$ ” (desde estación E_{j+1}), la diferencia entre estos dos valores deberá estar dentro de la tolerancia establecida.

Se obtienen dos valores para el desnivel “ Δh ” entre los extremos de una línea, la diferencia entre estos constituye el error de cierre y el promedio de ambos será el “ Δh ” adoptado. Si suponemos que la línea va desde P_0 a P_n , es decir, tiene “n” tramos y, llamamos:

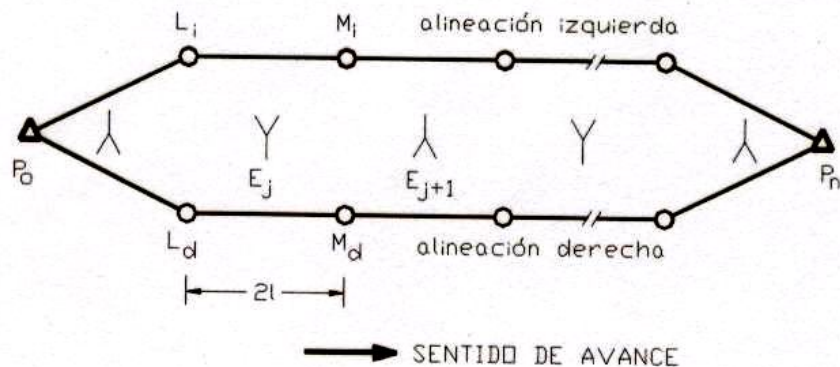


Fig.6

$$\varepsilon_{P_j} = \Delta_{ad} P_j - \Delta_{at} P_j \quad \text{al "control transversal"}$$

$$\varepsilon_{P_n} = \Delta_{ad} P_n - \Delta_{at} P_0 \quad \text{es posible demostrar que el error de cierre } E$$

$$E = - \sum_{J=1}^n \varepsilon_{P_j}$$

Siendo la tolerancia $T = K \cdot \sqrt{L} / \text{km}$ e igualando, es posible calcular el ϵ_{max} Pj en función de K y l (longitud del tiro visual) y controlar que las lecturas cumplan tal condición a medida que se avanza, garantizando así, casi con seguridad, el cierre dentro de la tolerancia establecida.

$$\sum \epsilon = E \leq T = K \cdot \sqrt{L} / \text{km} \quad ; \quad \sum \epsilon \leq \epsilon_{\text{max}} \cdot \sqrt{n} \quad n = L / 2l$$

$K \cdot \sqrt{L} / \text{km} = \epsilon_{\text{max}} \cdot \sqrt{n} = \epsilon_{\text{max}} \cdot \sqrt{L} / 2l$ donde “L” es la longitud total de la nivelación y “l” es la longitud del tiro visual.

$$\epsilon_{\text{max}} = k \cdot \sqrt{2l}$$

La ventaja principal de éste método es la de avanzar con una alta probabilidad de que el error de cierre se encuentre dentro de tolerancias, además el recorrido de la línea se realiza en un solo sentido.

6.3. - CAMPAÑAS DE NIVELACION.

Para efectuar las campañas era necesario contar con información relacionada al lugar, como así también a los puntos entre los cuales se iban a determinar los desniveles. Se recopilaban cartas del IGM, monografías de los puntos trigonométricos, abalizamientos, etc. Estos, datos eran indispensables para la ejecución del trabajo.

Elección del punto altimétrico: con la carta del IGM, correspondiente a la zona de estudio, la cual contaba con varios puntos fijos altimétricos, se decidió elegir el PF N° 20, perteneciente a la línea de alta precisión N (49) Cañada de Gomez - Marcos Juárez, debido a su cercanía a Gral.Roca (aprox. 1800 mts.).

Cuando se realizó la primer campaña uno de los objetivos del trabajo, como se dijo al principio, fue el estudio de una falla de llanura. Por éste motivo se utilizó un instrumento de alta precisión, el nivel Zeiss A acompañado de miras Zeiss invar mediocentimetradas. El tramo nivelado fue entre los puntos Centro y Sur.

Para las campañas siguientes se utilizó un nivel Zeiss Ni 2, el cual permitió agilizar la medición.

El orden de los tramos nivelados fue el siguiente: Segunda Campaña: tramos entre puntos Sur – B(arco), Norte - Centro, Este - Centro, Oeste – Centro. Cabe aclarar que el punto B(arco) es un punto fijo auxiliar ubicado en el arco de entrada a la localidad de Gral. Roca, no es un punto perteneciente a nuestra red. Tercer Campaña: tramos entre puntos Este - Pilar, PFA N°20 -B (arco). Cuarta Campaña: tramos entre puntos Oeste - Torre, B (arco) - Coop 1 (se realizará un comentario en las conclusiones).

7 - ONDULACION DEL GEOIDE.

En el punto 2.a. de este capítulo (Nociones Fundamentales de la Geodesia Superior), se expresó el significado de “Geoide”. Una de las tareas de la Geodesia es representar al mismo de la manera más precisa.

Los modelos de geoide permiten describir el comportamiento de una superficie de nivel o equipotencial (geoide) con respecto a un cuerpo geométrico de referencia (elipsoide).

La diferencia entre superficies (de nivel – elipsoide) se denomina ondulación del geoide “N” que, puede ser tanto positiva como negativa y alcanzar valores de hasta 100 mts

Existen distintos modelos de geoide a nivel global, con distintas precisiones como el EGM 96 (± 1 m) o los anteriores a este como el OSU 89 B y el OSU 91 A

El punto P (Fig. 7) se encuentra a una altura H del geoide, sobre la dirección de la vertical del mismo, obteniéndose mediante nivelación geométrica; y a una altura h del elipsoide sobre la normal al mismo, determinándose con GPS.

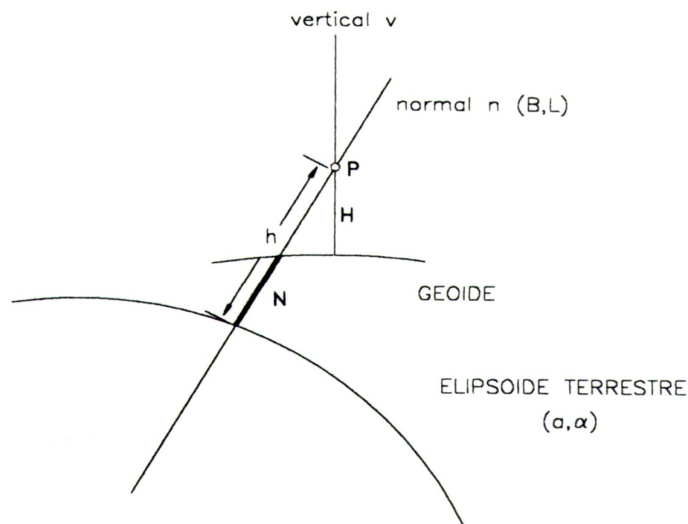


Fig.7

La vertical no coincide con la normal, éste ángulo que forman se conoce como “desvío de la vertical” y, en casos excepcionales, puede llegar a un valor máximo de 1'. Debido a la magnitud del mismo, se puede decir que:

$$h = H + N$$

Si se trabaja con GPS, la cota de un punto sobre el N.M.M. (H) puede ser obtenida fácilmente si conocemos el valor de la ondulación N.

En cuanto a este valor N, existen procesadores comerciales de GPS que vienen provistos de un modelo global de geoid. En este caso se trabajó con el modelo global que provee la D.M.A. (actualmente N.I.M.A.), el cual ofrece una solución que, en muchos casos, no es lo suficientemente precisa para trabajar a nivel local, por lo que se hace necesario llegar a un mejoramiento del modelo. Esto se puede lograr trabajando con GPS en una zona que cuente con una red altimétrica de puntos referidas al N.M.M., realizándose observaciones en cada punto se obtienen las alturas elipsoidicas (h). Con el valor de la cota sobre el N.M.M. (H), como dato previo, se calcula la ondulación (N) para cada punto. Si realizamos la diferencia entre este N, obtenido del cálculo, y el N_{glob} , que provee el modelo global, obtendremos pequeños residuos apropiados para interpolar en esta zona.

Si los valores de los residuos obtenidos (N-Nglob) no fuesen parejos, se debe típicamente a la atracción de las masas topográficas pudiendo calcularse el potencial de esta atracción mediante un modelo digital de terreno.

Respecto a los valores de los residuos obtenidos se realizará un análisis en la conclusión de este trabajo, sin transcripción alguna de los mismos.

8 - DESVIO DE LA VERTICAL.

Como hemos visto, la dirección de la línea de la vertical se determina en la superficie terrestre a partir de las observaciones astronómicas, por medio de la deducción de las coordenadas astronómicas (φ , ω). La dirección de la normal a la superficie del elipsoide se determina mediante coordenadas geodésicas (B, L). De esto se deduce que la desviación de la línea vertical, que es el ángulo formado entre la dirección de la vertical y la normal al elipsoide, puede calcularse a partir de la correspondiente comparación de las coordenadas geodésicas y astronómicas.

Observando la Figura 8 tenemos: la normal al elipsoide y la línea vertical que pasa por un punto A_0 (que en nuestro caso sería el punto Coop.). El ángulo “U” es lo que se llama “desvío de la vertical”, y se puede expresar de dos maneras:

La primera sería dando el valor total del ángulo “U” y el acimut geodésico del plano (θ) donde se encuentra éste.

La segunda, que es la más frecuente, es determinando la magnitud de la componente del desvío sobre el meridiano del punto, llamada ξ , y la magnitud de la componente transversal del desvío, denominada η . Si el cenit astronómico se desvía del geodésico al noreste, ambas componentes se consideran positivas. Estos valores se calculan a partir de ecuaciones obtenidas por resolución de triángulos esféricos.

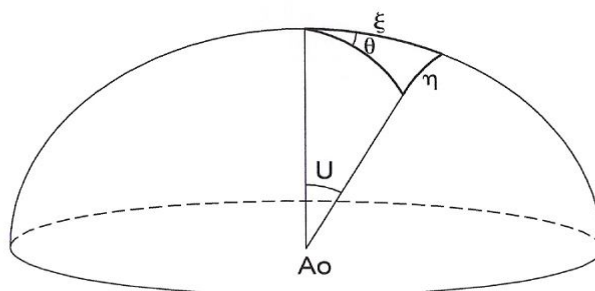


Fig. 8

9 - CONCLUSIONES.

9.1. - Del trabajo efectuado y los resultados obtenidos se desprende que las determinaciones astronómicas, en la actualidad, dejan de ser indispensables para el conocimiento del geode. ¿Por qué se puede afirmar esto? La razón fundamental es la utilización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que permite obtener las coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre con las siguientes ventajas frente a las determinaciones astronómicas:

a-) Rapidez: en este caso la obtención de las coordenadas de ocho puntos con GPS demandaron tres días, incluyendo el procesamiento, mientras que la obtención de las coordenadas astronómicas de un punto demando nueve días (programación y cálculo) y tres noches (observación).

b-) Comodidad.

c-) Independencia de las condiciones meteorológicas y de los horarios de trabajo.

d-) Precisiones: analizando los resultados de las determinaciones astronómicas se puede afirmar que para cualquier operador, ya sea éste con o sin experiencia, en las mismas se obtienen precisiones de un orden inferior al que se puede lograr con el uso de receptores GPS, aún en posicionamiento absoluto. Decimos esto en función de las discrepancias obtenidas entre las diferentes determinaciones de las coordenadas astronómicas; en el peor de los casos la diferencia es de aproximadamente 30". Llevando este valor a la superficie terrestre, sabiendo que 1" de latitud representa aproximadamente 30 mts., estamos hablando de un error de 900 mts. Mientras que cualquier receptor GPS (en posicionamiento absoluto) estará en un entorno de error de los 10 mts. Cabe aclarar que para el estudio del geode las mediciones con GPS deben estar necesariamente acompañadas de nivelación geométrica y mediciones gravimétricas.

9.2. - Desvío de la Vertical: sabiendo que éste debería estar en el orden de unos pocos segundos, las determinaciones astronómicas tendrían que realizarse con una precisión cercana a 1". Debido a las imprecisiones, en gran parte por la falta de experiencia, los resultados de las observaciones para la latitud están acompañados por un $\text{emc} = \pm 12''.56$. Por lo tanto no se debe considerar el resultado obtenido para el desvío de la vertical.

9.3. – Nivelación.

a-) El reconocimiento previo de la zona de estudio es uno de los pasos que necesariamente hay que efectuar antes de realizar cualquier tipo de trabajo topográfico; generalmente no se le brinda la importancia que merece. En nuestras campañas fue fundamental, debido a que nos ayudó a programar la ejecución de cada tramo de nivelación.

b-) El comportamiento del nivel automático Zeiss Ni 2, a partir de la segunda campaña, fue satisfactorio respondiendo a las tolerancias preestablecidas.

$$T = K * \sqrt{L} / \text{km.} \quad K = 5 \text{ mm.}$$

Resultando el máximo $E_{\text{cierre}} = 6 \text{ mm.}$

c-) El notorio aumento de la velocidad de trabajo de nivelación a medida que se avanzaba en la campaña, con la salvedad del primer tramo, por tratarse de nivelación de alta precisión.

d-) En el tramo B (arco) - Coop (est. astronómica) se encontró un error, debido a una equivocación en la anotación de las lecturas adelante de un punto de paso siendo de un mismo orden en ambas alineaciones, lo que ocasionó que el control de avance ($\Delta_{ad} - \Delta_{at}$) se encontrara dentro de tolerancia, sin evidenciarse el error. Sin embargo la equivocación fue del orden de los 2 mts, lo que se evidenció en la obtención de la cota del punto Coop cuando se la utilizó para calcular el valor de la ondulación y la misma excedió el valor promedio de la zona.

IMPORTANTE: si se comete la misma equivocación en ambas alineaciones, el cierre total puede encontrarse dentro de las tolerancias, pero obtenerse una cota completamente equivocada. Hay que tener precaución cuando se producen cambios bruscos de pendiente o posiciones inusuales de la mira.

9.4. – Acerca de utilizar GPS para obtener cotas de puntos sobre el N.M.M., se debe tener en cuenta los objetivos de cada trabajo, los que están directamente ligados a la precisión que se desea alcanzar. No se pretende analizar las precisiones que se pueden alcanzar en altimetría con el uso de GPS, sólo llegar a alguna conclusión en la obtención de cotas sobre el N.M.M..

Se realizó un análisis de los residuos obtenidos (N-Nglob), ya comentados en el punto 7 de este capítulo (Ondulación del Geoides), los cuales estaban acotados en un entorno de 0.73 a 0.79 mts ; salvo en dos puntos de la red (E y P) en los cuales la diferencia era de aprox. + 0.30 m respecto al entorno citado, lo que nos lleva a realizar un comentario aparte (punto 9.6.) de esta conclusión.

Esto nos lleva a pensar en la posibilidad de utilizar esta metodología para mejorar el modelo global de geoides, lo que nos permitiría nivelar con GPS en un área donde se cuente con una red altimétrica de puntos referidos al N.M.M.. Realizando observaciones en cada punto, para luego calcular los valores de ondulación, los respectivos residuos y así interpolar para obtener las cotas de los puntos interiores a la red. Es decir, se puede utilizar GPS para nivelación, pero si se desea obtener cotas referidas al N.M.M. con precisión será necesario tener un conocimiento de las ondulaciones del geoides acorde a la precisión buscada.

9.5. - Se planteó el siguiente desarrollo.(Fig. 9)

De la nivelación geométrica se obtiene: $\Delta H_{qp} = H_p - H_q$.

De las mediciones con GPS resulta: $\Delta h_{qp} = h_p - h_q$.

En base a : $h = H + N$

$$\Delta h = (H_p + N_p) - (H_q + N_q).$$

$$\Delta h_{qp} = \Delta H_{qp} + (N_p - N_q).$$

El Δh sería igual a ΔH si las ondulaciones en ambos puntos fueran iguales, pero sabemos que esto no es así, comparando las discrepancias que existen entre Δh y ΔH en base a los resultados obtenidos en campaña. Estas discrepancias que existen entre las diferencias de alturas elipsoidicas y ortométricas se deben a la variabilidad que tiene la superficie equipotencial del N.M.M., reafirmando la necesidad de un mejor conocimiento del geoides para la obtención de cotas ortométricas, de cierta precisión, con el uso de GPS.

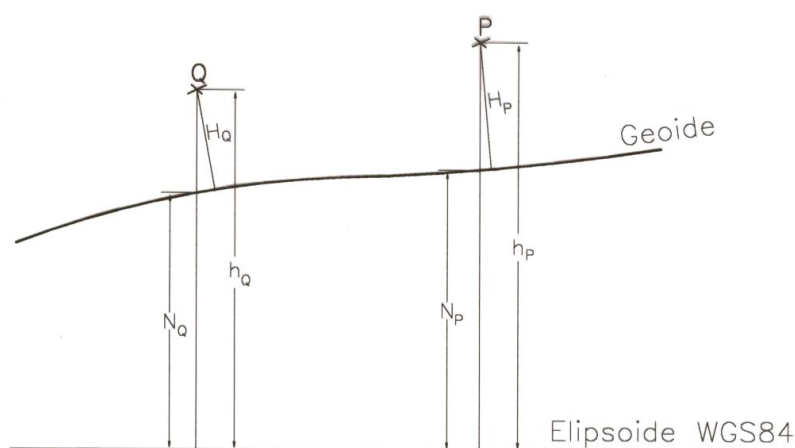


Fig. 9

9.6. - Con respecto a los valores de los residuos obtenidos en los puntos Este y Pilar (como se comentó en el punto 9.4.), éstos se apartan aprox. + 0.30 m de los calculados para los demás puntos. De acuerdo a la teoría expuesta en el punto 7 (Ondulación del Geoide), se expresa que cuando los valores de los residuos ($N-N_{glob}$) no son parejos se debe normalmente a la atracción de las masas topográficas, en nuestro caso como la zona de trabajo es típicamente de llanura, no existirían masas externas que puedan ejercer alguna influencia en la variación del modelo geoidal. Esto nos llevó a plantearnos una pregunta ¿Existirá algún factor interno que influya en la diferencia de los valores de los residuos?.

En base a lo expresado, el grupo de investigación de la facultad, compuesto por profesores (con la colaboración de alumnos de la carrera), decidió efectuar un control en el tramo Este-Centro para analizar si la diferencia calculada de + 0.30 m se debía a algún error en la medición o realmente existía algún factor influyente. Este control consistió en una nivelación geométrica de precisión y medición con GPS.

Como esta campaña fue realizada posterior a la exposición del trabajo por parte de algunos integrantes, se realizó un anexo al mismo con los cambios producidos.

El nuevo valor de desnivel del tramo Este-Centro corrige al anterior en - 0.298 m, lo cual nos lleva a la conclusión que existió un error de lectura o de transcripción de números en el método de nivelación efectuado; y que los valores de los residuos de los puntos Este y Pilar se encuentran en el entorno de los valores que se obtuvieron en los puntos restantes.

CAPITULO II

**SISTEMAS DE REFERENCIA. MARCOS DE REFERENCIAS.
METODOS ACTUALES.**

1 - SISTEMAS Y MARCOS DE REFERENCIA.

1.1.- Introducción.

A continuación explicaremos en breves palabras los significados de Sistema de Referencia, Sistema de Coordenadas y Marco de Referencia para luego exponer una síntesis de los Sistemas y Marcos de Referencia utilizados en la actualidad en los distintos niveles.

Un **sistema de referencia** se define a partir de consideraciones matemáticas y físicas e involucran la especificación de parámetros y sistemas de coordenadas.

Un **sistema de coordenadas** permite describir en forma unívoca la posición y el movimiento de puntos pertenecientes a un conjunto físico como lo es la superficie terrestre. Existen variados sistemas, entre ellos los citados en el punto 2.c. del Capítulo I.

Un sistema de referencia es una noción abstracta que sólo es accesible como tal; en consecuencia se hace necesario materializar al sistema por medio de un conjunto de puntos de referencia para los cuales se han determinado las coordenadas y, si correspondiera, los movimientos. El resultado de esta materialización se denomina **marco de referencia**.

1.2.- Sistemas de Nivel Mundial

Sistema ITRS

Introducción:

Desde principios del siglo veinte han existido organismos internacionales cuya misión estaba íntimamente relacionada con la rotación de la Tierra, y como consecuencia inevitable, con la definición y materialización de un sistema de referencia terrestre respecto del cual se determina la posición variable del eje de rotación.

Así, el International Latitude Service, constituido por cinco estaciones astronómicas ubicadas sobre el paralelo de 39 grados de latitud norte, tenía la responsabilidad de determinar el movimiento del polo de rotación con respecto a la superficie terrestre. Para ello, se definió un polo medio "fijo" a la superficie materializado por las latitudes medias de estas estaciones fundamentales (Origen Convencional Internacional OCI). El advenimiento de nuevos

instrumentos astronómicos y el interés de más países en contribuir con sus observaciones dio lugar al nacimiento del International Polar Motion Service que llegó a contar con casi un centenar de estaciones participantes.

El Bureau Internationale de l'Heure, agrupaba también a un importante número de estaciones cuya misión principal era determinar una escala de tiempo uniforme, para lo cual era indispensable definir un origen de las longitudes de las estaciones participantes.

El sistema de ejes materializado por las coordenadas astronómicas medias del conjunto de las estaciones participantes de estos servicios internacionales constituía una referencia adecuada para la medición de la rotación de la Tierra, pero de escasa aplicación práctica para satisfacer otras necesidades.

Estos organismos internacionales a menudo superponían sus responsabilidades. Además, la irrupción de nuevas técnicas para la determinación de la rotación de la Tierra en la década del setenta, consolidadas definitivamente en los ochenta, obligó a una redefinición de responsabilidades.

En este marco se establece el Internacional Earth Rotation Service (IERS) con una estructura compleja que comienza a funcionar a partir de 1988. Las técnicas observacionales que contribuyen a la materialización de sus productos son las siguientes:

- VLBI: medición de radiofuentes extragalácticas por medio de radiotelescopios.
- SLR: medición de distancias láser a satélites específicos desde telescopios especiales.
- LLR: medición de distancias láser a la Luna desde telescopios especiales.
- GPS: medición de distancias a satélites GPS con receptores específicos.
- DORIS: medición de variación de distancias desde satélites específicos a balizas orbitográficas.

Todas ellas aportan diferentes elementos para la solución de distintos problemas, que son combinados por el IERS para la producción de resultados aplicables a distintas disciplinas.

Definición:

La definición actual del sistema de referencia terrestre internacional (ITRS) es consistente con la anterior en cuanto procura que el eje polar medio de la Tierra este orientado en la misma dirección que el OCI y el origen de las longitudes sea común con el usado tradicionalmente (próximo al meridiano de Greenwich). Con esta definición, los parámetros de la rotación terrestre que se determinan actualmente están referidos al mismo sistema que los que se observaban desde hace un siglo aproximadamente.

Esta definición permite establecer una terna de ejes tales que el eje Z está dirigido al polo medio, el eje X, sobre el plano ecuatorial (perpendicular a Z) y dirigido al punto origen de las longitudes, y el eje Y sobre el mismo plano y perpendicular a los anteriores de forma tal que formen una terna derecha. El origen de este sistema es el baricentro de la Tierra y la unidad de longitud es el metro.

Existen distintas materializaciones de este sistema de referencia, las mas empleadas, son los marcos de referencias denominados ITRF y WGS 84. (textos reproducidos de “El Sistema Terrestre Internacional”

Raúl Perdomo y Fernando Galván – Sistema Geodésico)

ITRF

La precisión alcanzada en la determinación de coordenadas terrestres obliga a un cambio conceptual: no es posible materializar un sistema terrestre en base a coordenadas fijas, porque a nivel de la precisión centimétrica, ninguna estación ubicada sobre la superficie terrestre puede considerarse fija, todas están animadas de movimientos principalmente debidos a movimientos de las placas tectónicas en las que están asentadas.

En consecuencia, el ITRF está constituido por un conjunto de coordenadas y velocidades de las estaciones que lo materializan. Su continua evolución permite agregar nuevas estaciones cada año y mejorar la precisión general del conjunto. Por esa razón, cada nueva realización lleva indicado el año de su determinación, como también, la época fundamental a la cual se refieren las coordenadas listadas por ejm: ITRF 93, ó ITRF 94, época 1993.0. Esto quiere decir que ITRF 93 difiere de ITRF 94 porque se ha agregado más información para calcular este último, lo que se traduce en pequeñas variaciones de posiciones y velocidades.

En su conjunto, estas diferencias permiten encontrar parámetros de transformación entre las distintas materializaciones del sistema terrestre internacional.

Cabe mencionar que en la actualidad, estas transformaciones están en niveles milimétricos y por el momento no tienen importancia práctica para aplicaciones geodésicas convencionales.

Mucho más importante puede ser el efecto de las velocidades, no obstante, es importante no perder la dimensión del problema: este efecto debe ser considerado cuando se trabaja en redes regionales que involucran distintas placas tectónicas y, de manera especial, cuando se utilizan

distintas estaciones con coordenadas ITRF definidas en una época original. (textos reproducidos de “El Sistema Terrestre Internacional” Raúl Perdomo y Fernando Galván – Sistema Geodésico)

WGS 84

Introducción:

La sigla WGS 84 deviene de World Geodetic System 1984 (Sistema geodésico mundial 1984). Se trata de un marco de referencia creado por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (DMA) para sustentar la cartografía producida en dicha institución y las operaciones del Departamento de Defensa

Este sistema geodésico estuvo estrechamente ligado al desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) sirviendo durante mucho tiempo para expresar las posiciones tanto de los puntos terrestres como de los satélites integrantes del segmento espacial.

El WGS 84 no es sólo un sistema geocéntrico fijado a la tierra de ejes X, Y, Z sino, además, un sistema de referencia para la forma de la tierra (elipsoide) y un modelo gravitacional.

El WGS 84 se ha popularizado por el uso intensivo de GPS y se han determinado parámetros de transformación para convertir coordenadas a todos los marcos de referencias locales y otros marcos geocéntricos.

La DMA llegó a la definición de este sistema después de haber ensayado otros tres anteriores: WGS 60, WGS 66 y WGS 72, este último a partir del sistema satelitario Transit (Transit Doppler Reference Frame - NSWC 9Z - 2) y muy parecido al actual WGS 84, al punto que para pasar de uno al otro sólo es necesario un corrimiento del origen de coordenadas de 4.5 metros, una rotación alrededor del eje Z de 0.814 segundos de arco y una diferencia de factor de escala de 0.6 ppm.

Definición

El WGS 84 es un Sistema Convencional Terrestre (CTS) tal que:

- el origen de coordenadas X Y Z es el centro de masas de la Tierra,
- el eje Z pasa por el polo convencional terrestre (CTP) definido por el Bureau Internacional de la Hora (BIH) para la época 1984.0,

- el eje X es la intersección entre el meridiano origen de longitudes definido por el BIH para la época 1984.0 y el plano del ecuador CTP,
- el eje Y completa con los ejes anteriores una terna derecha de ejes fijos a la Tierra, está en el Ecuador, a 90° al este del eje X,
- el origen de la terna así definida sirve además de centro geométrico del elipsoide WGS 84, y el eje Z es su eje de revolución,
- el semieje mayor (a) del elipsoide 1984 mide 6378137 metros,
- el achatamiento (a-b)/a siendo b el semieje menor, es 1/298.257223563
- otros parámetros, además de los anteriores, son:

constante de gravitación terrestre $GM = 3986005 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{seg}^2$

velocidad angular de la tierra $w = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/seg}$

coeficiente gravitacional de segundo grado normalizado $C20 = - 484.16685 \times 10^{-6}$

velocidad de la luz en el vacío $c = 299792458 \text{ m/seg}$

(textos reproducidos de “El Sistema WGS 84” Ezequiel Pallejá - Sistemas Geodésicos)

1.3.- Marco de Referencia en América del Sur.

SIRGAS

Es el acrónimo que identifica al Sistema de Referencia Geocéntrico para la América del Sur que estableció un marco de referencia único para el continente sudamericano, en conexión con el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). El proyecto fue generado en Asunción, en 1993, bajo los auspicios de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la Agencia Nacional de Mapas e Imágenes de los Estados Unidos de América (NIMA).

La primer campaña de medición de estaciones GPS se llevó a cabo en Mayo / Junio de 1995, durante 23 hs diarias en 58 estaciones distribuidas en 11 países de América de Sur. Las estaciones argentinas que participaron fueron 10, todas coinciden o fueron vinculadas con la red nacional POSGAR.

El procesamiento de los datos se llevó a cabo, en forma independiente, en el Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas (DGFI) con el software Bernese y en la NIMA con el software

Gipsy. La solución final fue presentada en Septiembre de 1997, y consistió en una combinación de las soluciones de los dos centros de procesamiento.

Las precisiones en las coordenadas geocéntricas de los puntos SIRGAS son del orden de 1 centímetro. El marco de referencia elegido para la solución definitiva fue el ITRF 94 y la época de las coordenadas, se hizo coincidir con la época media de observación, es decir 1995.4.

La segunda campaña, de características similares a la anterior, se cumplió en Mayo de 2000 con 24 hs. de observación, salvo (en algunos casos) el intervalo necesario para la descarga de los datos. El número total de estaciones en el continente se incrementó, alcanzando más de 100. Nuestro país no estuvo ausente de la situación y llevó a 21 la cantidad de estaciones, algunas de las cuales tienen el carácter de permanente. De estas estaciones permanentes hay un grupo vinculada al IGM, a través del proyecto RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo) y otras relacionadas con la Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas (UNLP). Las operaciones de campaña y gabinete estuvieron a cargo de personas correspondientes a diversas entidades de nuestro país, con la colaboración del Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas de Munich (DGFI).

Los principales objetivos de esta remediación fueron:

- Determinar los cambios sufridos por las coordenadas como consecuencia de los movimientos corticales acumulados en el transcurso de los cinco años que median entre las dos campañas.
- Vincular los marcos de referencia verticales (redes de nivelación) de los distintos países sudamericanos al marco de referencia geocéntrico.

El conocimiento preciso de las velocidades tectónicas de los puntos que materializan el marco de referencia es imprescindible para mantener inalterable su calidad a lo largo del tiempo. Las velocidades determinadas en los puntos SIRGAS contribuirán, junto con la información geodésica aportada por diversos proyectos geodinámicos del continente, a desarrollar un modelo continuo con el cual interpolar las velocidades para cualquier otro punto, por ejemplo aquellos que conforman el marco argentino POSGAR 94.

Con el fin de unificar los datums verticales de los distintos países del continente la campaña 2000 incluyó los mareógrafos que materializan el cero de los distintos sistemas de alturas, en nuestro país fue medido también el Punto Altimétrico de Referencia Normal (PARN).

Al igual que en 1995, la Universidad Nacional de La Plata colaborará con el DGFI para realizar el cálculo de las mediciones donde se utilizará el mismo software (Bernese) con la misma estrategia de cálculo. Las principales diferencias serán:

- Se dispondrá de una mejor materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRF2000) con más estaciones localizadas en Sudamérica.
- La existencia de alrededor de cuarenta estaciones GPS permanentes localizadas en Sudamérica, cuyas observaciones son procesadas semanalmente en el DGFI por el Centro de Análisis Regional para Sudamérica, permitirá contar con un número mayor de puntos de control con coordenadas y velocidades precisas muy bien distribuidos en la región.
- Se pondrá mayor énfasis en modelar diversos efectos que inciden principalmente sobre la exactitud de la coordenada vertical, tales como la deformación vertical de la corteza terrestre debida a la carga de la marea oceánica, el retardo troposférico y las variaciones del centro de fase de las antenas. (textos reproducidos de “Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur” Rubén C. Rodríguez - Claudio A. Brunini - Colección Temas de Geociencia)

1.4.- Sistema y Marcos de Referencia en Argentina.

SISTEMA CAMPO INCHAUSPE

El sistema Campo Inchauspe tiene su origen en el punto astronómico fundamental del mismo nombre ubicado en las proximidades de la intersección del meridiano -62 con el paralelo -36 cerca de la ciudad de Pehuajó, en la provincia de Buenos Aires.

El sitio fue elegido en base a los análisis de la desviación posible de la vertical estudiada por el doctor Guillermo Schulz y el ing. Guillermo Riggi O'Dwyer y se le asignó la característica dominante en la época para un punto datum: coordenadas elipsóidicas, latitud, longitud, iguales a las astronómicas y tangencia entre el elipsoide y el geoides, es decir, la altura elipsoidal igual a la altura ortométrica, en otras palabras ondulación igual a cero. La decisión oficial se materializó mediante la Disposición Permanente Nro. 440 (30 de noviembre de 1946) del Instituto Geográfico Militar.

El elipsoide asociado fue el Internacional de 1924 ($a = 6378388$ $1/f = 297$) que ya había sido adoptado por la Argentina junto con la proyección Gauss-Krüger mediante la Disposición Permanente Nro. 197 (24 de abril de 1925) del Instituto Geográfico Militar.

Alrededor de dicho punto se iniciaron los trabajos de la triangulación fundamental que en 1954 alcanzó a cubrir un área de 10 polígonos los que fueron compensados por métodos manuales en el mismo año y que constituyó la primera red de envergadura ejecutada en el país. Las coordenadas resultantes se conocieron como Campo Inchauspe 1954.

Compensación y precisiones

Quince años después, los polígonos cerrados eran 19 y se realizó entonces un recálculo de la estación astronómica Campo Inchauspe para reducirla al Origen Convencional Internacional (O.C.I.) recomendado por la U.G.G.I. en 1967 y el ajuste de la red (1000 puntos con 5000 observaciones: ángulos, distancias y acimuts) mediante el método de variación de coordenadas geográficas. La obra constituyó una etapa trascendente para la geodesia argentina y es necesario significar el aporte de Esteban Horvat, Alfredo Elías y Alberto Christensen con el apoyo de Luis María Martínez Vivot y David Byars.

El error medio de la unidad de peso del ajuste fue $0.42''$ y a la compensación de la red fundamental siguieron las compensaciones de las redes de densificación de primer y segundo orden medidas para la época. Esta red y sus coordenadas recibieron el nombre de Campo Inchauspe 1969.

A continuación, y a medida que se cerraban polígonos o se completaban las redes de densificación se realizaba su compensación. Dentro del marco rígido de cada orden superior se calcularon y ajustaron las redes de tercer y cuarto orden y también se redujeron al mismo sistema los trabajos previos existentes en el país.

La finalización de los trabajos de triangulación, trilateración y poligonación fue marcada por la aparición de la geodesia satelitaria. Los puntos con coordenadas Campo Inchauspe 1969 sumaban 18000 y la cantidad de anillos de primer orden cerrados 44.

La precisión de la red puede considerarse comprendida entre 3 y 10 ppm en base a los resultados estadísticos de las compensaciones parciales. También puede analizarse a partir de su comparación con patrones externos. Al respecto existen dos principales: la red Doppler 1978 y la red POSGAR 94. (textos reproducidos de “El Sistema Campo Inchauspe” Rubén Rodríguez – Sistemas Geodésicos)

POSGAR 94

La modernización tecnológica unida a las transformaciones económicas y políticas producidas en la década del 90 en nuestro país y en el mundo, fueron agudizando paulatinamente la necesidad de materializar en el territorio argentino un sistema de referencia compatible con las nuevas condiciones.

A comienzos de la década del 90, especialistas de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y del Instituto Geográfico Militar (IGM) analizaban las posibilidades de materializar un nuevo marco de referencia utilizando observaciones GPS. Diversos trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales fueron producto de esas investigaciones y dieron lugar a recomendaciones de avanzar en la dirección de materializar un marco de referencia suficientemente preciso para las aplicaciones que se estaban desarrollando en el país y tan cercano como fuera posible al sistema global WGS84, utilizado por el GPS. En ese contexto nace el proyecto POSGAR (POSiciones Geodésicas ARGentinas), cuyo principal objetivo fue materializar dicho marco de referencia.

La red POSGAR 94 materializa el Sistema Geodésico Mundial de 1984, WGS 84 (World Geodetic System of 1984) en el país. Esta obra pudo concretarse gracias a la cooperación de varias instituciones: el Instituto Geográfico Militar realizó la mayor parte de las tareas de campo; el Servicio de Hidrografía Naval colaboró con parte de ellas; un consorcio de universidades que por la época realizaba la medición de la red geodinámica CAP (Proyecto Andes Centrales) facilitó varios receptores GPS, proveyó las coordenadas de 19 puntos que sirvieron como control en la compensación final de POSGAR 94 y cedió las observaciones realizadas en todos los puntos argentinos de la red; la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata realizó el cálculo de las observaciones y el Programa Provincias I apoyó económicamente parte de las tareas de cálculo.

La red está compuesta de 127 puntos, separados en promedio por una distancia de 200 km, lo que asegura la posibilidad de que todas las redes geodésicas provinciales puedan vincularse a ella mediante por lo menos cuatro puntos ubicados dentro del territorio provincial o en sus cercanías.

El marco de referencia fue materializado mediante las coordenadas de 19 puntos pertenecientes a la red CAP y un punto Doris del Instituto Geográfico Nacional de Francia

Las coordenadas geocéntricas de estos puntos fueron transformadas del sistema ITRF 92 al WGS 84 y utilizadas como control en la compensación final de POSGAR 94. Los valores usados

fueron obtenidos mediante comunicaciones personales, pues no hay valores publicados oficialmente.

Los cálculos se realizaron con programas y procedimientos estándares. La estimación de errores resultante de la compensación final de POSGAR 94 es aproximadamente, el 80 % de los puntos tienen un entorno de error típico en sus coordenadas geocéntricas que no supera los 30 cm, mientras que aproximadamente el 80 % de los vectores compensados tienen un entorno de error relativo inferior a 1 parte por millón de su longitud. (textos reproducidos de “El Sistema Posgar” Claudio Brunini – Sistemas Geodésicos)

De los 127 puntos medidos aproximadamente el 50 % coinciden con los del Sistema Geodésico Campo Inchauspe 69. Esta dualidad de valores para los puntos comunes a los dos sistemas es la que permitió determinar los parámetros de transformación entre ambos.

El marco de referencia POSGAR 94 fue adoptado, mediante resolución (Mayo de 1997), por el IGM como Marco Oficial de la República Argentina en reemplazo del antiguo sistema local Campo Inchauspe 69.

POSGAR 98

En el año 1995 se llevó cabo en América del Sur la campaña de medición de 50 puntos GPS (SIRGAS). En esa ocasión, como se comentó, las estaciones argentinas de esa red coincidieron o fueron directamente vinculadas con las de la red POSGAR 94. Este nuevo cálculo de las coordenadas, vinculado a la red SIRGAS 1995.4 dio lugar a otro conjunto de coordenadas que, fueron identificadas como POSGAR 98. Esta situación define un marco más preciso al que pueden relacionarse las nuevas redes que se establezcan.

Los resultados de la campaña SIRGAS 2000 se encuentran en proceso, pero se estima que no modificarán sensiblemente las coordenadas anteriores.

De todos modos es necesario considerar la necesidad de actualizar constantemente el marco de referencia geodésico nacional a fin de satisfacer las más altas exigencias de las técnicas geodésicas espaciales y acompañar los avances internacionales.

1.5.- Marcos de Referencia en la Provincia de Santa Fe

En la Provincia de Santa Fe existe la Red Geodésica Básica compuesta por 116 puntos vinculados a la Red POSGAR 94. La medición de esta red fue parte de la obra de actualización catastral realizada a partir del año 1994.

Como consecuencia de la actualización catastral, además de la Red geodésica Básica, se obtuvieron otras redes:

- Red Geodésica del Gran Santa Fe: se implantaron 26 puntos en el Gran Santa Fe para vincular los Puntos de Apoyo Fotogramétricos (PAF). Las coordenadas de estos puntos están dadas en el sistema WGS 84.
- Red Geodésica del Gran Rosario: se implantaron 17 puntos con el mismo propósito que la red anterior. Las coordenadas también están dadas en el sistema WGS 84 pero, a través de un convenio con esta Facultad, se calcularon los parámetros de transformación para obtener las coordenadas en el marco de referencia POSGAR 94.
- Puntos de Densificación: no es una red, sino que son 60 puntos independientes con la finalidad de brindar Cota Ortométrica a los PAF. Son puntos pertenecientes a la Red de Nivelación del IGM. Sus coordenadas están dadas en el sistema WGS 84, pero se han calculado varios puntos en el marco de referencia POSGAR 94.
- Red Geodésica de la Municipalidad de Rosario: son 10 puntos que implantó la Municipalidad a través de un convenio con esta Facultad. Estos puntos cuentan con referencia azimutal, es decir que son puntos dobles y en algunos casos triples. Las coordenadas están dadas en el marco de referencia POSGAR 94.

Además de contar con los puntos citados existen en el territorio provincial 35 puntos, con coordenadas POSGAR 94, pertenecientes al Proyecto de Asistencia al Sector Minero Argentino (PASMA). Este fue un Proyecto que abarcó todas las provincias argentinas con fondos provenientes de la Nación.

Los puntos antiguos WGS 84, los cuales hice referencia en el párrafo anterior, no han sido vinculados al marco de referencia POSGAR 94 pero sus coordenadas fueron vinculadas al punto IGM0 que en su momento era el único punto en el país en el sistema WGS 84. Las diferencias de coordenadas entre ambos, para un mismo punto, pueden ser del orden de 1.50 a 2.00 mts.

Si bien está disponible POSGAR 98, la política geodésica adoptada por la Provincia fue la de acompañar al IGM con relación a lo que establezca al respecto, es decir utilizar las coordenadas del marco de referencia POSGAR 94.

Es necesario tener en cuenta que con el paso del tiempo van a continuar apareciendo nuevos valores de coordenadas para los mismos puntos, resultando de la evolución de los métodos de medición y de cálculo, pero estos nuevos valores pueden no tener significación para el catastro y las mensuras, como sí para ciertos trabajos de investigación, debido a que la variación de coordenadas es muy pequeña.

2 - SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

2.1.- Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC).

Antecedentes.

La red POSGAR 94, debido a las grandes ventajas de la tecnología GPS, empezó a extender su uso a distintos ámbitos entre ellos la **Agrimensura**, de esta manera las coordenadas de los puntos de la red se hicieron cada vez más imprescindibles para las distintas aplicaciones de precisión.

En ese marco, el punto IGMO, integrante de la red POSGAR 94 toma trascendencia para la comunidad geodésica al constituir el único punto de la red ubicado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. La necesidad de contar con datos provenientes del mismo, ya sea con carácter comercial, científico o educativo, transforma en frecuentes las consultas de los usuarios y las solicitudes de autorización para su ocupación temporal.

En el año 1998, se decide emplazar un nuevo punto en las instalaciones del Servicio Internacional de la Hora (dependiente de IGM), predio ubicado cercano a la estación Migueletes del FFCC. Gral Bartolomé Mitre, Partido de San Martín en la Provincia de Buenos Aires con el fin de facilitar a los usuarios su utilización para las actividades propias de cada uno. Dicho punto es vinculado a la red en forma precisa, e incorporado al cálculo de POSGAR 98, constituyendo así un punto de la misma calidad que el IGMO.

A la vez, en el punto IGMO se instala un receptor GPS Geodésico con capacidad de recoger datos en forma permanente y un sistema informático que posibilite el almacenamiento, en una

base de datos, de los registros recogidos por el receptor para colocarlos a disposición del público usuario brindando un servicio de gran importancia, permitiendo georreferenciar los trabajos de levantamientos realizados al Marco de Referencia Oficial, además de contar con la ventaja de necesitar solamente de un receptor (móvil), ya que el instalado en el punto es utilizado como receptor “Base”. De esta manera se crea en Agosto del año 1998, la primer Estación Permanente de la red POSGAR 94 operada en su totalidad por profesionales y técnicos de IGM.

En base a esta experiencia, surge la propuesta de plasmar una red de Estaciones Permanentes, en condiciones de brindar este servicio en todo el territorio nacional. En Octubre de 1998, el proyecto es presentado ante el Gabinete de Ciencia y Técnica de la Nación (GATEC), para su inclusión en el Plan Plurianual de Ciencia, Tecnología e Innovación 1999/2001. Durante el mes de Enero de 1999, a través del Instituto de Investigaciones Geodésicas y Geofísicas de Alemania (DFGZ), la estación IGMO comienza a remitir diariamente los datos de su medición al International Geodetic Service (IGS), pasando así a conformar el conjunto de estaciones que determinan el Marco de Referencia Terrestre Internacional (International Terrestrial Reference Frame – ITRF).

Alcances.

Concretada la idea de llevar adelante el proyecto, se llevaron a cabo estudios de viabilidad en lo concerniente a la ubicación geográfica de las estaciones, mecanismos de transferencia de datos a implementar, disponibilidad de medios y un estudio particular referido a los posibles radios de cobertura de cada estación de acuerdo a las distintas precisiones exigibles. Referido a este último punto, fue necesario fijar ciertas condiciones iniciales para la resolución del problema.

El punto de partida, lo constituyó entonces determinar hacia que público estarían dirigidos los esfuerzos. Se partió del usuario más frecuente de equipos de GPS, desde el punto de vista económico, los mismos tienen acceso a equipos receptores de tipo geodésico que operan en una frecuencia, con un programa comercial para el procesamiento de los datos. Este usuario está limitado en cuanto a la distancia entre los puntos para obtener un resultado preciso, debido que para distancias mayores a 25 km., la precisión de las mediciones comienza a decaer. En cambio, para los usuarios de receptores que operan con doble frecuencia el problema está minimizado.

Luego de un exhaustivo estudio acerca de los radios de cobertura que podrían abarcar las estaciones, se llegó a la conclusión que para una distancia de 300 Km., procesando en una sola

frecuencia se puede trasladar una coordenada con un error menor al metro en las tres componentes (Latitud, Longitud y Altura Elipsoidal), este estudio se realizó sobre observaciones de la Red Posgar de 6 horas de duración. Posteriormente se realizaron nuevos estudios, luego de la desactivación del S/A (Disponibilidad Selectiva), en este caso se utilizaron observaciones de 3 horas de duración, es decir la mitad del tiempo del primer estudio y los resultados se mantuvieron en el orden de los 0.50 mts. para las diferencias de procesamiento entre L1 y L1c (observación corregida del efecto ionosférica) en vectores de 300 km. aproximadamente.

Las coordenadas de las estaciones están expresadas en el marco de referencia POSGAR 94, por ser el Sistema Oficial.

Para estudios científicos se pueden utilizar coordenadas definidas en otro Sistema de Referencia más preciso, de necesitar los usuarios referirse al mismo, deberán solicitar las coordenadas vía mail al IGM, en la solicitud deberán explicar el uso de las mismas y no podrán ser utilizadas para otro fin que no sea el establecido. (Información consultada de la página web: www.igm.gov.ar/institucional/ramsac_estaciones.htm)

Cambio de la Estación Permanente IGM0 por IGM1.

A partir de Enero de 2004, la estación permanente IGM0, dejó de funcionar de la forma que lo estaba haciendo desde el año 1998.

De manera de continuar ininterrumpidamente con el servicio brindado hasta el momento, se ha previsto la instalación de otra estación permanente, la cual incluye un receptor con algunos cambios, como los citados en el Capítulo I (punto 4.3.), respecto de los receptores más antiguos. Esta nueva estación se denomina IGM1 y está funcionando paralelamente con IGM0 desde julio del año 2003. Esta superposición de tiempo fue útil para poder obtener las coordenadas del punto en el Sistema POSGAR 94, con suficiente precisión.

Como este servicio es de gran importancia en la actividad geodésica y para los usuarios de GPS en general, se logró mejorar la calidad del nuevo receptor como así también la monumentación del mismo, cumpliendo con las exigencias establecidas para las estaciones permanentes mundiales.

La ubicación del nuevo punto (IGM1), se encuentra muy próximo al anterior IGM0; es decir que sigue estando en la terraza del edificio técnico del IGM (Av. Cabildo 381 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

Los datos de la estación permanente IGM1, se los puede bajar del servidor del IGM, de la misma forma que se bajaban los datos de la estación IGM0 (en la misma página de RAMSAC), pero en la carpeta IGM1.

Lo único que cambió para el usuario, son las coordenadas del punto y la altura de antena, que ya están actualizadas en la página RAMSAC como punto IGM1.

2.1.1.- ESTACION PERMANENTE GPS – ROSARIO.

Proyecto e Integrantes.

El Grupo de Geodesia Satelital Rosario (GGSR), está conformado por los siguientes profesores: Eduardo Huerta, Beatriz Jiménez, Aldo Mangiaterra y Gustavo Noguera, pertenecientes a esta Facultad.

La vinculación directa del Grupo con el tema de EPGPS surge a partir del Proyecto de Investigación PID N° 19/1077, vigente del año 1997 y acreditado por la UNR.

Como parte de este Proyecto, en Noviembre de 1998 se realizó una experiencia piloto, en conjunto con el Grupo GeoPosicionamiento Satelital Geo2000, de la UNLP, a través del cual se implementó la puesta en operación por un período de 3 semanas de una EPGPS en esta Facultad.

En esta experiencia participaron activamente: la Dirección General de Topografía y Catastro de la Municipalidad de Rosario, el Servicio de Catastro e Información Territorial de la Provincia de Santa Fe, el Grupo Aerofotográfico de la II Brigada de la Fuerza Aérea Argentina (Paraná), Federación Agraria Argentina (a través de Fortalecer Compañía de Seguros), la Empresa Ing. Tosticarelli y Asoc. y la Empresa Puentes del Litoral S.A. (a cargo de la conexión física Rosario-Victoria), como potenciales usuarios, siendo los resultados de la prueba altamente satisfactorios. La dirección de la misma estuvo a cargo del GGSR.

En este caso las modalidades de funcionamiento fueron Post-Proceso y Tiempo Real. El primero es el caso en que los usuarios acceden a los archivos de la EPGPS para efectuar el cálculo de post-procesamiento en su PC particular, y en el segundo reciben los datos de la corrección vía transmisión inalámbrica, para lo cual se requiere equipamiento específico.

Sobre fines del año 2001, el Instituto Geográfico Militar (IGM) provee un receptor GPS geodésico Ashtech Z-XII-3 y antena Marine III, para la instalación en el edificio de esta Facultad,

de una EPGPS que integrará la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC). Este equipo fue donado oportunamente al IGM por Ashtech Inc., a través de Geosistemas SRL.

En la actualidad, con la instalación física concluida y el sistema informático implementado en su mayor parte, la EPGPS está en funcionamiento “semiautomático”, bajando y almacenando archivos diarios y transmitiéndolos al servidor del IGM. También, como parte de este proyecto que incluye la implementación de un servicio de acceso local, estos datos están disponibles a través de la página web de la Facultad: www.fceia.unr.edu.ar/gps.

Si bien se ha logrado automatizar la mayor parte del proceso de administración de los datos, aún resta una última fase; por lo tanto en la página se anuncia que el funcionamiento se encuentra en una etapa “experimental”, debido a que si bien la Estación Permanente funciona normalmente, no se encuentra en condiciones de garantizar la disponibilidad total de los datos ya que, ante cualquier eventualidad en el receptor de la Estación significará una interrupción momentánea del servicio por falta de un segundo receptor de respaldo. Se prevé completar totalmente la automatización del proceso y pasar a modo operativo definitivo en un corto lapso de tiempo, de manera de permitir la disponibilidad continua de los archivos por parte de los usuarios. Así mismo se planteó como meta futura, la implementación de una normativa de control de calidad de la totalidad del proceso, como forma de asegurar la condición de funcionamiento y contribuir en este sentido en el marco de la red RAMSAC.

Con la instalación de la EPGPS se intenta generar un centro de consulta sobre el tema específico, inexistente en la región, de asistencia a los usuarios GPS (p.ej. accediendo vía página de la Facultad o e-mail).

La EPGPS está instalada en el edificio de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR, en la ciudad de Rosario Provincia de Santa Fe.

Sus coordenadas son: Latitud: 32°57'33.69159" S
Longitud: 60°37'42.33328" W
Altura Elipsoidal (h): 66.483 m.

El espectro de usuarios es muy amplio: navegación, levantamientos topográficos, geodésicos, GIS... Además, el almacenamiento de datos históricos tiene utilidad para fines científicos, por ejemplo, estudios de la ionósfera. (Información consultada de la página web: www.fceia.unr.edu.ar/gps)

3 - GEORREFERENCIACION.

La Georreferenciación es la asignación de algún tipo de coordenadas, ligadas a la Tierra, a los objetos de nuestro interés naturales o artificiales, como ríos, montañas, bosques, rutas, edificios, parcelas, etc.

Para georreferenciar es necesario contar con un marco, que está constituido por las redes geodésicas. En Argentina, como se comentó en el punto 1 de éste capítulo, ese marco de referencia ha sido establecido a través de POSGAR 94; de este modo todos los objetos están relacionados a un marco único, una de las premisas básicas de la georreferenciación para lograr la compatibilidad de los sistemas de información geográfica y territorial.

Las redes geodésicas expresan sus coordenadas como latitud, longitud y altura sobre el elipsoide. Sin embargo la cartografía emplea las coordenadas planas, en la proyección Gauss Krüger en forma predominante en nuestro país, y las alturas referidas al nivel medio del mar lo que implica la conversión de las coordenadas originales mediante algún algoritmo y el empleo de un modelo de geoides.

La situación geodésica del país presenta dos grandes redes, Campo Inchauspe 1969 que cuenta con unos 18000 puntos y POSGAR 94 que se inició con 127 puntos, cifra que se incrementó con la incorporación de las redes provinciales y la densificación proveniente del Programa de Asistencia al Sector Minero Argentino (PASMA) elevando el número de puntos para todo el país a una suma estimada en 2000. Este número tiene como significado que, en promedio, nos encontraríamos con un punto POSGAR en el entorno de 20 km., pero debido a que la distribución de puntos no es uniforme, existen zonas desprovistas siendo la realidad muy distinta.

Por entorno debe entenderse un círculo cuyo centro es el punto donde se encuentra el objeto a vincular y el radio (20 km. en la situación general) la distancia máxima a la que se encontraría, en promedio, un punto de referencia. En el caso particular de la Provincia de Santa Fe el valor del radio varía entre 24 kms en el Norte de la provincia y 14 kms en el Sur, dado que la densidad de la red no es uniforme.

Sin embargo la disponibilidad de los puntos en el sistema Campo Inchauspe no es despreciable. Para muchas aplicaciones, particularmente para la georreferenciación de parcelas rurales, son aplicables después de su transformación a POSGAR 94 mediante recursos que brindan los distintos algoritmos y programas existentes. Otra alternativa es, para el caso de las mediciones con GPS como vimos en el punto anterior, las estaciones permanentes.

Para llevar a cabo la georreferenciación es necesario establecer el vínculo entre un punto de las redes precitadas con dos vértices como mínimo, en el caso de una parcela. Conceptualmente la operación es sencilla y las facilidades disponibles actualmente pueden resolver la situación sin mayores inconvenientes.

En el terreno se dispone de una herramienta tan poderosa como la tecnología GPS, que en función de las distancias a que se encuentran los puntos de las redes geodésicas se resuelve con receptores de una sola frecuencia y en algunos casos, de acuerdo con las tolerancias que se impongan, con los identificados como submétricos. En otros casos la presencia de las estaciones permanentes permitiría llevar a cabo la operación con un solo receptor.

La circunstancia de no contar con receptores GPS no limita la ejecución de la vinculación puesto que puede realizarse mediante estaciones totales (o teodolito y distanciómetro) en cuyo caso es imprescindible vincularse a dos puntos de orden superior, no necesariamente intervisibles.

Deben considerarse los siguientes criterios básicos para llevar a cabo una georreferenciación:

- fijar la precisión que se necesita en las coordenadas.
- elegir el instrumental y método de medición, considerando el punto anterior de manera que el trabajo se reduzca solo a lo necesario.
- partir de un punto que:
 - sus coordenadas sean confiables.
 - la precisión sea la adecuada.
 - se ubique a una distancia compatible con el instrumental y método de medición a utilizar.
- si el punto de partida no corresponde a la red geodésica POSGAR 94 tener en cuenta el margen de error, al efectuar el pasaje de coordenadas, recordar que cualquier error en el punto de partida se traslada a todo el levantamiento.
- debe existir algún método de control (como: vincular el levantamiento a dos puntos de coordenadas conocidas, realizar un itinerario cerrando en el punto de partida, medir vectores cuyo único fin sea el control, etc.).
- es necesario vincular dos puntos del levantamiento para georreferenciarlo, aunque es conveniente medir al menos un punto mas.
- se puede combinar las mediciones realizadas mediante el uso de GPS con las de medios terrestres de levantamientos.

En general los levantamientos topográficos determinan la posición de puntos respecto de un sistema de coordenadas rectangulares locales (sistema de referencia Topocéntrica) donde el origen se ubica cerca de la superficie terrestre y el eje z es coincidente con la vertical. Por lo tanto, georreferenciar un levantamiento de estas características consistirá en realizar un conjunto de operaciones de campo y de gabinete que permitan expresar las coordenadas de dichos puntos en un sistema general (sistema de referencia Geocéntrico).

Es posible utilizar distintas metodologías para lograr este objetivo, algunas de ellas pasan a detallarse.

I – Utilizando métodos de medición terrestre.

En este caso es necesario contar con una red de apoyo geodésico de forma tal de disponer de un punto de arranque, de coordenadas conocidas, y otro (pilar de acimut) que defina una orientación. Estos métodos se basan en la medición de ángulos y distancias utilizando instrumental clásico (teodolito y distanciómetro o estación total) que tiene la característica de ser tridimensional, pudiendo mencionar dos modalidades típicas:

- Cálculo Elipsóidico: éste es un método de cálculo riguroso propio de la Geodesia, el cual consiste en transportar las coordenadas B y L (latitud y longitud) a partir del arranque. Una vez obtenidas las coordenadas B y L de todos los puntos del levantamiento se podrá, si es necesario, transformar estas coordenadas geodésicas a coordenadas planas Gauss Krüger.
- Cálculo Plano: consiste en transformar las coordenadas geodésicas B y L, del punto de arranque, a coordenadas planas Gauss Krüger y transportarlas hasta todos los puntos de interés.

En caso de ser necesario se deberán corregir las distancias por deformación lineal propia de la representación Gauss Krüger o bien elegir un meridiano de tangencia que anule la deformación

II – Utilizando métodos de medición satelital.

Debido a sus características estos métodos constituyen en la mayoría de los casos los más eficientes desde el punto de vista operativo, proporcionando una georreferenciación de carácter tridimensional, ya que además de las coordenadas B y L (latitud y longitud) adicionan la altura elipsóidica h.

Dependiendo de las características del trabajo, las diferentes modalidades son:

- Posicionamiento Absoluto: permite la determinación prácticamente instantánea de coordenadas obteniéndose precisiones del orden de los 10 metros (o mejor si promediamos las posiciones obtenidas durante algunos minutos).

- Posicionamiento Diferencial en Modo Estático:

 - Posicionamiento con código C/A proporciona precisiones entre 3 y 5 metros.

 - Posicionamiento con código C/A utilizando receptores de correlación fina, proporcionan precisiones entre 0.30 y 4 metros.

 - Posicionamiento con fase cuya precisión es centimétrica.

- Posicionamiento Diferencial con Fase Dinámico:

 - Stop & Go, proporciona precisiones de algunos centímetros.

 - Dinámico puro de precisiones de algunos centímetros.

De esta manera teniendo puntos en dos sistemas: unos en el Sistema Local (topocéntrico) correspondiente a las coordenadas planas x , y , z de los puntos tomados con instrumental (por ejm.: estación total) y otros en el sistema Geodésico WGS 84 correspondiente a las coordenadas B , L y h , se puede calcular el ángulo acimutal del semieje x del sistema local con respecto al semieje X del sistema general, obtenido a partir de los puntos medidos con GPS, en Gauss Kruger luego de ser procesado, para efectuar la Georreferenciación con el software GEOREF. Este es un software no comercial con fines académicos realizado por el Ing. E. Huerta, que realiza el cálculo del pasaje de coordenadas de un sistema a otro.

CAPITULO III

PROPUESTA DE REALIZACIÓN DEL TRABAJO

1- PROPUESTA DE REALIZACIÓN DEL TRABAJO.

Considerando lo expuesto en los capítulos anteriores estamos en condiciones de realizar un nuevo planteo para la realización del trabajo.

Respecto a la obtención de las cotas de los puntos de la red, dadas a partir de un punto altimétrico, sin dudas aplicaría la misma metodología utilizada en el trabajo anterior, es decir la nivelación por doble alineación, por las ventajas (vistas en el Capítulo I punto 6.2.) que éste método nos brinda.

En base a la experiencia que tuvimos en el trabajo, pondría más énfasis en no cometer equivocaciones groseras o distracciones que nos perjudicaron en el resultado, sin tener posibilidad de detectarlas debido a que el error de cierre se encontraba en el entorno de la tolerancia establecida, pero la cota obtenida no era la correcta.

En lo que concierne al las observaciones con GPS las posibilidades, por lo expresado en el Capítulo II, para la obtención de la altura elipsoidal son diferentes.

Consideremos que cuando se realizó el trabajo en el año 1996 el marco de referencia POSGAR 94 no existía, con lo cual las coordenadas obtenidas en ese momento estaban expresadas en el sistema local Campo Inchauspe 69, lo que significó, como se expresó en el Capítulo I, realizar la transformación de coordenadas de éste sistema al WGS 84, con los errores que trae aparejada esta transformación.

Hoy en día con el marco de referencia oficial POSGAR 94 las coordenadas que se obtienen están referenciadas aun sistema mundial, el WGS 84, lógico que necesitamos vincular el relevamiento a un punto que pertenezca o esté vinculado a este marco de referencia.

Al decir esto, lo que estaríamos realizando es una Georreferenciación, por lo expresado en el Capítulo II punto 3.

En primer lugar debemos analizar que punto o puntos del marco de referencia POSGAR 94 se encuentra próximo a nuestra red, luego verificar si existen y están en condiciones para ser utilizados.

En nuestro país, como se expresó, existen puntos pertenecientes a la red POSGAR 94 y también puntos vinculados a ella que pertenecen a las redes geodésicas provinciales u otros proyectos realizados, ampliando la posibilidad de contar con puntos cuyas coordenadas se expresen en el sistema WGS 84.

En base a lo comentado en el párrafo anterior podemos plantear la realización de las observaciones GPS de distintas maneras:

La primera sería eligiendo como punto de partida uno perteneciente a la red POSGAR 94, en este caso, uno de los puntos más próximo a la zona de trabajo es el denominado BJGE ubicado aproximadamente a 150 kms.. Para ello sería necesario utilizar dos receptores, uno ubicado en el punto BJGE como “base” de la observación y el otro “remoto” en cada punto de nuestra red para poder vincularlos a la red oficial.

Para la segunda opción podemos considerar la Estación Permanente GPS Rosario como una buena alternativa, ubicada aproximadamente a 130 kms de nuestra zona de trabajo, para la cual necesitaríamos un solo receptor (remoto), realizando observaciones en cada punto de nuestra red, para efectuar la vinculación al marco POSGAR 94 ya que en este caso la EPGPS Rosario oficiaría de “base” en la observación.

Cabe aclarar que, para estas dos alternativas, utilizaría el método de “Posicionamiento Relativo Estático” debido a las precisiones que, como hemos visto, se pueden alcanzar con el mismo.

En el caso de los receptores, considerando que las distancias entre ellos (base-remoto) son muy superiores a los 30 kms, necesariamente deberán de ser del tipo geodésico que observen las dos frecuencias de la onda portadora (L1/L2), para así poder eliminar el error producido por la ionósfera (como se citó en el Capítulo I punto 4.4.). Además se deberá realizar el cálculo de las coordenadas teniendo en cuenta las efemérides precisas, aquellas que no son transmitidas durante la observación sino que se obtienen de internet, para lograr una mejor precisión.

En la tercera opción tendríamos como punto de vinculación alguno perteneciente a la Red Geodésica Provincial de Santa Fe vinculada a POSGAR 94. En la zona de trabajo contamos con dos puntos cercanos de esta característica; estos puntos fueron construidos especialmente para constituir la red.

El primero de ellos está ubicado en el Distrito Tortugas a una distancia aproximada de 10 kms al sudeste del punto Sur de nuestra red, su denominación es TORT.

El segundo se ubica en el Distrito Montes de Oca a una distancia aproximada de 8.5 kms al noreste del punto Norte de nuestra red, su denominación es MONT.

En este caso el planteo sería el siguiente: utilizaría el mismo método que en las dos opciones anteriores, es decir, el de posicionamiento relativo estático. Analizando la ubicación de los puntos en la configuración de nuestra red, las distancias entre estos y los dos puntos que conforman la Red Geodésica Provincial no superan los 20 kms, por este motivo, utilizaría dos receptores geodésicos que observen una frecuencia de la onda portadora (L1) logrando alcanzar buenas precisiones para estas condiciones, como se expresó en el Capítulo I.

Entonces para realizar la observación utilizaría los dos puntos de la Red Geodésica Provincial (TORT y MONT) como “base”, es decir, estacionar el receptor “base” en el punto MONT y recorrer los puntos de nuestra red con el receptor remoto; luego cambiar el receptor “base” al punto TORT y recorrer nuevamente los puntos de nuestra red. Además realizaría observaciones entre los puntos de la red, así obtendríamos por cada punto de nuestra red abundancia de coordenadas (B, L, h) lo que nos permitiría realizar un control y una compensación de la red.

Si bien el Marco de Referencia oficial es el POSGAR 94, de optar por un punto de éste marco para utilizar como “base” de la observación, sería interesante utilizar las coordenadas de POSGAR 98 (siempre y cuando dispongamos de ellas para ese punto) las cuales, como se citó en el Capítulo II, son más precisas que las POSGAR 94 sobre todo en la altura elipsoidal (h).

Como vemos tenemos distintas opciones, inclusive combinaciones entre ellas; todo dependerá de un análisis más profundo, considerando las distintas variables como son: las características y cantidad de receptores disponibles, las precisiones, el tiempo con que se cuenta para realizar el trabajo y los costos entre otras.

2- CONCLUSION

El desarrollo de cualquier trabajo que implique relacionar distintos conocimientos de la carrera nos brinda la posibilidad de comprender la vinculación que existe entre ellos desde otra óptica.

Particularmente, en este trabajo referido a la actualización de otro anterior, nos permite comprender y nos hace ver como avanza la ciencia continuamente con el transcurso del tiempo, aunque éste no nos haya parecido demasiado.

Considero fundamental que nuestro país pueda contar con un marco de referencia que materialice un sistema geodésico mundial, por las variadas aplicaciones que esto conlleva, lo que nos permite lograr una mejor organización. Como así también que pueda aportar y acompañar para el estudio de nuestro planeta en estos aspectos tan relevantes para la Agrimensura.

En mi caso, específicamente, debo reconocer que la realización de éste trabajo implicó poder profundizar diversos conocimientos que utilizaré en la práctica de esta profesión, permitiéndome fundamentar la misma. Además comprender la dimensión e importancia que tiene para un profesional la continua actualización en los diversos temas que involucra a la profesión.

BIBLIOGRAFÍA

- Trabajo Final: “Aportes para la investigación de la ondulación del geoide sobre el elipsoide WGS 84”. Año 1996. Director: Ing. Oscar Parachú. Asesores: Ing. Eduardo Huerta, Ing. Beatriz Jimenez, Ing. Aldo Mangiaterra. Alumnos: Aranda, Cornaglia, de Elía, Fornero, Kaller, Mira, Scarafia.
- “Curso de GPS”. Escuela de Agrimensura.F.C.E.I.A.- U.N.R.
- “Sistema Geodésico” 1ª Edición 1999. Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional.
- “Contribuciones a la Geodesia en la Argentina de Fines de Siglo XX ” . Homenaje a Oscar Parachú. Autores varios.
- “Temas de Geociencia 7” Georreferenciación.

Páginas consultadas en internet:

www.igm.gov.ar

www.fceia.unr.edu.ar/gps

www.runco.com.ar

www.geosistemassrl.com.ar

Agradecimientos

Agradezco la colaboración de:

Ing. Aldo Mangiaterra

Ing. Eduardo Huerta

Agrim. Gustavo Noguera

Como así también el enorme apoyo de mi futura esposa, el esfuerzo de mis padres, el aliento del resto de la familia, amistades para lograr este tan deseado objetivo en mi vida.

Por último quiero dedicar este humilde trabajo como homenaje, a uno de los integrantes del trabajo original y un gran amigo que no se encuentra físicamente pero permanecerá por siempre en mi corazón, a vos Choco.