

INFORME FINAL

RELEVAMIENTO PLANIALTIMETRICO CON GPS

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPTO DE AGRIMENSURA

U.N.L.P

PROLOGO

El presente informe corresponde a las tareas realizadas para confeccionar un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de una zona determinada, ubicada en el partido de La Plata de la Provincia de Buenos Aires. El mismo fue realizado en el marco del Trabajo Final de la carrera de Agrimensura de la Universidad Nacional de la Plata.

El objetivo planteado fue por un lado lograr el dominio de las técnicas de medición GPS para obtener un posicionamiento planialtimétrico preciso (debiéndose contemplar los conceptos básicos que ello acarrea) y por el otro el manejo por medio de un soft adecuado, de dicha información para así obtener un MDE y las posibilidades que este último ofrece.

El informe está dividido en tres capítulos (Introducción – Desarrollo – Conclusión) de los cuales el central es el que conforma el eje del trabajo, dividiéndose en Averiguación de Antecedentes, Tarea de campo, Tarea de Gabinete y Aspectos Legales. Se adjunta además una serie de anexos en los que se puede encontrar información altimétrica recopilada, planillas de nivelación efectuada y análisis de precisión tanto de GPS como de los modelos digitales realizados. Junto a esto se brindará un anexo especial en el que se podrá encontrar toda la información correspondiente a la calidad de los procesamientos de datos GPS efectuados; tanto estáticos, estáticos rápidos como cinemáticos.

Completan el trabajo una carta topográfica con curvas de nivel y la base de datos correspondientes al Modelo Digital de Elevaciones.

INTRODUCCION

❖ Presentación

La cartografía, y de forma más general el manejo de datos espaciales, se encuentran en un estado de rápida evolución. Los cambios más trascendentales se deben a los nuevos medios tecnológicos y muy especialmente a la generalización de los informáticos. Así mismo, se ha evolucionado desde un enfoque descriptivo, hacia otro explicativo y prospectivo, ya que estos medios disponibles permiten la realización de modelos cuantitativos.

Los Modelos Digitales del Terreno (MDT) son, en este contexto, una generación de modelos definidos como estructuras numéricas de datos que representan la distribución espacial de variables cuantitativas y continuas.

Como se puede apreciar, la definición anterior contempla la posibilidad de que la propiedad del terreno a representar en un MDT, pueda ser cualquiera siempre y cuando cumpla con la condición enunciada. Esto genera la necesidad de establecer una diferencia entre el concepto de MDT y MDE (Modelo Digital de Elevaciones) en el cual la propiedad del terreno que se representa es la altitud.

La topografía tiene una notable influencia sobre numerosas variables que intervienen en la dinámica de los ecosistemas. Entre ellos se pueden citar los procesos geomorfológicos, edáficos, el movimiento ó acción del agua y consecuentemente todos los procesos biológicos condicionados por ellos. Todos estos aspectos se encuentran estrechamente asociados a la forma y altitud del terreno en el que se desarrollan.

La implementación de la informática abre una posibilidad nueva, que es la de describir la altitud de la superficie del terreno, o como se dijo cualquier otra característica del mismo, en forma numérica por medio de computadoras.

En la cartografía convencional, la descripción hipsométrica (curvas de nivel o sombreado), constituye la infraestructura básica del resto del mapa. El papel equivalente en el MDT lo desempeña el MDE que describe la altimetría de la zona mediante un conjunto de datos acotados.

Siguiendo con la analogía cartográfica, pueden construirse modelos derivados a partir de éste último con una complejidad acorde al grado de información con el que se cuente. Los más simples pueden construirse exclusivamente con la información que aporta un MDE y reflejar características morfológicas como pendientes, hoyas, dorsales, líneas de escurrimiento, etc. Utilizando información auxiliar, conjuntamente con la descripción morfológica del terreno y la simulación numérica de procesos físicos, pueden obtenerse modelos mas elaborados.

La construcción de un MDE requiere como paso inicial, la captación de la información altimétrica. Esta fase es, así como la más costosa en términos de tiempo y trabajo, la de mayor trascendencia ya que la calidad de su resultado es el principal factor limitante de todo el tratamiento posterior.

Para contar con esta información se puede recurrir a la medición directa del objeto a representar (relevamiento en situ), o al uso de métodos indirectos como por ejemplo la fotogrametría, batimetría, percepción remota o lo que es mas frecuente la digitalización de mapas analógicos previamente elaborados.

El trabajo realizado a continuación se centra básicamente en esta etapa (captura de datos) en lo que respecta a la realización de un levantamiento palnialtimétrico de una determinada porción de superficie terrestre, que permitió a través de un procesamiento adecuado, obtener la información necesaria para la creación del MDE.

Este relevamiento se realizó íntegramente por medio de técnicas GPS por lo cual en este informe se le prestará especial interés al procedimiento efectuado para la obtención de la información altimétrica por medio del uso de este sistema.

El párrafo precedente se refiere al hecho de que las alturas (h) que brinda GPS utilizan como superficie de referencia una figura geométrica llamada elipsoide de revolución. Esto conduce a que las mismas carezcan del sentido físico que se le pretende atribuir a la altimetría de una región, el cual se logra mediante la vinculación de sus cotas a una superficie equipotencial de referencia, como por ejemplo el nivel medio del mar.

Esta superficie equipotencial, denominada geode, es la que describe el nivel medio del mar extendiéndose idealmente por debajo de los continentes. Al ser de

carácter físico su distribución no responde a ninguna fórmula matemática sencilla, por lo cual para referir las alturas obtenidas con GPS a esta superficie de referencia se debe elaborar, para que el producto sea confiable, un modelo de geoides local.

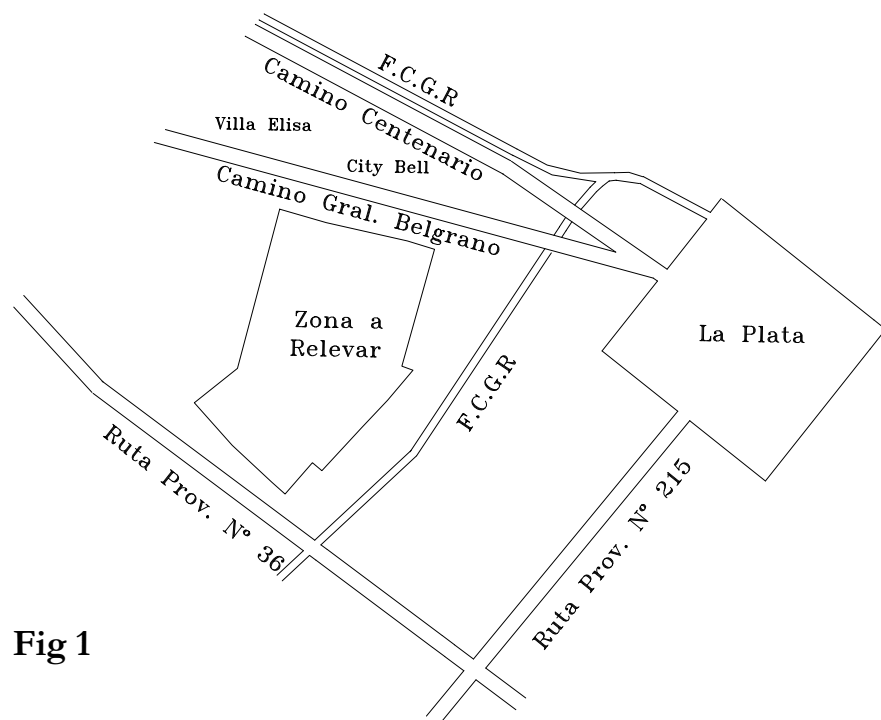
Teniendo en cuenta estos conceptos, se detallará en este informe todo el procedimiento efectuado para la obtención del MDE.

❖ Ubicación geográfica de la zona a relevar

La zona elegida para la realización del trabajo en cuestión, se encuentra en el partido de La Plata (Pcia de Bs.As) entre el camino Gral. Belgrano y la Ruta Pcial. N° 36 a unos diez kilómetros de la capital provincial.

La misma abarca sectores de las localidades de Gorina, City Bell, Villa Elisa y es atravesada por los arroyos Martín y Rodríguez.

La extensión superficial es de aproximadamente 3000 Ha que abarcan una gran cantidad y variedad de parcelas en cuanto a su uso se refiere; ya que se observa desde el amanzanamiento urbano convencional en forma de damero, el sector de quintas en el cual se practica la floricultura y agricultura intensiva, los nuevos emprendimientos parcelarios como barrios cerrados y countries hasta la parcela rural en la cual se practica, además de la agricultura, también la ganadería. Las cualidades morfológicas expresan ondulaciones considerables que, conjuntamente con los arroyos antes mencionados, las condiciones meteorológicas y el pujante crecimiento de la población en esa dirección, hacen que sea de gran utilidad el contar con un Modelo de Elevaciones en particular.



DESARROLLO

❖ **Averiguación de antecedentes**

Una de las primeras tareas que se efectuó fue la de recopilar toda la información de utilidad para la realización del trabajo; es decir todo documento tanto de tipo gráfico como escrito que sería utilizado en las distintas etapas del mismo.

Para ello se realizaron visitas a las instituciones correspondientes que de acuerdo a su incumbencia aportarían la documentación apropiada. Ellas son el IGM (Instituto Geográfico Militar), el MOSP (Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires) y la DPCT (Dirección Provincial de Catastro Territorial) que cumple sus funciones en el Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires.

- **I.G.M.**

En el Instituto Geográfico Militar, sito en Avenida Cabildo N° 381 de la Capital Federal, se pudo adquirir la hoja N° 3557-13-14 (Villa Elisa) a escala 1:50000 en la cual se enmarca la zona a relevar y se pueden apreciar las principales características planialtimétricas de la misma. Teniendo en cuenta que en esta hoja no aparecen representados puntos altimétricos se decidió averiguar en la misma entidad, mas precisamente en la división de geodesia, sobre la existencia de líneas de nivelación en las proximidades de la zona. Consultando los mapas que en ella se

archivan, se detectó la presencia de dos líneas de nivelación de alta precisión. La línea N43 que se desarrolla en el camino General Belgrano, y la línea N(78) que lo hace en la ruta Nacional N°215. De esta última se recopilaron las monografías de los puntos que se creyeron apropiados; ellos fueron PF3, PF4, PF5 y PF6; mientras que de la primera no fue necesario ya que los puntos que se irían a utilizar se encontraban bajo los puentes que atraviesan los arroyos Rodríguez y Carnaval, este último muy próximo a la zona. Ellos eran el punto PF455 y el PF457 respectivamente. (Ver Anexo 1)

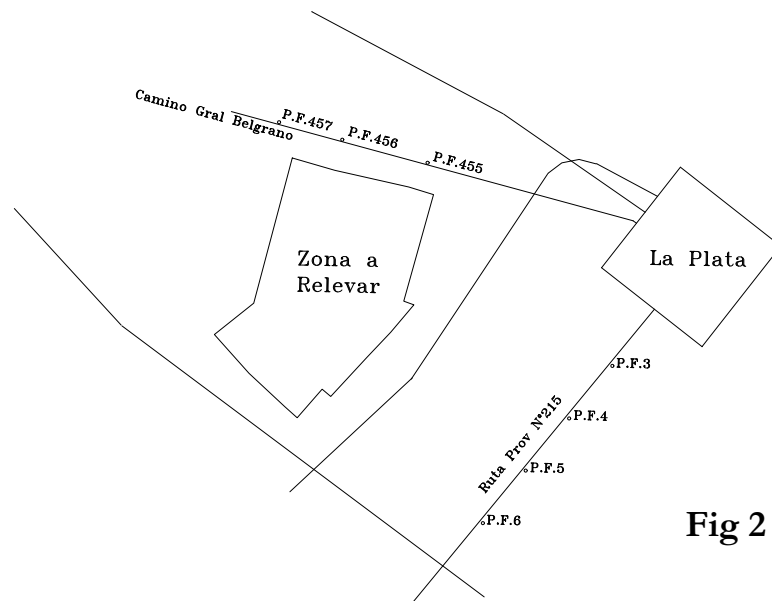


Fig 2

- **M.O.S.P.**

Debido a que, para lograr un reconocimiento apropiado de la zona a relevar se necesita una correcta descripción (que además sea rápida y sencilla), se tornó indispensable contar con otro tipo de cartografía más "rica" en detalles planimétricos.

Esta cualidad la poseen las cartas a escala 1:25000 que se pueden adquirir en el Departamento de Publicaciones de la Dirección de Geodesia. Esta desempeña sus tareas administrativas en el Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires situado en calle 7 esquina 58 de la ciudad de La Plata.

La hoja que abarca la zona en cuestión, posee el mismo nombre y nomenclatura que la carta a escala 1:50000 del I.G.M.

Como se dijo anteriormente esta hoja posee muchos más detalles planimétricos que la del I.G.M, por lo cual la presencia de calles representadas en ellas, hizo de la misma una herramienta invaluable a la hora de ubicarse en el lugar.

Otra consulta de importancia realizada en esta repartición fue la de averiguar la existencia de puntos acotados pertenecientes a líneas de nivelación efectuadas por la mencionada Dirección de Geodesia en la zona de trabajo. Esto, debido a que con la distribución de puntos con las que se contaba, no sería suficiente para realizar un correcto estudio sobre el comportamiento del geoide en la zona.

Para contar con éstos puntos pertenecientes a Geodesia, se debió consultar sobre su existencia en cartas a escala 1:5000 también disponibles en el Depto. de Publicaciones.

Las cartas disponibles a esta escala que cubrían la zona de trabajo eran:

José Hernandez
Haras Dreanina
Gorina
Melchor Romero
Las Quintas
City Bell
Canal Villa Elisa

De todas ellas las únicas que ofrecían puntos acotados eran José Hernandez y City Bell. En la primera se eligieron los puntos más relevantes mientras que en la segunda los únicos tres que existían. (ver Anexo 1).

Debido a que todos estos puntos se encontraban en la periferia de la zona, mas precisamente en su sector NE, fue necesario seguir averiguando sobre la presencia de algún punto dentro de la misma y en su sector SO. De esta manera se conseguiría una distribución apropiada para realizar con éxito la tarea.

Existía la posibilidad de que hubiera puntos fijos materializados por ménsulas en los andenes de las estaciones del ferrocarril ubicadas dentro y cerca de la zona. Ellas eran las estaciones Antonio Seguí, Gorina, José Hernandez y Melchor Romero.

Para averiguar sobre la existencia de estas ménsulas y sus respectivas cotas, hubo que dirigirse al Depto. de Nivelación de la Dirección de Geodesia ubicado en el Piso 11 del citado Ministerio. Allí se consiguió la cota de la estación José Hernández (ubicada al este de la zona) y la del riel de la estación Gorina (ubicada en el sector NE de la zona) ya que la cota de la ménsula que se encontraba en el andén de esta última no la poseían. (ver anexo 1)

Cabe mencionar aquí, que todas estas cotas producto de una nivelación realizada por la Dirección de Geodesia de la Pcia. de Bs.As., están referidas al cero del Riachuelo el cual difiere del cero del mareógrafo de Mar del Plata (origen de toda la red de nivelación efectuada por el IGM) en +0.556. Esto quiere decir que a una cota que esté referida al cero del Riachuelo se le debe restar 0.556m para que esté referida al cero de Mar del Plata.

Con toda esta información recopilada se contó con la siguiente distribución de puntos.

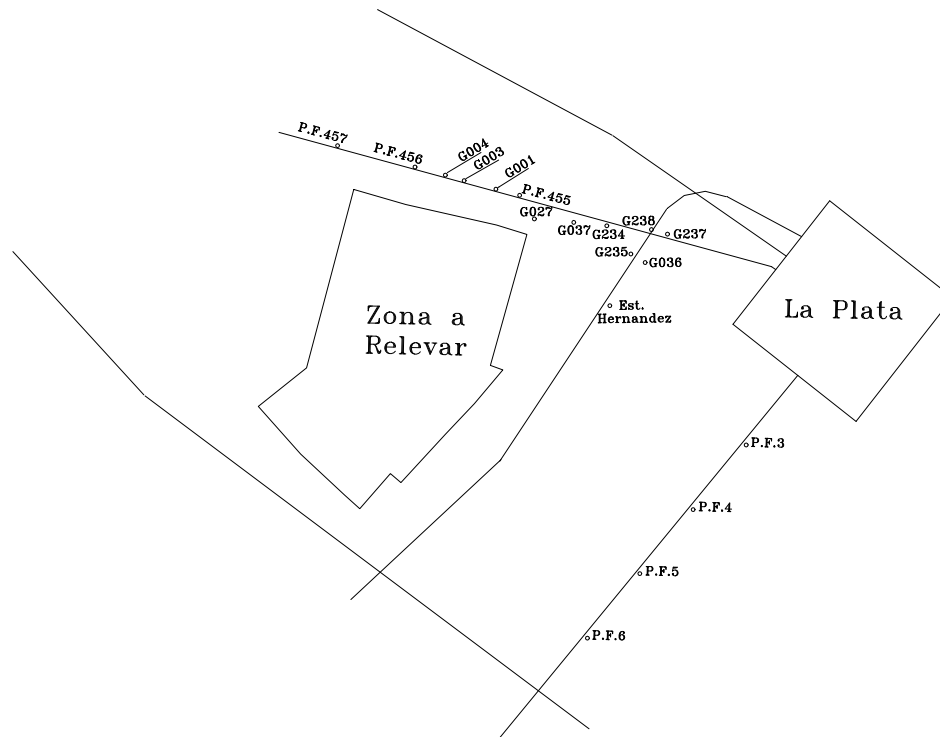


Fig 3

En otro aspecto, teniendo en cuenta las dimensiones de la zona, se supuso con razón, que no iba a ser fácil determinar a simple vista con un reconocimiento de campo, las características altimétricas del terreno. Es por eso que pareció apropiado contar con la posibilidad de realizar una interpretación del relieve por medio de fotografías aéreas.

Para adquirir estas hubo que dirigirse, dentro del mismo Ministerio, al Depto. de Fotogrametría, ubicado en la planta baja del mencionado edificio. Allí pudo observarse un fotoíndice a escala 1:80000 que contaba con fotografías pertenecientes a un vuelo a escala 1:20000 realizado en el año 1996.

Se ubicó en éste el área de trabajo con el auxilio de la presencia de grandes predios como lo son el Batallón de Comunicaciones o la República de los Niños y se eligieron las fotografías que cubrían la zona en cuestión.

Como se dijo anteriormente, estas serían utilizadas para detectar, por medio de visión estereoscópica, toda aquella característica del relieve que pudiera pasar desapercibida durante el reconocimiento de campo.

- **D.P.C.T.**

En éste establecimiento se obtuvo el plano catastral a escala 1:10000 de la zona a relevar con el objeto de conocer la nomenclatura de algunas parcelas de interés para el citado trabajo. La hoja que abarca la zona es la 3557-13-4-VI del partido de La Plata, la cuál se obtuvo luego de abonar un sellado de 6 pesos en el Banco Provincia. El tiempo que demora la entrega de la misma es de tres días aproximadamente y se obtiene información de la zona subdividida en circunscripciones, secciones, fracciones, manzanas y parcelas.

❖ Tarea de Campo

- **Reconocimiento del lugar**

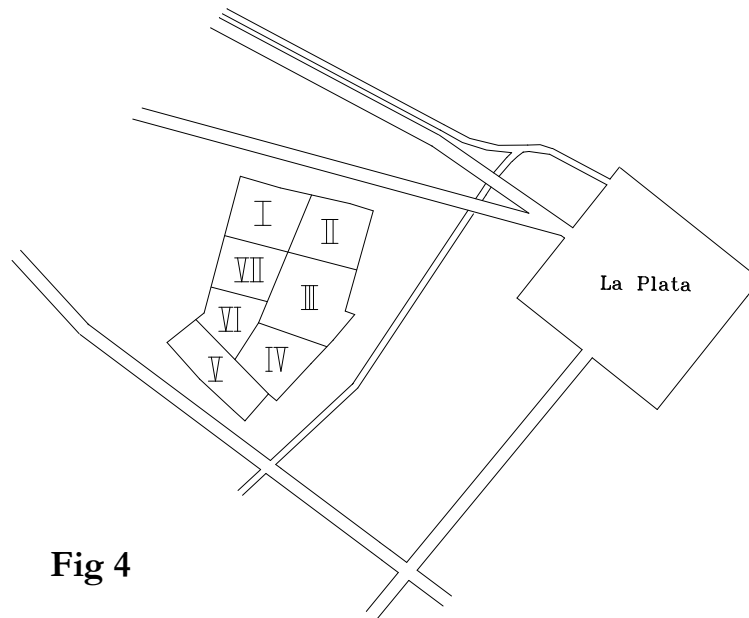
Los primeros reconocimientos se realizaron mediante recorridos en auto usando como guía la carta a escala 1:25000. Estos recorridos se efectuaron por todas las calles posibles que se creyeron convenientes, cotejando la existencia de ellas en la carta como así también anotando cuales aparecían en esta última y no lo hacían en el lugar (por lo general por estar negadas al uso público). Todo esto se iba documentando en la carta guía base de todo el relevamiento.

Una vez recorrida la zona en su totalidad se decidió dividir a la misma en subzonas o áreas que permitieran adquirir mejores condiciones de trabajo (recordemos que la zona en cuestión abarca aproximadamente 3000Ha).

Este procedimiento crea, además de una mayor concentración en el área de relevamiento, una correcta ubicación sobre todo en lugares densamente urbanizados como lo es el sector norte.

Esta división generó un total de siete áreas (ver Fig 4) delimitadas por calles transitables y de superficie acorde a la complejidad de las mismas en lo referido al tiempo que acarree su recorrido y captura de datos. Debido a esto y a que en la parte sur de la zona de trabajo prevalece la actividad agrícola-ganadera, es que estas subzonas o áreas van creciendo superficialmente y perdiendo la complejidad de relevamiento que poseían las del norte, sobre todo en cuanto a la gran densidad de vegetación que perjudicaría la correcta recepción de señales GPS.

De todas maneras se efectuó un reconocimiento previo de cada subzona o área en cuestión el día anterior a su levantamiento. En esta etapa se le prestó especial atención a la correcta ubicación en la carta de los puntos característicos elegidos y ubicados en ella tentativamente por medio de la estereoscopia y los conceptos de escala, tipo de relieve y equidistancia, que se desarrollarán a continuación.



• Elección de la escala y la equidistancia

Antes de iniciar cualquier tipo de relevamiento planialtimétrico, hay que tener muy en cuenta la relación existente entre el instrumental, tipo de relieve y método a utilizar con la escala de representación y la equidistancia a adoptar entre curvas de nivel.

Se sabe que la escala de representación está íntimamente ligada a la precisión del instrumental como así también, para que el producto sea confiable, a la densidad de puntos acotados sobre el terreno. Factor este último muy relacionado con las características morfológicas del mismo.

Por su parte la equidistancia se encuentra muy vinculada a esta última cuestión (característica del relieve) como también a la precisión del instrumental a utilizar en el levantamiento altimétrico. Algunos autores también ligan este concepto a la escala de representación, por lo que se puede apreciar la sensible relación que existe entre ellos.

Sabemos que el relevamiento que se detallará en este informe está íntegramente efectuado con técnicas GPS por lo cual antes de definir cual será la

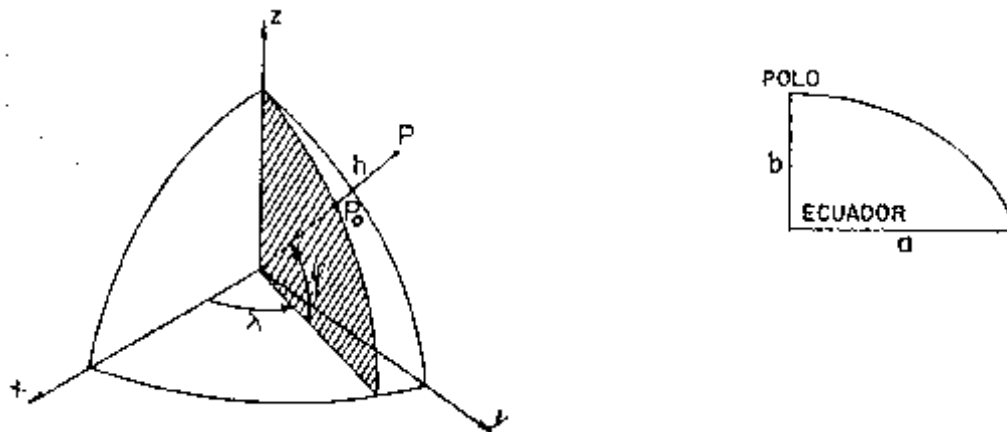
escala y la equidistancia a adoptar se dará una breve introducción al sistema para así luego entender mejor el método a utilizar.

✓ Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El sistema NAVSTAR GPS consta de una determinada cantidad de satélites que orbitan alrededor de la tierra, emitiendo constantemente señales de onda electromagnética en la banda L de la radiofrecuencia.

Estos satélites poseen coordenadas conocidas en un sistema de ejes ortogonales cartesianos X,Y,Z cuyo centro pretende estar ubicado en el centro de masa de la tierra y sus ejes orientados de tal manera que el X es solidario al meridiano origen de las longitudes, el Z próximo al eje de rotación (eje de los polos) y el Y perpendicular a ambos. Esto lleva a la conclusión de que este sistema gira solidariamente con la tierra.

Por medio del GPS se pueden obtener sobre la superficie terrestre, coordenadas geográficas (ω, λ, h) referidas, valga la redundancia, a un sistema de referencia geocéntrico conformado en este caso por un elipsoide de revolución. Esto es posible, debido a que a partir de las coordenadas rectangulares antes enunciadas, se puede pasar fácilmente a estas geodésicas que definen arcos sobre la superficie geométrica que mejor se adapta a la forma de la tierra, denominada elipsoide de revolución. Este último, consta de dos parámetros fundamentales **a** y **f** (semieje mayor y aplastamiento respectivamente) y se ubica de tal manera que, el semieje menor coincide con el eje Z y el semieje mayor con el ecuador.



$$\begin{aligned}x &= (N+h) \cos\phi \cos\lambda \\y &= (N+h) \cos\phi \sin\lambda \\z &= [N (1-f)^2 + h] \sin\phi\end{aligned}$$

Fig 5

a = semieje mayor
 b = semieje menor
 $f = (a-b)/a$ = aplastamiento
 N = radio de la sección normal al meridiano en el punto P

En nuestro país, se utiliza como sistema de referencia el WGS84 cuyo elipsoide posee parámetros propios y está materializado por la red POSGAR 94.

De todo esto se deduce que, si pudiéramos vincularnos de alguna manera a estos satélites, podríamos obtener coordenadas del punto en el cual nos encontramos, referidas al mismo sistema en el que se hallan los primeros.

Esa manera de vincularse se puede realizar conociendo la distancia que separa al satélite del punto en cuestión; ya que:

$$D = \sqrt{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]}$$

Donde x-y-z son las coordenadas del satélite y x₀-y₀-z₀ las del punto desconocido.

Como se dijo anteriormente estos satélites emiten ondas electromagnéticas, que como se sabe viajan a la velocidad de la luz, por lo que si se pudiera medir el tiempo que tardan en llegar al lugar en el que nos encontramos estaríamos en condiciones de determinar esa distancia.

De esto se encargan los receptores GPS diseñados además para recibir más de un satélite ya que como se aprecia en la fórmula, se deberían observar por lo menos tres.

Las ondas electromagnéticas emitidas (L1 y L2) son portadoras de distintos códigos de modulación. El código C/A, que significa Adquisición rápida, el código P que significa preciso y el mensaje de navegación que contiene información de importancia como por ejemplo los datos necesarios para que se puedan calcular las coordenadas de los satélites. El código P y el mensaje de navegación se encuentran en ambas portadoras L1 y L2, mientras que el código C/A lo hace solamente en la portadora L1.

Estos dos códigos C/A y P fueron diseñados para que el receptor pudiera determinar el tiempo transcurrido en la propagación de la señal desde que partió del satélite hasta que llegó a su antena. Esta labor la realiza comparando desfases entre el código emitido por el satélite y uno igual generado por él, en el mismo momento, ya que cuenta con un oscilador interno (cuarzo) que así lo permite. De todos modos éste último es mucho más impreciso que el que posee el satélite (atómico) lo cual conduce a una falencia en la sincronización que a su vez genera una nueva incógnita. Esta nueva incógnita provoca ahora que la cantidad mínima de satélites a recibir para determinar las pseudodistancias que permitan obtener las coordenadas del punto en un instante, tenga que ser de 4. Se llama así (pseudodistancia) a la distancia medida receptor-satélite debido a los errores de observación que posee (reloj, propagación, orbitales, etc.).

Estos códigos C/A y P poseen una longitud de onda de aproximadamente 300 y 30 metros respectivamente, mientras que las portadoras en las que viajan, L1 y L2, cuentan con longitudes de 19 y 24 centímetros.

Como se dijo anteriormente el receptor mide comparando desfases (que luego traducirá en tiempo) entre los códigos generados y recibidos. Si se observan los valores recientemente enunciados se podrá apreciar que ese patrón de medición será en el mejor de los casos de 30 metros si se cuenta con el código P. Este código es de utilización militar por lo que el usuario común no tiene acceso a él (por lo menos en tiempo real) quedándole como alternativa utilizar el código C/A. Vale aclarar aquí que los receptores modernos están capacitados para discriminar por debajo del 1% de la longitud de estos observables por lo cual ese valor de 30 metros pasaría a rondar los 30cm.

El hecho de que la longitud de las ondas portadoras oscile en los 20 centímetros hizo tentadora la posibilidad de que pudieran utilizarse estas para determinar esa pseudodistancia, lo cual generó la búsqueda de una técnica que permita aprovechar estos observables para aumentar la precisión en la medición. El principio sería parecido al usado por los códigos; es decir el receptor mediría el desfase entre la onda generada por él y la recibida proveniente del satélite.

El inconveniente surgido fue que las portadoras no poseen un principio y un fin conocido como sí poseen los códigos. Por lo tanto, aparece una nueva incógnita a determinar definida por el número entero de longitudes de onda existente entre el receptor y el satélite en el instante inicial de observación. Esta no puede resolverse a tiempo real en **posicionamientos absolutos** como se describieron hasta aquí.

Para resolverla, existe una técnica de medición y una serie de artilugios efectuados por un software de procesamiento que permiten además de calcular esta incógnita denominada ambigüedad (N), minimizar errores como el de los relojes, los orbitales, y los de propagación.

La técnica de medición, es la que dio a llamarse **posicionamiento en relativo** y consiste en observar datos por medio de dos o más receptores simultáneamente, para así luego combinar dichas observaciones generando vectores (bases) entre sus respectivas antenas. Vale la pena aclarar que uno de los dos receptores que conforman la base debe estar ubicado en un punto de coordenadas conocidas, para poder determinar así el vector que los une, con muy buena precisión.

En lo referente a los artilugios matemáticos efectuados se pueden citar a las simples, dobles y triples diferencias entre pseudodistancias calculadas por mediciones de fase, que a efectos de este trabajo, no se explicitarán detalladamente.

Esta técnica de medición, puede alcanzar precisiones de escasos centímetros dependiendo fundamentalmente del tiempo de observación y de la longitud de la base.

El tiempo está asociado a la correcta determinación de las ambigüedades ya que existen técnicas para resolver estas que se basan en el cambio de geometría satelital. Aunque, hoy por hoy, con la evolución de los equipos y sobre todo de los

softwares de procesamiento, este cambio de geometría dejó de ser un factor indispensable en muchos casos, por lo cual el mínimo de tiempo requerido se redujo considerablemente.

Cuando se vincula la longitud de la base con el concepto de precisión, se debe a que existen errores como los de propagación, causados por la troposfera y la ionosfera, o los orbitales de los satélites que están íntimamente relacionados con la longitud de ella.

Cuando esta longitud se encuentra dentro de los 15 ó 20 kilómetros los errores de propagación serán similares para las observaciones efectuadas por ambos receptores; por lo cual con las combinaciones realizadas en el procesamiento pueden ser minimizados. Si se pretende superar esta distancia, se deberá contar además de un modelo troposférico matemático, con receptores capaces de recibir las dos frecuencias que emite el satélite (L1 y L2) ya que como la ionosfera actúa distinto sobre estas el soft puede detectar, por medio de combinaciones entre ambas, el efecto que esta capa atmosférica produce y deducirlo. Decimos esto, ya que existe una variada gama de receptores en lo que respecta al observable utilizado. Básicamente se pueden citar cuatro clases; los que utilizan nada más que los códigos para posicionarse (C/A), los que pueden utilizar además de estos una frecuencia (L1) para medición de fase, los capacitados para utilizar también la frecuencia L2 (con media onda) y los que pueden recuperar el código P para utilizar L2 de manera completa.

En lo referente a los errores orbitales, se puede mencionar que éstos se harán menos admisibles a medida que la longitud de la base aumente.

Como ya se mencionó, las técnicas de resolución de ambigüedades fueron mejorando, provocando que el tiempo de observación para poder obtenerlas se reduzca considerablemente. Esto llevó a que surgieran dentro del posicionamiento relativo métodos rápidos como por ejemplo el estático rápido y el cinemático. En síntesis dentro del posicionamiento relativo se pueden citar los siguientes métodos:

Estático: Este es el método observacional básico de medición GPS. Consiste en, como se dijo anteriormente, efectuar observaciones con dos o más receptores en forma simultánea durante períodos de tiempo superiores a una hora. Este es el más preciso de todos los métodos aunque como se ve posee la desventaja de tener que ocuparse el punto durante mucho tiempo.

Estático rápido: Este es básicamente análogo al anterior, contando como diferencia fundamental, que el tiempo de observación puede reducirse considerablemente a períodos que van desde los 15 a los 30 minutos. Es decir, uno de los receptores actúa de “base” en un punto de coordenadas conocidas recepcionando datos durante todo el tiempo que dure la sesión mientras que el otro, que se denomina “rover”, lo hará en todos los puntos que se pretendan determinar sus coordenadas durante el período de tiempo antes enunciado.

Cinemático: En este caso uno de los receptores como en el método anterior, se ubicará como “base” recepcionando datos en un punto de coordenadas conocidas, mientras que el otro lo irá haciendo en cada momento en movimiento y grabando observaciones acorde al tiempo especificado con anterioridad en el “seteo” o fijación de parámetros en el instrumental. Porque algo que no se dijo es que el receptor graba las observaciones que le permitirán calcular las pseudodistancias a un determinado intervalo de tiempo. Este intervalo de tiempo que va por ejemplo desde los 5 segundos en métodos rápidos hasta los 15 o 30 en estáticos se denomina **época**.

Este método, necesita de una inicialización previa que permita resolver las ambigüedades y así poder brindar precisiones centimétricas en movimiento. La misma puede realizarse de distintas maneras dependiendo fundamentalmente de las características técnicas del receptor a utilizar. Se pueden citar entre ellas por ejemplo la que dio a llamarse inicialización en base conocida, intercambio de antenas, o si se cuenta con un receptor que capture ambas frecuencias la técnica que permite resolver ambigüedades en movimiento denominada OTF (on the fly). La primera consiste en ubicar el receptor “rover” durante algunas épocas sobre un punto que determine con el otro receptor una base conocida, y luego comenzar con el itinerario cinemático. Esta base conocida se puede fabricar previamente con una observación en estático rápido por ejemplo. La segunda consiste en ubicar cerca del receptor “base” el que actuará de rover, para luego así después de recepcionar durante algunos segundos cambiar de posición ambos receptores, (sin perder señal) recepcionar unos segundos más y comenzar la trayectoria. En cuanto a la última, si el receptor obtiene información de ambas frecuencias se pueden realizar combinaciones entre ellas que permitan resolver las ambigüedades tan rápidamente que hasta se pueda hacer en movimiento. Una característica importante a destacar, es que si por algún motivo el receptor deja de recibir la señal de por lo menos cuatro satélites, tendrá que efectuar nuevamente el proceso que permita una posterior resolución de ambigüedades.

Por medio de esta técnica (Cinemática) se pueden obtener coordenadas sobre la trayectoria del receptor “rover” espaciadas una distancia, determinada por la velocidad de este último y el intervalo de tiempo prefijado de grabación (épocas).

Una alternativa interesante que presenta este método es una técnica denominada Stop & Go. La única diferencia que posee esta con respecto al cinemático puro, es que si existen puntos que se desea darle mayor importancia que a cualquier otro de la trayectoria, el receptor “rover” se puede detener sobre éstos, asignarle un nombre y grabar dos o más épocas (por lo general tres) para darle al punto una solución mas confiable.

La precisión de estas dos alternativas dentro del método cinemático, (cinemático puro y Stop & Go) es similar a la del estático rápido. Aunque antes de hablar de precisiones en GPS no se puede obviar el hecho de que la medición indirecta de distancias, se efectúa en base a satélites distribuidos sobre el horizonte, cuya ubicación dependerá del momento de medición. Esta distribución varía como es obvio con respecto al tiempo de observación definiendo geometrías apropiadas y no tanto para obtener buenos resultados. Esto último da origen al concepto de **Dilución de la Precisión** ya que afecta a la medición aislada de pseudodistancias en un factor determinado. Su valor puede interpretarse groseramente, como la inversa del volumen determinado por la constelación del momento de la observación y el punto que se pretende posicionar. Es decir, cuando mas conveniente sea la distribución de los satélites, mayor será el volumen y por ende menor la dilución de la precisión.

Este factor se entenderá como ideal cuando adopte un valor próximo a la unidad y malo cuando sea superior a cuatro o cinco.

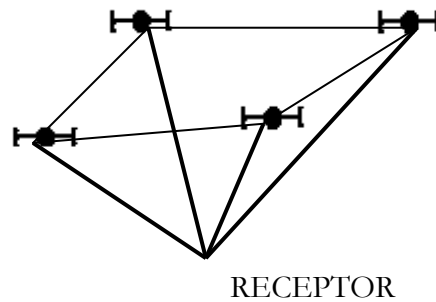


Fig 6

RECEPTOR

Entre las distintas clases de DOP, las más representativas son:

HDOP \longrightarrow Posición horizontal (φ, λ)

VDOP \longrightarrow Posición vertical (h)

PDOP \longrightarrow Posición tridimensional

$$\text{Donde PDOP} = \sqrt{\text{HDOP}^2 + \text{VDOP}^2}$$

Este concepto requiere mayor atención a la hora de realizar métodos rápidos ya que en estos casos no se le dará el tiempo suficiente a los satélites para que en algún momento definan una buena geometría como sucede en los métodos estáticos.

Otro aspecto de importancia que se puede deducir de este concepto, es que, como se puede apreciar, todos los puntos a los cuales se referencia el receptor (satélites) están ubicados sobre el horizonte del mismo. Esto provoca que una variación en altura sea mas difícil de detectar que una en la posición horizontal, determinando que la precisión de la primera sea mas vulnerable que la obtenida en posición horizontal.

En lo que respecta a métodos estáticos, la bibliografía consultada menciona precisiones de 0.5 a 1cm +1 ppm de la distancia de la base mientras que los manuales de los equipos utilizados mencionan solamente 1ppm de la distancia entre receptores.

En cuanto a los métodos cinemáticos la bibliografía acusa precisiones inferiores a los 10 centímetros (Günter Seeber) y de 1 a 5 centímetros (Ma Paz-Holanda Blas). En este caso los manuales expresan de 1cm + 2ppm tanto para el método estático rápido como para el cinemático.

En el trabajo que se desarrolla a continuación, fueron utilizados la **totalidad** de los métodos aquí enunciados.

El método estático sirvió para vincular un punto cercano a la zona de trabajo, a otro ubicado en la ciudad de La Plata que a su vez se encuentra vinculado a la red POSGAR 94'. Este punto nuevo, serviría como estación "base" para la aplicación del método Stop & Go por el cual se relevarían los puntos característicos del relieve que conformarían el Modelo, como así también los pertenecientes a la trayectoria entre ellos obtenidos por medición cinemática pura. Por último se aplicarán mediciones estáticas rápidas sobre puntos en la zona previamente acotados con la intención de efectuar un estudio sobre el comportamiento del geode en la misma. Cabe aclarar que la aplicación de este método daría, de acuerdo al tiempo de observación y longitudes de las bases, precisiones similares a las obtenidas por medio del método estático.

El instrumental utilizado estuvo compuesto por un receptor marca Turbo Rogue capacitado para captar las dos frecuencias y el código P que receptiona datos de manera permanente en la estación fija LPGS y dos receptores marca TRIMBLE modelo 4700 análogos al anterior. Vale la pena destacar, que esta estación (LPGS) que se encuentra vinculada a la red POSGAR 94' fue la primer estación argentina que formó parte del IGS (International GPS Service), servicio organizado por la Organización Internacional de Geodesia (AIG). Este servicio Internacional fue concebido como alternativa científica al Sistema Militar de Control de GPS y como resultado produce efemérides precisas, coordenadas y velocidades de las estaciones rastreadoras y parámetros de rotación de la tierra. En un principio (año 1994) comenzó perteneciendo a la red SAGA (como estación permanente) y luego participó de las campañas SIRGAS 96' y 2000'.

Los dos modelos 4700 de la firma TRIMBLE, fueron utilizados en la aplicación del método Stop & Go y estático rápido sobre puntos acotados. Estos receptores, pueden realizar combinaciones entre ambas portadoras que le permitan al soft calcular ambigüedades en movimiento (OTF) lo cual implica una ventaja importantísima cuando se trabaja en modalidad cinemática. En la aplicación de ambos métodos, uno de estos dos receptores, se ubicó como “base” en el punto cercano a la zona de trabajo permitiendo además vincular este a la estación LPGS mientras que el otro actuaría de “rover”. Este procedimiento se efectuó debido a que la aplicación del método cinemático requiere una distancia máxima entre receptores de 10 Km (según los manuales) lo cual obligaba a generar un punto de paso entre LPGS y la zona. Además la estación LPGS posee un horizonte restringido a los 20° lo cual resulta un inconveniente importante para la correcta aplicación de la técnica tanto Stop&Go como estático-rápido, ya que requieren ambas de buena geometría satelital.

Para tener una idea mas concreta y real de las precisiones con las que se obtendrían los puntos que generarían el MDE, sobre todo en altura, se decidió comparar la medición GPS (aplicando el método y condiciones que se adoptarían en el trabajo) con la efectuada por medio de una nivelación geométrica convencional.

Para esto se ubicó un predio (menor a una Ha) en la ciudad de la Plata que se encuentra a una distancia aproximada de 10 kilómetros de la zona de trabajo. De esta manera, se podría ubicar el receptor “base” en el mismo punto que cumpliría esta función en el relevamiento para el MDE y aplicar el método Stop&Go en el predio en concordancia con la máxima longitud de base que se obtendría en el trabajo (8 Km).

Dentro del lugar elegido se ubicaron 6 puntos perfectamente materializados entre los cuales se determinaron los desniveles por medio de un nivel automático aplicando nivelación geométrica. Sobre estos mismos puntos se efectuó el relevamiento Stop&Go respetando el intervalo entre épocas y tiempo de inicialización que se utilizarían para el relevamiento del MDE, es decir, 5 segundos para el primero y 15 minutos para el segundo.

Una vez realizado el procesamiento se efectuó la comparación entre desniveles, calculados con la medición de uno y otro instrumento, y se llegó a la conclusión de que se puede asegurar que la precisión de los puntos Stop&Go se encuadra dentro de los 10 cm. (Ver anexo 2)

Esta última, es una afirmación un tanto pesimista ya que se desprendió de una condición de trabajo al límite de lo tolerable. Se dice esto debido a que los manuales señalan como distancia máxima para la aplicación del método los 10 km adoptados y un período de inicialización de 10, 15 ó 20 minutos cuando se cuenta con un total de 6, 5 ó 4 satélites respectivamente sobre el horizonte.

Además, en la zona de trabajo la distancia máxima entre receptores no superaría los 8 Km y el tiempo de inicialización se vería incrementado.

No obstante, a la hora de elegir la escala y la equidistancia sobre todo, fue ésta la magnitud adoptada como precisión del levantamiento. Se le presta mayor atención a la equidistancia debido a que como se vio anteriormente, GPS brinda un precisión superior en posición horizontal (escasos centímetros) que en posición vertical. Además, como ya se verá esta precisión adoptada supera ampliamente la requerida por la escala de representación.

✓ Elección de la escala y la equidistancia propiamente dicha

Ahora que se sabe la precisión del instrumental aplicando el método adoptado para el relevamiento en cuestión, se puede iniciar la comparación entre los conceptos antes enunciados que determinarán la escala de representación y equidistancia entre curvas de nivel.

El primer factor a tener en cuenta es que la mínima apreciación visual que posee el ojo humano sobre un documento gráfico es de 0.2 milímetros.

Si se tiene en cuenta entonces la escala de dicho documento se puede admitir un error planimétrico en el levantamiento expresado por:

$$0.0002 \times D = \text{error (m)} \quad \text{donde D es el denominador de la escala.}$$

Si aceptamos que en este relevamiento se comete un error de 0.10 m tendremos entonces:

$$D = 0.10 / 0.0002 = 500$$

Lo que denota que con este método se puede adoptar una escala igual o menor que 1:500

Debido a la dimensión que posee la zona de trabajo y a que se pretendía obtener un solo documento gráfico, es decir una sola hoja y de cómodo manejo, es que se propuso como objetivo lograr una escala mucho menor que la anterior, del orden de 1:20000.

Además, como se aclaró anteriormente, para que el producto de un relevamiento altimétrico sea confiable, la escala de representación debe estar en concordancia con la cantidad de puntos relevados.

No existe regla matemática rigurosa que fundamente esta afirmación pero sí se pueden citar relaciones empíricas como la que se expresa a continuación realizada para terrenos cuyas características morfológicas expresen un relieve ni muy llano ni muy quebrado.

ESCALA	PUNTOS x cm²	PUNTOS x Ha
1:2000	1/5	5
1:10000	1	1
1:50000	5	1/5

Es decir, esta tabla propone tomar un punto cada cm² de representación.

Hay autores que son un poco mas permisivos que este cuadro, llevando la densidad de puntos de 1 a 0.25 por Ha para escalas medias, del orden de 1:20000.

Pero como se mencionó anteriormente esta relación empírica está dirigida a terrenos medianamente quebrados, por lo cual teniendo en cuenta el relieve de la porción de superficie terrestre a relevar en este caso y la escala de representación que se pretendía adoptar (1:20000) resultaría factible aumentar la cantidad de hectáreas por punto relevado.

En cuanto a la equidistancia, hay autores que la relacionan con la escala de representación afirmando que puede adoptarse como tal una fracción del denominador de la misma. Esta fracción puede oscilar en metros entre el doble y la quinta parte de la milésima de dicho denominador, dependiendo de las características morfológicas del terreno.

Si bien es cierta la relación existente entre la escala y la equidistancia, es más rigurosa y estricta la que existe entre esta última y la precisión con la que fue relevado el dato altimétrico.

En este caso, hay autores como García Tejero que expresan que la misma debe ser del orden de la cuarta parte de la equidistancia adoptada y otros como López Cuervo que manifiestan la posibilidad de adoptar como equidistancia el triple de la precisión altimétrica. Tampoco se puede dejar de lado la relación obvia que existe (para que no abunde ni falte información) entre la equidistancia entre curvas de nivel y el tipo de relieve a representar. Hay autores como Davis y Foot que proponen la siguiente relación:

ESCALA	TIPO DE TERRENO	EQUIDISTANCIA
Mediana 1/1250 – 1/25000	Llano	0.25 - 0.50 - 1.50
	Movido	0.50 - 1.50
	Accidentado	1.50 – 3.00

Con el análisis de todos estos conceptos, se llegó a la conclusión de que se podría llegar a obtener un plano de curvas de nivel a una escala 1:20000 y una equidistancia que oscilaría entre los 50 cm y un metro.

- **Relevamiento**

Como se detallará a continuación, el relevamiento fue dividido en dos etapas. Una en la que el objetivo era la captura de datos apropiados para la confección del MDE y la otra en el que el relevamiento se efectuó con la intención de obtener un modelo digital del geoide (MDG) en la zona.

Para el primero se utilizó como ya se dijo el método Stop&Go y en algunos casos se adjuntaron a los puntos determinados por esta técnica, algunos de los pertenecientes a la trayectoria existente entre ellos.

En lo que respecta al relevamiento para el MDG fue utilizado, como también se dijo, el método estático rápido sobre puntos previamente acotados lo que permitió luego el cálculo del valor N (diferencia geoide-elipsoide) en cada uno de ellos.

- ✓ **Relevamiento para el MDE:**

Luego de analizar lo expuesto para la determinación de la escala y la equidistancia, se llegó a la conclusión de que sería razonable obtener un punto cada 250 metros aproximadamente, para poder representar el relevamiento a una escala 1:20000.

Por otro lado, esta distancia podría verse afectada de acuerdo a la distribución de puntos característicos a relevar, elegidos en función de las características morfológicas del terreno y la equidistancia adoptada.

La elección de estos puntos se realizó en el reconocimiento previo de la zona o área a relevar como ya se había mencionado.

Una vez concluida esta etapa, se comenzó con las tareas de relevamiento propiamente dichas.

El primer problema a resolver fue la elección del lugar en el que debía ubicarse la antena GPS del receptor que actuaría de “base” para la aplicación del método. Recordemos que debían cumplirse condiciones básicas como no superar los 10Km entre éste y el que actuaría de “rover” y además contar con un horizonte despejado por encima de ellas, ya que como se mencionó la geometría satelital cumple un papel importantísimo en los métodos rápidos (estático rápido y cinemático).

Estos dos motivos provocaron que el lugar elegido sea una chimenea de una casa situada en City Bell que aseguraba una distancia máxima entre

receptores de 8Km y un horizonte apropiado. Aunque, así como estas ventajas, el lugar escogido poseía también el inconveniente de no poder ubicar un trípode sobre él para que la centración de la antena sobre el punto sea perfecta. Por lo cual este punto de paso denominado CB1 no fue siempre el mismo; variando su posición cada día de trabajo dentro de las posibilidades que otorga el vértice de una chimenea.

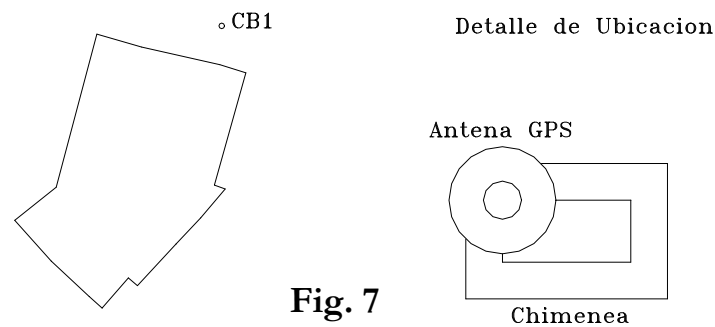


Fig. 7

Esto que al principio puede resultar un tanto ilógico, se torna aceptable cuando se comprende que este cumplió simplemente la función de un punto de paso entre la estación fija LPGS y la zona de trabajo para que en la misma pueda ser aplicado el método Stop&Go sin los problemas antes enunciados.

Se entiende entonces que el punto CB1 en el cual se apoyaría el receptor “base” sería vinculado en cada sesión de trabajo a la estación fija LPGS. Esta última se encuentra a menos de 11Km y recibe datos durante las 24 Hs de todos los días del año.

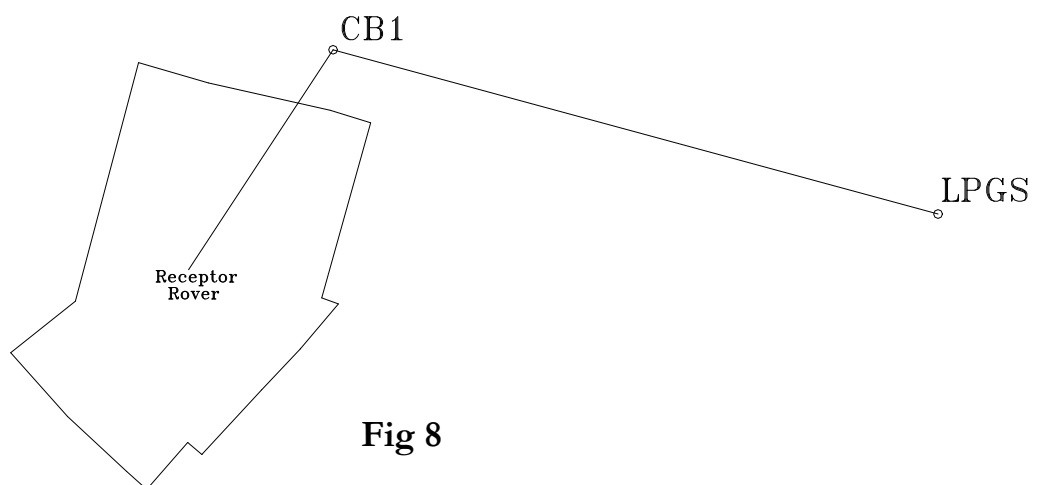


Fig 8

Esta vinculación sería excelente teniendo en cuenta que cada sesión duraría entre cuatro y nueve horas con un intervalo de medición de 30 segundos en una base de 11 kilómetros. Es decir, se contaría con un notable cambio de la geometría satelital y una superabundancia de mediciones que sumado a que se trata de una base corta, daría como resultado una muy buena solución y cumpliría holgadamente con los requerimientos del trabajo.

Una vez ubicado el receptor base, restaba solamente comenzar con la aplicación del método.

La idea original era recorrer las subzonas o áreas ya especificadas en un vehículo al cual se le pudiera adosar sobre su techo, la antena receptora. La distribución de puntos característicos hizo que esta metodología no fuera efectiva en su totalidad, ya que muchos de ellos se ubicaron en lugares imposibles de acceder con el automóvil, por lo cual las tareas se dividieron en dos etapas bien diferenciadas:

medición en automóvil y medición a pie.

- **Medición en automóvil**

Luego de encender el receptor “base” (seteado¹ con un intervalo de medición de 5 segundos igual que el “rover”) se emprendió con la antena de éste último adosada al techo del auto, el viaje hacia la zona de trabajo. Cabe aclarar que en todo el trabajo de campo se le prestó especial atención a la medición de la altura de antena y su correcto registro en las planillas correspondientes.

El relevamiento comenzó en el sector norte de dicha zona dividida en las áreas I y II que debido a ser las más urbanizadas, su densidad de calles era también mayor. Una vez en el lugar, se contaba con la carta a escala 1:25000, en la cual se había marcado el itinerario a seguir y los puntos característicos a levantar, por lo cual luego de que la controladora del equipo expresara que se estaba en condiciones de medir, se ubicaba el auto sobre el punto y se grababan como mínimo dos épocas (10 segundos).

Se dice esto de la controladora, debido a que como ya se mencionó, el método empleado requiere de una inicialización previa para que el soft pueda luego resolver las ambigüedades. Como también se dijo, los receptores con los que se contó, podían hacerlo rápidamente y en movimiento (OTF) por lo que el único factor a tener en cuenta en lo que respecta al tema era el tiempo mínimo necesario que, de acuerdo a la cantidad de satélites del momento, la controladora se encargaba de enunciar. Este tiempo, que como se mencionó

¹ El término “setear” se utiliza aquí, aunque sea un tanto incorrecto, para definir el procedimiento por el cual se introducen las condiciones de operación que se desea practicar, en el receptor a utilizar.

está en función de la geometría satelital disponible en el momento, nunca fue inferior a los 15 minutos por mas que la controladora lo permitiera.

Con lo expresado hasta aquí, puede entenderse que el equipo iba inicializándose a medida que se realizaba el viaje hacia el lugar. Una vez allí si la controladora lo permitía se procedía con la medición del punto que consistía como se dijo en estacionarse sobre él unos segundos, asignarle un nombre y grabar esas épocas. Luego se emprendía el recorrido hacia el próximo punto en el que se operaba de la misma manera. Si en el camino no se producía alguna pérdida de señal (pérdida de ambigüedades), el procedimiento era realmente rápido ya que se frenaba en el punto en cuestión, se esperaba unos segundos se grababa y se emprendía la marcha. Caso contrario se debía esperar sobre el punto (ó no) los 15 minutos que se habían estipulado para luego sí poder grabar las épocas con su nombre. Recordemos que la inicialización OTF contempla esta posibilidad.

De esta manera se relevó casi la totalidad de las subzonas ó áreas I, II y VII y parte de las áreas III, IV, V y VI. En las primeras la presencia de árboles y edificaciones hicieron que se tornaran inevitables las pérdidas de señal en la trayectoria entre un punto y otro lo cual condujo a que se necesite mucho mas tiempo para relevarlas que el esperado. Por el contrario, a medida que nos acercamos al sector sur de la zona (áreas restantes) el fraccionamiento suburbano hizo, que la densidad de vegetación disminuya, beneficiando así la eficacia del método, como así como también que la existencia de calles sea menor provocando que existan puntos en lugares inaccesibles con el auto.

En esta primera etapa del relevamiento se obtuvieron un total de 250 puntos Stop&Go y una cantidad bastante mayor de puntos de trayectoria. Si bien la cantidad de estos últimos puntos fue grande, su importancia no fue tanta, ya que muchos de ellos se hallaban muy próximos entre sí (recordemos que su distribución está en función de la velocidad del automóvil y el tiempo entre épocas) o cerca de un punto característico. (Ver depuración de puntos).

-Medición a pie

Debido a la diversidad del parcelamiento existente la densidad de calles no presenta un aspecto homogéneo por lo que se hizo imposible relevar toda la zona con un vehículo. Esto condujo a que sea inevitable tener que pedir permiso para ingresar a determinados predios y efectuar el relevamiento del mismo a pie. El tamaño de estos predios es de carácter variado ya que pueden citarse desde quintas que oscilan de dos a diez hectáreas, countries de treinta a cien, hasta un campo de cuatrocientas hectáreas. En este último se pudo complementar entre ambos procedimientos (auto-pie) ya que las características del campo así lo permitieron.

La técnica utilizada fue la misma que le correspondió al relevamiento en auto, es decir el método Stop&Go con un intervalo de medición de 5 segundos. La diferencia básica radica en el hecho que la antena receptora en vez de estar ubicada sobre el techo del automóvil, se adosa a un bastón y el equipo en vez de ir en el asiento trasero del auto es llevado en una mochila.

Esta tarea fue realizada para mayor comodidad entre dos personas; una llevaba la mochila y vigilaba la controladora mientras que la otra transportaba el bastón con la antena y lo ubicaba en los puntos característicos a relevar. Análogamente a lo estipulado para el relevamiento en auto, si la controladora expresaba que se estaba en condiciones de grabar (anunciaba **fixed**) se grababan como mínimo dos épocas con el nombre correspondiente al punto. Caso contrario se esperaba como se había prefijado un mínimo de 15 minutos por más que la controladora expresara menor tiempo.

Esta etapa del relevamiento comenzó con la medición de dos predios ubicados en el área III. Los mismos son el country Grand Bell y otro lindante con este último que actualmente se encuentra en construcción y corresponde a la siguiente nomenclatura catastral: Partido: La plata – Circunscripción: VI sección YY – parcelas: 970 y 971

También en el área III se relevó el Haras Dreanina en el cual se levantaron los puntos proyectados incluyendo los pertenecientes a una colectora que atraviesa el lugar y desemboca en el arroyo Rodríguez.

Luego una vez ubicados en el área IV se relevó el campo de 400Ha que ocupa la mayor parte de la misma y abarca las parcelas 965b, 965c 967b y 967c de la circunscripción VI sección YY del partido de La Plata. Se ingresó en él con el auto y se recorrió al mismo con la antena en el techo por si existía la posibilidad de tomar puntos mediante esta modalidad. Si bien se pudieron relevar puntos de esta manera, existieron lugares en donde irremediamente hubo que adoptar la metodología a pié.

El último predio de extensión considerable que se relevó fue el country del Club Estudiantes de La Plata ubicado en la zona I.

La mayor extensión del mismo se encuentra ocupada por una cancha de golf que se halla densamente forestada. Esto, como ya se sabe, puede acarrear grandes inconvenientes para con la técnica empleada, por un lado las pérdidas de señal que se traducen en pérdidas de tiempo debido a la necesidad de inicializar en cada punto y por otro los posibles efectos Multipath (multicamino producido por reflexión de la señal) debido a la cercanía de árboles. No obstante los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

Por último se relevaron por medio de esta metodología a pie, puntos aislados en predios pequeños como quintas a las cuales no se podía ingresar en auto.

Mediante esta modalidad también, se relevaron los arroyos y zanjas colectoras que atraviesan a la zona en toda su extensión. En algunos casos de manera conjunta con el efectuado en el predio afectado por ellos y en otros en forma particular. Aunque para mayor claridad se prefirió explicar su relevamiento de manera independiente.

-Medición de arroyos y zanjas colectoras

la zona está, como ya se mencionó, atravesada por los arroyos Martín y Rodríguez los cuales a su vez poseen colectoras de importancia.

Como es de suponer para que el modelo sea confiable, había que tener en cuenta sus trazas y relevarlas de la mejor manera posible.

En un principio se había pensado en contar sobre su trayectoria con una terna de puntos cada 300 metros aproximadamente. Es decir uno sobre su eje y dos a cada lado de este sobre el borde superior de sus laderas. Pero debido a que estos arroyos cuentan con ancho que no supera los 4 metros, sería en vano contar con esa distribución cuando la acuidad visiva aplicada a la escala de representación adoptada, no la distinguiría ($0.0002 \times D = 4\text{mts}$). Esto llevó a la conclusión que alcanzaría contar con un punto cada 300 metros y sobre uno de los bordes del arroyo a la altura del pelo de agua. Esto último le quita capacidad al levantamiento si se pretende por ejemplo mejorar las condiciones de drenaje; pero como el objetivo del trabajo se centró en otros aspectos, no se le dio mayor importancia.

La distancia proyectada de 300 metros se vio afectada por la presencia de quiebres ineludibles o tramos que permitían extender esta longitud a una distancia mayor.

En el caso de las colectoras ya que carecían de agua, sí pudo ubicarse a los puntos que definirían su traza sobre su eje.

Como en el caso de los puntos característicos del relieve, estos puntos a relevar eran volcados en la carta a escala 1 :25000.

En la zona norte, se trató de que los mismos se ubicaran en la intersección de los arroyos con las calles ya que la gran densidad de ellas así lo permitía. No ocurrió lo mismo en las áreas III-IV-V y VI por lo cual en muchos casos hubo que pedir permiso en el lugar correspondiente para cumplir con la tarea. Por este motivo es que si bien estaba proyectado recorrer estos arroyos y colectoras de manera exclusiva, cuando estos atravesaban predios cerrados como por ejemplo los Countries, se previó la combinación de este relevamiento con el de los puntos característicos del relieve que se ubicaban en el lugar correspondiente.

En las áreas del sur, para cumplir con este cometido, hubo que pedir permiso en quintas y chacras ya que la escasa presencia de calles y la gran cantidad de quiebres de estos arroyos así lo determinaron.

La cantidad de puntos tomados entre arroyos y colectoras fue superior a 100.

✓ El relevamiento para el MDG:

En primera aproximación la forma de la tierra podría considerarse como una esfera achatada en los polos o elipsoide de revolución con una superficie del 71 % del total cubierta de agua, y el restante 29 % por los continentes.

Como el agua es un fluido adopta formas concordantes a las atracciones y presiones que soporta y como ocupa la mayor parte de la tierra, se puede asumir que la forma mas probable de la misma es la que definen los mares en reposo.

Esta superficie irregular por excelencia que no puede ser representada por función matemática sencilla recibe el nombre de geoide y posee como características mas importantes, las siguientes:

- El potencial gravimétrico es el mismo en todos los puntos ya que se trata de una superficie equipotencial.
- La dirección de la gravedad es perpendicular al geoide en cualquier punto de su superficie.

El primer punto, obliga a pensar que las alturas referidas a esta superficie, adquieren un carácter físico, estando facultadas por ejemplo para describir el comportamiento del agua. El segundo es un hecho importante ya que define la dirección de la plomada de los instrumentos ópticos convencionales como por ejemplo los alfileros.; por lo cual al utilizar estos aparatos se está describiendo a esa superficie equipotencial. Esto conduce a que se pueden obtener entonces, por medio de una nivelación geométrica por ejemplo, alturas sobre la superficie topográfica y referirlas a esa superficie denominada geoide. Esta vinculación cobra seriedad cuando además se tienen en cuenta efectos gravimétricos causantes de una falta de paralelismo entre superficies de nivel (equipotenciales) que la nivelación geométrica no tiene en cuenta. Esta falta de paralelismo se debe a la variación que posee la acción de la gravedad a lo largo de la tierra, desde el ecuador hacia los polos, debido al efecto rotacional y distribución de las mareas.

Así nacen conceptos como los de **Cota bruta**, que es la obtenida por medio de nivelación geométrica elemental, **Cota ortométrica** que es la cota bruta corregida (con el auxilio de la gravimetría) de esa falta de paralelismo entre superficies de nivel y las **Cotas dinámicas** que deben su aparición al hecho de que

las ortométricas no describen fielmente el comportamiento del agua ya que puede darse el caso de que existan dos de estas cotas iguales y sin embargo el agua fluya entre ellas. Esto sucede debido a que en este concepto de cota, que dicho sea de paso define la distancia entre el punto en cuestión y la superficie equipotencial de referencia, se tiene en cuenta una gravedad medida en el punto; con lo cual si recordamos que esta varía a lo largo de la superficie equipotencial se entenderá fácilmente su efecto. Para solventar esto y a su vez describir con propiedad el escurrimiento de las aguas sobre la superficie terrestre, se decidió crear a las dinámicas, a las cuales se llega dividiendo a los números geopotenciales calculados (diferencias de potencial), por una gravedad única para toda la región en cuestión.

Una alternativa a considerar, cuando no se pueden aplicar modelos elementales (lámina de bouguer) ni elaborados (descripción digital del terreno con influencia topográfica-isostática) como los que se deberían tener en cuenta para el cálculo de cotas ortométricas, es calcular alturas o cotas “normales” es decir dividir el número geopotencial por la gravedad teórica (función de la latitud) con la consideración del gradiente vertical.

Todo lo expuesto conforma la base fundamental por la cual esta superficie denominada geode es adoptada como referencia para el apoyo vertical de la geodesia. Cabe aclarar que para este caso en cuestión, dada la reducida dimensión del relevamiento estas diferencias que expresan las distintas clases de cotas, son irrelevantes.

Para poder vincularse a esta superficie equipotencial (geode) y establecer un origen de una determinada red altimétrica, se registra el nivel de agua del océano en áreas costeras a través de mareógrafos, con el objetivo de determinar el nivel medio del mar. El fenómeno que describe la oscilación periódica del agua (ascenso y descenso) resultante de la atracción gravitatoria de la luna y el sol sobre la tierra en rotación, se denomina nivel de las aguas o marea. Los principales factores a considerar cuando se habla de fuerzas generadoras de marea, son el movimiento de la luna alrededor de la tierra sobre una órbita inclinada respecto al ecuador de la misma, y el movimiento de la tierra alrededor del sol sobre la eclíptica, que también está inclinada con respecto al ecuador. Como es de suponer entonces, las consecuencias dependen de la posición relativa entre la tierra, el sol y la luna quienes generan un ciclo que se repite cada 18,67 años. Este período es por lo tanto, el mas apropiado para obtener un correcto estudio de las mareas y generar las expresiones matemáticas que permitan deducir el nivel medio del mar en el lugar. En nuestro país el origen lo proporcionó el mareógrafo ubicado en el puerto de Mar del Plata y constituye el cero oficial de la red altimétrica nacional.

Al estar este trabajo íntegramente realizado con técnicas GPS, las alturas obtenidas quedaron (como ya se mencionó) referidas a un determinado elipsoide, adoptando así un claro significado geométrico (h es la distancia que hay desde el

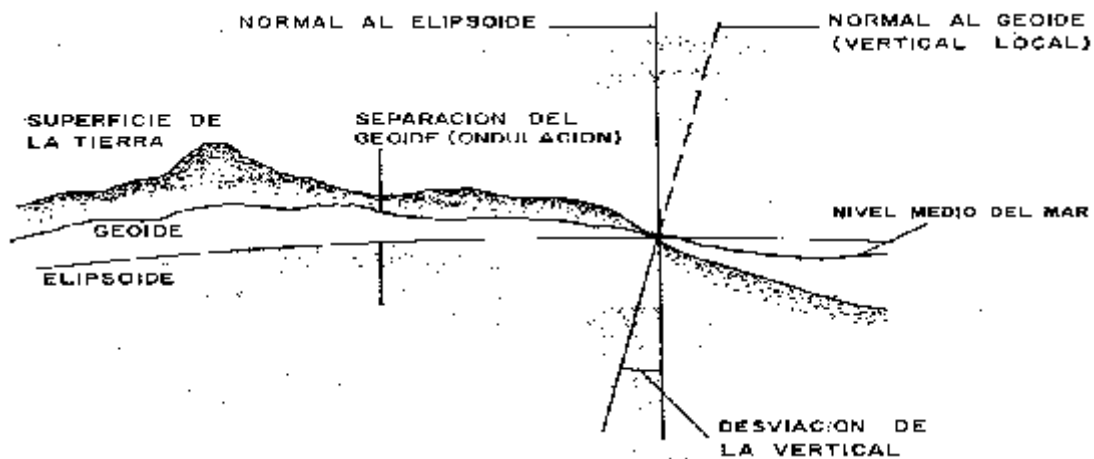
punto al elipsoide medida a lo largo de la normal al mismo). Es necesario también tener muy claro en que sistema se obtienen las coordenadas y a que elipsoide están referidas (ϕ , λ , h). En este caso se utilizó como marco de referencia el Posgar 94 que materializa en nuestro país al sistema WGS84, cuyo elipsoide posee los siguientes parámetros:

$$a=6378137$$

$$1/f=298.257223563$$

Por todo esto, es que para hacer uso con seguridad de la variable altimétrica que brinda GPS, se torna indispensable realizar una comparación entre ambas superficies de referencia (geoide-elipsoide) para así poder luego, además de transformarlas, vincular las alturas obtenidas a la red nacional de nivelación.

Esta comparación se hace mediante la creación de un Modelo de Geoide o, con más propiedad, un conjunto de isocorreas de corrección, para pasar de la altura h elipsoidal a la cota H de nivelación. Este se puede obtener relacionando en puntos de la red de nivelación, sus cotas (altura del punto al geoide) con la altura elipsoidal de los mismos obtenidas por medio de técnicas GPS.



Para la creación de este modelo, como se vio en “Averiguación de Antecedentes”, se contaba con esta distribución de puntos de nivelación en la zona.

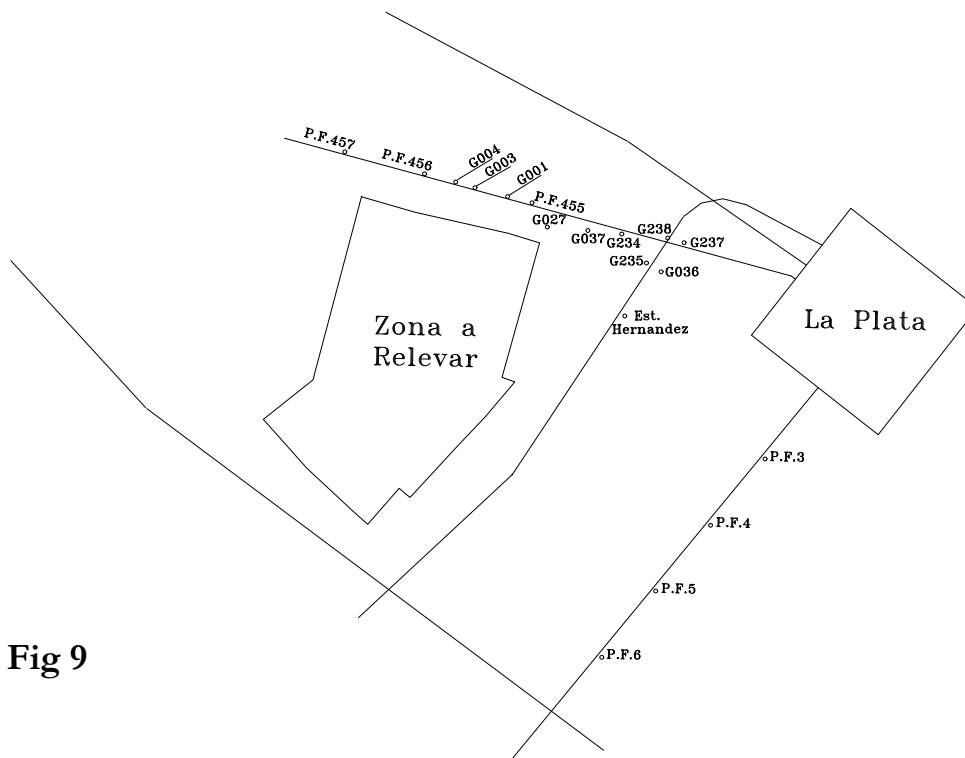
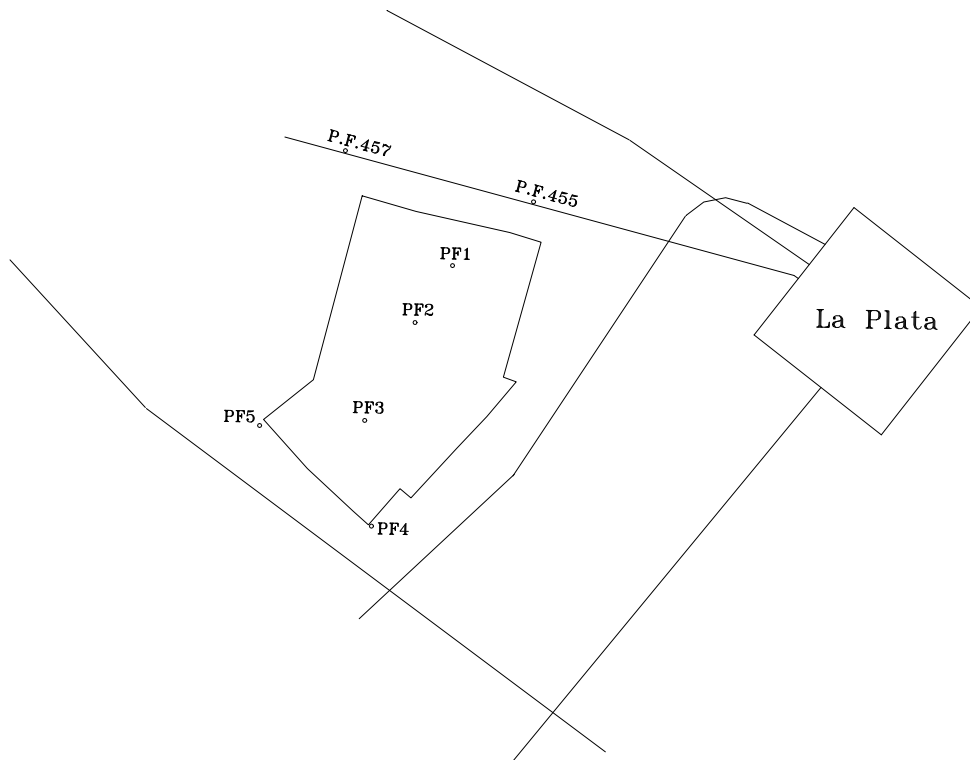


Fig 9

Como se puede apreciar existe una superabundancia de puntos de nivelación en el norte de la zona ya que allí se hallan la línea N43 del I.G.M. y una del M.O.S.P., ambas sobre el Camino Gral. Belgrano. Luego, en el sector este, existe un punto en la Estación Hernández perteneciente al MOSP y cuatro puntos pertenecientes a la línea N(78) del IGM. Aunque estos últimos se encuentran muy alejados para los fines requeridos.

Con esta distribución de puntos no nos era posible realizar un modelo adecuado para nuestro trabajo. Esto nos obligó a realizar un traslado de cota hacia la parte sur, partiendo desde el P.F. 455 de la línea N43 para obtener así la distribución de puntos de nivelación deseada.

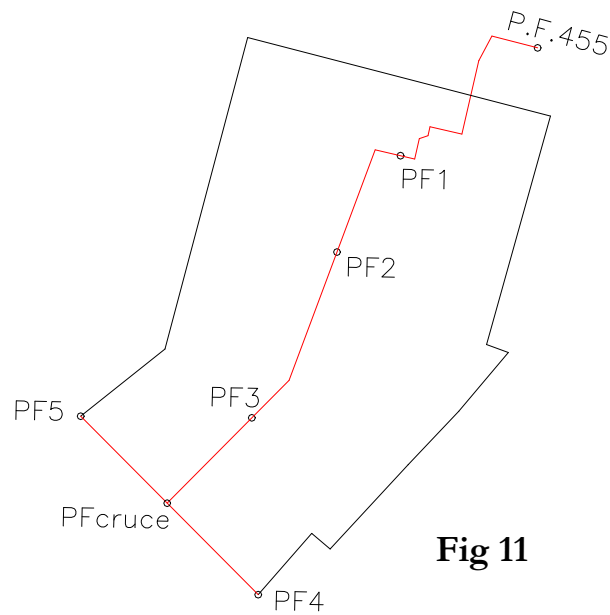
**Fig 10**

Así quedaría conformado nuestro modelo, descartándose la utilización de las ménsulas del M.O.S.P. ya que las cotas de las mismas se encuentran en re-cálculo y no son otorgadas al público.

-Transporte de cota

El transporte de cota se realizó partiendo del PF 455 del I.G.M. ubicado en la intersección del Camino Gral. Belgrano y el arroyo Rodríguez siguiendo un itinerario preestablecido (ver Fig 11), donde la mayor parte del recorrido se efectuó a lo largo de una calle central que atraviesa todo el lugar y luego en una segunda etapa a lo largo de una calle que es límite de zona y bordea a la misma en la dirección NO-SE. Las líneas de dirección programadas fueron tres:

- Transporte de cota del PF 455 I.G.M. al punto denominado PF CRUCE.
- Transporte de cota del PF CRUCE al PF 4.
- Transporte de cota del PF CRUCE al PF 5.



Instrumental utilizado:

El instrumental utilizado para las tareas de nivelación consistió de un nivel marca SOKKISHA Modelo BC2. Con anteojo de 32 aumentos y compensador de 0,3" de desviación, un trípode de aluminio de la misma marca y dos miras centimetradas de aluminio que eran apoyadas sobre un soporte metálico (sapos de nivelación).

Precisión del instrumental:

La tolerancia de cierre de un itinerario se establece en función de su error kilométrico (expresado en mm.) y del número de kilómetros de dicho itinerario.

$$e < e_k \cdot \sqrt{k}$$

Donde: e = error de cierre.
 e_k = error kilométrico.
 k = número de kilómetros de itinerario.

En un trabajo de nivelación, como primera medida se determina el error kilométrico del itinerario a realizar, el cual proviene de tener en cuenta el instrumental a utilizar y la distancia máxima de nivelada.

Luego tenemos que el error accidental en cada nivelada depende del error de horizontalidad cometido al estacionar el instrumento y del error de puntería que se traduce en una imperfecta lectura de mira. La expresión es la siguiente:

$$e_n'' = \sqrt{e_h^2 + e_p^2}$$

Luego, para los niveles automáticos e_h está relacionado con la capacidad que posee el compensador de horizontalizar el eje de colimación, donde:

$$e_h = 0,3''$$

El error de puntería e_p al dirigir la visual a una mira lo podemos expresar mediante la fórmula:

$$e_p < \frac{50''}{A} \cdot \left(1 + \frac{4A}{100}\right)$$

con A = cantidad de aumentos.

Reemplazando luego el valor $A = 32x$ en la fórmula anterior, tenemos que:

$$e_p = 3,5625''$$

$$\text{luego } e_n'' = 3,57511''$$

Este error se traduce en otro de lectura en la mira:

$$e_n < e_n'' \cdot \frac{1}{206265} \cdot L$$

siendo L la distancia media de nivelada (90 mts. en nuestro caso) tenemos:

$$e_n < 1,560 \text{ mm.}$$

siendo $m = \frac{L}{1000}$ el número de niveladas en un Km, tenemos la siguiente expresión del error kilométrico:

sión del error kilométrico:

$$e_k = e_n \cdot \sqrt{m} = 5,2 \text{ mm.}$$

este valor obtenido es la precisión máxima que podemos obtener por kilómetro de nivelación utilizando el instrumental mencionado.

Precisión requerida:

Los autores Wolf y Brinker especifican constantes que establecen órdenes de precisión para distintos tipos de nivelación en topografía en función de sus objetivos. Establecen 3 órdenes donde los dos primeros se subdividen a su vez en 2 clases. Un trabajo de las características mencionadas estaría encuadrado como de 2º orden clase 1, donde establece un error kilométrico máximo admisible de 6 mm.

Por otra parte, el autor López Cuervo aconseja un valor para el error kilométrico de 10 mm para una nivelación “normal”.

Por último, el autor Domínguez García Tejero establece que una nivelación puede considerarse como “de precisión” si el error kilométrico no supera el valor de 7 mm.

En nuestro caso particular, adoptamos como tolerancia para los tres itinerarios a realizar:

$$T = 6 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$$

Método utilizado:

Como se dijo anteriormente, se establecieron tres líneas o itinerarios de nivelación del tipo de “lazo” o “enlace”, donde se parte de un punto fijo para dar cota a otro punto, y donde una vez que se ha llegado a él, es preciso continuar el itinerario en sentido contrario hasta llegar al punto de partida u origen.

Algunos autores como García Tejero o Chueca Pazos establecen métodos análogos al mencionado, al que lo llaman de estaciones dobles.

Por un lado García Tejero dice que si bien este es un método poco recomendable, no es sino el mismo anterior abreviado. También considera que este método posee ventajas respecto al otro, que son: la rapidez (ya que se recorre el camino una sola vez) y la comprobación (ya que se van comprobando los resultados en cada tramo), con lo que se pueden detectar errores groseros en las mediciones y poder subsanarlos. Por otro lado, Chueca Pazos lo establece como un método más de nivelación compuesta, tan válidos como los otros.

Aunque si bien estos autores avalan este método, no se debe obviar, que el mismo posee dos posibles inconvenientes; uno debido a que en el caso de posicionar mal las miras, cualquier error que influya en la primer lectura influirá también en la segunda y otro causado por el hundimiento del soporte de mira o sapo. El primero, fue solucionado teniendo especial cuidado en el posicionamiento de las mismas sobre los soportes (sapos), donde luego de realizada la primer lectura sobre la mira se procedía a retirarla para luego, antes de realizar la segunda lectura, colocarla nuevamente y realizar una nueva verticalización. Para solventar el segundo, también se trabajó con muchísimo cuidado tratando de no emitir presión sobre los “sapos” con la mira. De esta manera resultó posible detectar algún error a través de la comparación de los niveles obtenidos en las dos lecturas; puesto que cualquier diferencia que hubiese que superara la tolerancia admitida las lecturas eran descartadas y nivelado el tramo nuevamente.

La forma de proceder fue la siguiente: Se estacionaba el instrumento en el medio de cada tramo de nivelación cuidando que las visuales no superaran los 90 mts., realizando lecturas sobre las dos miras, y luego se estacionaba nuevamente el nivel, se tomaban las lecturas de mira por segunda vez y se obtenía así los desniveles de ida y vuelta.

Esta forma de proceder equivale a realizar la ida y vuelta en forma simultánea. En el campo las lecturas se realizaban al milímetro, anotándose los tres hilos y verificando la lectura del hilo medio mediante el promedio de los otros dos. Aquellas lecturas en las que la diferencia era mayor que 1 mm. eran descartadas y se volvían a leer los tres hilos.

Los errores de cierre de los tres itinerarios altimétricos entraron en tolerancia. (ver anexo 3). A lo largo del recorrido se establecieron puntos de paso materializados por clavos en postes de alambrado aproximadamente cada 500 mts., los cuales cumplirían una doble función:

- Como puntos de partida por posibles inconvenientes y para retomar el itinerario al día siguiente.
- Como posibles puntos para la determinación de la diferencia geoide – elipsoide a tener en cuenta para la realización del MDG.

-Relevamiento GPS sobre los puntos de nivelación

Para la creación del MDG se realizaron observaciones sobre siete puntos de nivelación elegidos previamente, dos de ellos PF 455 y PF 457 pertenecientes a la red de alta precisión N43 del I.G.M. y los cinco restantes, PN 1 a PN 5, obtenidos mediante traslado de cota desde PF 455.

Los puntos PN 1, PN 2, PN 3, PN 4 y PN 5 fueron vinculados por doble estación a los puntos PF 1, ... PF 5 respectivamente, estos últimos materializan la línea de nivelación realizada para el traslado de cota. La materialización de estos puntos se efectuó mediante clavos en postes de luz, lo que hacía imposible la colocación de un trípode encima de ellos, por esto es que la determinación de la altura elipsoidal se realizó sobre los PN previamente vinculados y no sobre los PF.

Lo mismo ocurrió con los puntos del I.G.M. PF 455 y PF 457 que se hallaban debajo de los puentes lo que hacía imposible la medición con GPS en ese lugar, por lo que se trasladó su cota por doble estación y se los nombró RODR al que se halla en el arroyo Rodríguez (PF455) y CARN al que se halla en el arroyo Carnaval (PF 457).

El levantamiento se realizó mediante la técnica estático rápida con observaciones de 30 minutos sobre cada punto y un intervalo de observación de 10 segundos. En todos los casos la antena fue colocada sobre un trípode y centrada sobre la estaca que materializaba a dicho punto.

El receptor base fue colocado en el patio de una casa (la misma casa donde fue colocado CB1) quedando su antena ubicada sobre un trípode cuya centración se efectuó sobre el punto denominado PATIO materializado por una estaca de madera. Esta estación base sería posteriormente vinculada (en la etapa del procesamiento) a la estación fija LPGS que fue el punto de referencia de todo nuestro trabajo.

Cabe aclarar que todas las alturas de antena fueron medidas en forma inclinada mediante una regla de doble lectura (metros y pies) y posteriormente reducidas en el procesamiento.

❖ Tarea de Gabinete

• Procesamiento de datos GPS

El procesamiento de los datos observados es quizás la etapa más compleja de cualquier medición realizada con GPS. En este momento se torna indispensable tener una idea clara del tema y conocer conceptualmente como funciona la técnica ya que es aquí donde se definen parámetros que influirán directamente sobre los resultados. Se puede citar como ejemplo la correcta determinación de las coordenadas de partida que, aunque parezca obvio y muy básico, si no se tiene en cuenta en que sistema o marco de referencia se está trabajando, pueden cometerse errores groseros de magnitud considerable. Luego, una vez efectuado el procesamiento se debe estar capacitado también para realizar un correcto análisis del mismo y así poder interpretar si los resultados son aceptables y acordes al objetivo prefijado. Además de estos factores que son muy conceptuales, el operador deberá tener en cuenta otros mucho más específicos que se expondrán mas adelante.

Con esto se concluye que un procesamiento de datos GPS no debe ser realizado en forma mecánica sino de manera criteriosa y del cual se debe efectuar un detallado análisis posterior.

Como ya sabemos existen distintas técnicas para realizar las observaciones GPS lo cual trae aparejado de que varíen sus formas de procesamiento. Concretamente en nuestro trabajo hemos utilizado todas las técnicas observacionales (Estático, Estático-Rápido y Cinemático) por lo cual se describirá luego en que forma fue procesada cada una de ellas.

Se explicarán las etapas del procesamiento en concordancia con la estructura adoptada para describir el relevamiento. Es decir, procesamiento de datos observados para la creación del MDE y procesamiento de datos observados para la creación del MDG.

Antes de describir a cada una de ellas se enunciarán los procedimientos previos y comunes a todas.

Bajada de datos

Al terminar cada día de relevamiento, se procedía a realizar la bajada de los datos, la que se efectuó en todos los casos de la misma manera. Primero se generaba un directorio en la computadora al que se le asignaba como nombre el día de observación, se ejecutaba luego el módulo de bajada de datos **GPLoad** del programa de procesamiento **GPSurvey 2.35** el cuál permite comunicarse con el receptor y mirar los archivos que posee para, luego de seleccionar los que fueran de interés, con el comando transferir copiar los mismos al directorio generado anteriormente. Esta operación se realizaba sin importar la técnica observacional empleada, ya que la bajada de un archivo de observación estático, estático-rápido o cinemático no posee diferencia alguna.

Creación de un proyecto y carga de datos al programa

El programa utilizado para el procesamiento de todos los datos observacionales fue (como se acaba de mencionar) el GPSurvey 2.35 que, como la mayoría de los programas actuales, divide los distintos trabajos en proyectos, motivo por el cual lo primero que se debe hacer es crear uno. Como el trabajo total es de cierta envergadura, se decidió generar un proyecto por cada día de observación, asignándole como nombre el día de trabajo, por ejemplo **000615**, ya que manejar un solo proyecto con todos los datos que conformarían el MDE se tornaría muy lento.

Una vez creado, se procedía a cargar en él los archivos correspondientes al mismo, que se encontraban guardados en el directorio antes generado. Esta carga se realizaba en forma interactiva, lo cual significaba poder cotejar que los atributos de cada archivo sean los correctos. Cuando se habla de atributos se hace referencia al nombre de los puntos, el tipo de antena, su altura y la forma en que se midió, los cuales habían sido documentados en el momento del relevamiento sobre las planillas correspondientes.

Este contraste es realmente muy útil ya que se reducen las posibilidades de ingresar mal la altura de antena de algún punto, que es una de las principales fuentes de error en las mediciones efectuadas con GPS.

Cuando se finalizó con la carga de datos al proyecto se procedía al procesamiento de todas las observaciones realizadas ese día. Como ya se mencionó se dividirá el procesamiento en:

Procesamiento de los datos obtenidos para la creación del MDE

Procesamiento de los datos obtenidos para la creación del MDG

Procesamiento para la creación del MDE

Si se recuerda en que consiste el relevamiento, se entenderá fácilmente que por proyecto se tendrán como mínimo tres archivos para procesar. Uno correspondiente al receptor ubicado en la estación fija LPGS, otro que contiene los datos observados sobre el punto CB1 y el último perteneciente al receptor que actuaría de “rover” que cuenta con las observaciones en modalidad Stop&Go. Se habla de “como mínimo tres archivos” ya que se dio el caso en el que este último receptor fue apagado en el transcurso de la sesión, motivo que se traduce en la generación de un nuevo archivo al ser prendido nuevamente.

Como se dijo anteriormente CB1 debió ser vinculado cada día de relevamiento a la estación fija LPGS. Esto llevó a que como primera medida se debiera procesar la base LPGS-CB1 para cada proyecto en cuestión. De esta manera se obtendría las coordenadas de CB1 que permitirían vincular el relevamiento Stop&Go.

Procesamiento estático del vector LPGS-CB1

Este vector se midió en cada ocasión en forma estática y con un tiempo de observación que iba desde las 4 hasta las 9 horas que, como ya se dijo, es por demás suficiente para resolver una base de 11 kilómetros con receptores capaces de captar ambas frecuencias L1 y L2 con sus longitudes de onda completas. Hubo dos excepciones con tiempos de observación de 2 Hs. 30 min. los días 15/6/99 y 16/6/99, donde igualmente se obtuvieron buenos resultados.

Se utilizaron como coordenadas de partida las de la estación fija LPGS que figuran en la Publicación de la Red Geodésica de la Provincia de Buenos Aires, la cual se halla vinculada a la Red Nacional POSGAR 94' (materialización del sistema WGS84 en nuestro país).

Las características técnicas más salientes del procesamiento fueron las siguientes:

- Se utilizaron efemérides transmitidas ya que la longitud del vector no justificaba el empleo de efemérides precisas.
- Se utilizó como ángulo de máscara 15° , lo que significa que las observaciones con satélites con un ángulo de elevación sobre el horizonte menor que éste no se tuvieron en cuenta.
- El retardo troposférico fue considerado a partir del modelo de Hopfield con parámetros meteorológicos regionales.

- La solución final adoptada fue la del observable libre de ionosfera (Iono free) que es una combinación lineal de las portadoras L1 y L2. Si bien este observable es más ruidoso que el L1, es recomendable su utilización para vectores de más de 5 kilómetros de longitud según el manual del software GPSurvey.

Habiendo dado los datos técnicos generales más importantes, se describirá a continuación como fue el procedimiento seguido para el procesamiento del vector en los distintos proyectos.

En primer lugar se procesaron, mediante el módulo llamado **Wave** (Weighted Ambiguity Vector Estimator) del GPSurvey, las observaciones con el tiempo común total que poseían las estaciones. Luego, se analizaban los resultados (ver análisis de resultados) para posteriormente reprocesar la misma base con la intención de mejorar la solución obtenida. Este primer reprocesamiento consistía en procesar nuevamente la base luego de haber eliminado los satélites que de acuerdo al análisis parecían perjudiciales. Por más que no fuera posible mejorar de esta manera la solución se guardaban los dos resultados obtenidos. Acto seguido, siempre con el objetivo de mejorar la solución, se consultaba el módulo **Quick Plan** del citado programa que brinda información respecto a la geometría satelital en un determinado día y horario. Con el auxilio de éste, se elegía en el intervalo común de observación de ambas estaciones, la hora con mejor PDOP y se procesaba en el módulo **Wave**. Nuevamente aquí, luego del análisis antes enunciado se reprocesaba la base de la manera descripta, se grababan ambas soluciones y se adjuntaban a las anteriores para poder luego efectuar un análisis comparativo. Cabe aclarar que en cada uno de los cuatro procesamientos efectuados se observó y tomó nota de las componentes del vector resultante; en las cuales no se detectó una variación superior al centímetro. Esto último demuestra que todas las soluciones eran realmente muy estables.

Procesamiento cinemático para la obtención de los puntos generadores del modelo.

Se describirá aquí el procesamiento de más de 500 puntos Stop&Go y las respectivas trayectorias entre ellos. Una descripción detallada vector a vector, sería un poco tediosa por lo cual se decidió dar una descripción general respecto a este tipo de procesamiento contando algunas particularidades interesantes que valen la pena resaltar.

Como ya se tenía solucionado el vector LPGS-CB1 en cada proyecto (cada día) y el mismo poseía cuatro soluciones por cada uno, se elegía la mejor de ellas para vincular así de la mejor manera posible los puntos Stop&Go correspondientes al día en cuestión. En otras palabras, en cada proyecto se utilizaba como coordenada

de partida (CB1) para procesar los datos Stop&Go, la que se desprendía de la mejor solución del vector LPGS-CB1.

Las características técnicas más salientes empleadas en el procesamiento fueron:

- La inicialización de cada segmento a procesar se realizó “on the fly” (OTF). Esto fue posible gracias a las cualidades técnicas de los receptores.
- Se utilizaron efemérides transmitidas ya que en este modo observacional (cinemático) no se justifica el uso de efemérides precisas.
- Se utilizó un ángulo de máscara de 15°
- El retardo troposférico fue considerado a partir del modelo de Hopfield con parámetros meteorológicos regionales.
- La solución final adoptada fue la del observable **L1(doble diferencia)** para las bases de menos de 5 Km y la del observable libre de efecto ionosférico (**Iono free**) para los vectores de más de 5 Km (según recomendación del manual del Software).

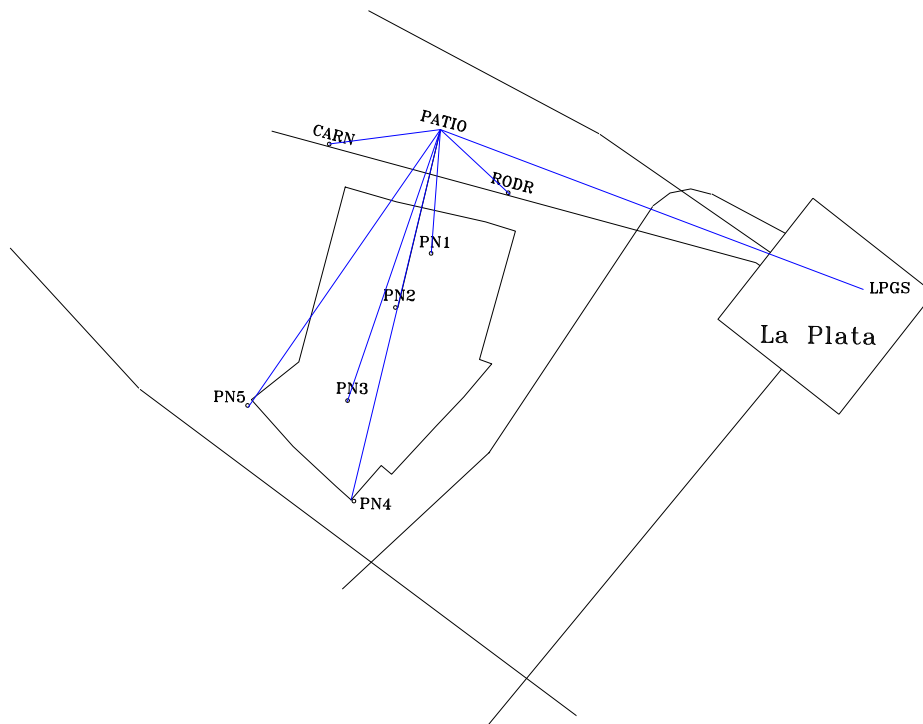
El procesamiento de datos observados en forma cinemática tiene la particularidad de ser realizado por segmentos. Un segmento hace referencia a una cierta cantidad de tiempo de observación de cuatro o más satélites en forma continua. Otro detalle de importancia que debe tenerse en cuenta, es que en ése segmento puede o no haber puntos stop&go.

Teniendo en cuenta esto, se procesaba segmento por segmento obteniendo como resultado la solución de todos los vectores, determinantes de los puntos Stop&Go y de trayectoria. Aunque vale la pena aclarar que el soft solo permite analizar de manera individual, a los vectores Stop&Go (Ver análisis de los resultados). Luego de ensayar este análisis, en los casos que se creía necesario, se procedía a reprocesar el vector. El problema que surge en esta etapa, es que para reprocesar un vector Stop&Go determinado, hay que reprocesar todo el segmento en el que se encuentra este vector. Si se recuerda que en un segmento pueden existir más de un vector Stop&Go, se entenderá que reprocesar el mismo con la intención de mejorar un vector determinado, puede perjudicar a otro. Por este motivo tuvo que estudiarse este tema con muchísimo cuidado.

Los problemas más comunes que se detectaron en esta etapa, fueron los causados por el efecto **Multipath** ya que no siempre fue posible que un punto característico se encontrara en un sitio despejado, debido a la alta densidad de forestación que posee el lugar. Una manera de detectar este error es mediante los residuos de cada satélite que, aunque no siempre se evidencie claramente, es la única herramienta que el encargado del procesamiento posee para detectarlo.

Procesamiento de los datos observados para la creación del MDG

Como se mencionó en el momento oportuno, se aplicó el método estático rápido para obtener los datos que conformarían el Modelo Digital del Geoide. Para la ejecución del mismo se utilizó como “base” del método al receptor estacionado sobre el punto denominado PATIO (ubicado en el patio de una casa cercana a la zona) que a su vez sería vinculado (mediante el modo estático) a la estación fija LPGS quedando así determinado además de este vector LPGS-PATIO, los conformados por los puntos generadores del modelo CARN-RODR-PN1-PN2-PN3-PN4 y PN5.



Las características del procesamiento de la base LPGS-PATIO son las mismas que las descritas para LPGS-CB1, razón por la cual no se describirá el procesamiento de esta base apuntando nuestro relato al de los cinco vectores observados en modo estático-rápido.

Los parámetros utilizados para este último fueron:

- Se utilizaron efemérides transmitidas ya que la longitud de los vectores no justificaba el uso de precisas
- El ángulo de máscara utilizado fue de 15°
- El retardo troposférico fue considerado a partir del modelo de Hopfield con parámetros meteorológicos regionales.
- La solución final adoptada fue la del observable L1(doble diferencia) para

los vectores de menos de 5 Km y la del observable libre de efecto ionosférico (doble diferencia) para los vectores de más de 5 Km.

Cada uno de los vectores fue procesado y analizado en forma individual, para luego reprocesarlo en busca de mejorar su solución.

Análisis de las soluciones

El programa de procesamiento **Wave**, posee distintos indicadores que sirven para analizar la calidad de los resultados obtenidos. Estos se detallarán a continuación explicando como funcionan.

Ratio: Cuando el programa elige un juego de ambigüedades enteras para la resolución de un vector, lo hace de entre varias soluciones posibles que tiene. Concretamente el soft realiza todas las posibles combinaciones y observa cuan bien ajustan estadísticamente a las mediciones realizadas por el receptor cada una de ellas. Luego de probar todas las posibilidades el programa realiza un cociente entre las varianzas de los dos juegos que mejor se ajustan a las mediciones. Este cociente llamado **ratio** esta definido por la razón entre la varianza del segundo mejor y la del mejor juego de ambigüedades.

Por defecto el programa exige que esta razón sea mayor que 1.5 para que una solución sea considerada fija. Esta magnitud puede ser modificada por el usuario pero en este trabajo fue aceptada la que aparece por defecto.

Reference Variance: este indicador, representa el error medio cuadrático de la unidad de peso de las observaciones. Es un número adimensional, que tiene un valor teórico igual a uno si los errores asumidos a priori para las observaciones fueron correctamente estimados.

Es importante entender que el reference variance es altamente dependiente de la cantidad de datos disponibles, el tiempo de observación, el número de satélites etc. Esto provoca que exista una diferencia notable entre los valores de reference variance de los vectores observados en forma estática y los valores de los observados en forma cinemática; hasta incluso también con el de los vectores estático rápido.

El valor ideal para este estimador es uno, pero para los procesamientos cinemáticos puede ser considerablemente mayor (cinco o seis) sin que esto signifique que la solución sea mala.

Si el reference variance supera ampliamente estos valores puede deberse a las siguientes causas:

- Datos ruidosos causados por obstrucciones (árboles) o satélites cercanos al horizonte.
- Multipath
- Incorrecta fijación de ambigüedades

Los residuos de cada satélite:

Los residuos de las ecuaciones de observación en dobles diferencias de cada satélite son graficadas separadamente. Este es un elemento determinante para detectar la ocurrencia de efecto Multipath y decidir las eventuales exclusiones de satélites en un procesamiento posterior

El error medio cuadrático de una observación típica (rms):

Este error es función de la suma de los cuadrados de todos los residuos del observable considerado, para cada satélite y cada época de observación. Es por lo tanto un estimador de los errores observacionales.

Errores formales en cada componente del vector:

Estos en cambio, están en función de la geometría de los satélites con el vector, (matriz Varianza-Covarianza) y el error medio cuadrático de una observación típica. Son estimadores de acuerdo interno de las observaciones. Es condición necesaria pero no suficiente, que estos errores sean pequeños (del orden del centímetro).

Todos estos indicadores son los que el encargado de un procesamiento, observa y anota para comparar los resultados con los de una solución posterior.

Hay distintas pruebas que pueden hacerse para mejorar una solución; entre las más comunes se pueden citar la exclusión de algún satélite y la reducción del intervalo de observación. Existen otras más avanzadas que por lo general se utilizan para bases largas y mucho tiempo de observación. En este trabajo se aplicaron las primeras ya que todas las bases existentes son relativamente cortas.

Los resultados impresos de cada uno de los procesamientos relatados páginas atrás, se encontrarán en el anexo “salidas de procesamiento”.

Tipos de soluciones y procesamiento

El módulo Wave, con el objeto de resolver una base, progresa de forma secuencial basándose en el tipo de observable que posee y seteo estipulado.

En un procesamiento típico, la secuencia comienza con la obtención de una solución de código le sigue una de triples diferencias para finalmente pasar a las dobles. Los que poseen datos de receptores “doble frecuencia” trabajan con diferentes combinaciones de observables para obtener soluciones óptimas. Entre estas, se pueden citar por ejemplo a las combinaciones “banda ancha” y “banda angosta”. La primera brinda soluciones basadas en el observable **L1-L2** el cual produce una longitud de onda efectiva de 86cm.

Esta longitud facilita la resolución de ambigüedades pero, debido a que es superior a las de las portadoras, empeora la precisión final.

Una alternativa existente para solucionar esto, es la combinación “banda angosta” que deriva de **L1+L2** con una longitud de onda efectiva de 11cm. esto provoca que las soluciones obtenidas con ella sean mucho más precisas aunque se corre el riesgo de fijar ambigüedades de forma errónea. Otra combinación importante es la “libre de efecto ionosférico” que también utiliza a las dos portadoras L1 y L2 para crear un algoritmo capaz de modelar y remover el efecto causado en ellas por la ionosfera.

En todos estos casos en los que se cuenta con ambas portadoras, el módulo de procesamiento antes citado, estima primero las ambigüedades enteras de la banda ancha, para luego determinar las de la banda angosta. Si pudo fijar estas, podrá fácilmente obtener las ambigüedades fijas del observable “libre de efecto ionosférico” ya que posee una longitud de onda similar a la banda angosta. Caso contrario, si no pudo fijar la ambigüedades de la banda angosta, tampoco lo podrá hacer con el observable “Iono free”.

Tipo de soluciones y características de las mismas

Iono free fixed: Este es el observable “libre de efecto ionosférico” con ambigüedades enteras. Es la solución óptima para la mayoría de los casos ya que además de carecer del efecto ionosférico, posee sus ambigüedades fijas lo que determina muy buenos resultados.

Wide Lane Fixed: Este es el observable “banda ancha” con ambigüedades fijas. Esta solución es generalmente mas ruidosa que la Iono free, por eso no es recomendable su utilización en bases cortas. Esta solución puede ser seleccionada en redes en la cuales se tiene un control de cierre y la longitud de sus bases es considerable (15 a 30 Km).

Iono free float: Las soluciones flotantes en bases cortas e intermedias suelen no ser muy buenas. Una solución Iono free float en bases mayores a los 30 Km puede ser aceptable, no obstante es recomendable su verificación. En cambio en bases muy

largas y con mucho tiempo de observación puede llegar a ser la mejor solución.

Para bases cortas de pocos kilómetros (menos que 5) se debe seleccionar como solución final la de la portadora L1 (Doble diferencia). Esta solución es generada con el auxilio de las ambigüedades obtenidas a partir de las combinaciones “banda ancha” y “banda angosta” en estos casos que se cuenta con ambas portadoras.

• **Depuración de puntos para el cálculo del MDE**

Una vez finalizada la etapa de procesamiento de los vectores tanto stop&go como cinemáticos y realizada la transformación planimétrica (ver anexo 4) de los puntos de cada proyecto, se procedió a realizar la selección y depuración de los que no se incluirían luego en el cálculo del modelo.

Lo primero que se hizo fue crear un archivo de texto con la totalidad de los puntos (stop&go y de trayectoria) para así poder eliminar aquellos que carecían de importancia. entre ellos se encontraban los que habían sido descartados en el momento de la medición por distintos motivos (obstrucciones, movimientos de la antena, etc.) y los que habían sido remedidos por haber acusado malos parámetros de calidad. Cabe aclarar que se adoptó como límite tolerable para no tener que relevar nuevamente un punto, un error de 0.04m en la componente **dh** (existieron 10 puntos que no se pudo obviar su re-medición) . Con los puntos que quedaban, se generó un archivo de dibujo (DXF) que luego se visualizaba con el programa Autocad 14 obteniendo de esta manera una nube de puntos con la posición planimétrica de los mismos. De acuerdo al criterio que se había adoptado respecto a la densidad de puntos característicos tomados, los resultados fueron satisfactorios, debiendo orientarse la depuración hacia los puntos cinemáticos, que se hallaban muy próximos unos de otros. Esto debido a que la repetición del recorrido de calles, acarrió una distribución indeseada de estos puntos. En este sentido, el análisis visual efectuado fue de gran utilidad. De esta depuración surgió que la cantidad final de puntos con la que se contaría para la creación del modelo era de 488.

• **Compensación de las líneas de nivelación**

Habiendo comprobado que las líneas de nivelación geométricas PF455-PFCRUCÉ, PFCRUCÉ-PF4 Y PFCRUCÉ-PF5 cerraban por debajo de la tolerancia preestablecida, se procedió a realizar la compensación de las mismas. Las

cotas de los puntos fueron compensadas teniendo en cuenta el promedio de los desniveles y errores de cierre parciales para cada tramo.

Designemos por Z^A_B el desnivel en la primer lectura y Z'^A_B el desnivel en la segunda de un mismo tramo; luego:

$$Z^A_B = Lat_1 - Lad_1$$

$$Z'^A_B = Lat'_1 - Lad'_1$$

con:

Lat = Lectura atrás

Lad = Lectura adelante

el error parcial de cierre es:

$$\epsilon_1 = Z^A_B - Z'^A_B$$

Tomando como método de compensación el promedio de los desniveles hallados, obtendremos resultados ligeramente discordantes con los que se hubieran obtenido de compensar el error de cierre en el itinerario considerado en conjunto, ya que al repartirle, en este caso, a partes iguales diferirán los resultados de los promedios de cada tramo. En cambio, el desnivel obtenido para el punto de llegada será el mismo en uno y otro caso. El desnivel compensado será:

$$[Z^A_B] = (Z^A_B + Z'^A_B)/2 = (Z^A_B + Z^A_B - \epsilon_1)/2 = Z^A_B - \epsilon_1/2$$

considerando ahora otro tramo:

$$[Z^B_C] = (Z^B_C + Z'^B_C)/2 = (Z^B_C + Z^B_C - \epsilon_2)/2 = Z^B_C - \epsilon_2/2$$

y tomando ahora el tramo A-D (tramo total) tenemos:

$$[Z^A_D] = Z^A_D - \sum \epsilon / 2$$

o sea que el desnivel hallado por éste método equivale a corregir el de la primera o segunda nivelación en la mitad del error de cierre total.

Lo mismo ocurrirá por el método ordinario, ya que al repartir el error total entre los ejes a partes iguales y tener el mismo número en la ida y el regreso, la corrección será la mitad del error total de cierre, igual que en el caso anterior.

- **Elaboración de los Modelos Digitales**

Históricamente los modelos digitales de elevaciones se han dividido básicamente en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos: **vectorial** y **raster**.

Los modelos vectoriales están basados en entidades (puntos y líneas) definidos por sus coordenadas. La estructura de datos más utilizada es la que se compone de triángulos irregulares denominada TIN (Triangulated Irregular Network).

Los modelos raster proponen métodos de análisis topográficos basados en matrices regulares. Esta estructura es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda (aunque habitualmente se utiliza un valor puntual, asociado a cada nodo de la retícula o punto medio de la celda). A éstos últimos se le prestarán más atención ya que el soft utilizado (Surfer 7.0) utiliza como representación de los datos la matricial o raster.

Clasificación de los métodos

Métodos de interpolación exactos y suavizados

La distinción entre ellos reside en si el resultado de la interpolación reproduce exactamente los valores en los puntos muestrales o lo hace solo de manera aproximada. Esto es necesario tenerlo en cuenta ya que la interpolación afecta también a los propios valores muestrales cuya altura se recalcula en el mismo proceso.

Supongamos que un punto muestral coincide exactamente con un nodo grilla. Si el proceso de interpolación se está llevando a cabo mediante un método exacto, a ese nodo grilla se le asignará el valor del punto muestral, en cambio en el caso de estar utilizando el método suavizado el valor asignado al nodo no será exactamente el del punto muestral.

Métodos de interpolación directos y analíticos

Esta clasificación se deriva del mecanismo matemático de interpolación. Algunos métodos formulan suposiciones generales y habitualmente no contrastadas sobre el carácter general de la superficie a interpolar y en función de ellas establecen la función matemática de interpolación (métodos directos). Por el contrario, otro grupo de métodos estudia el carácter de la autocorrelación espacial de la variable a interpolar, usando para ello los puntos muestrales. Con esto generan en la fase de

cálculo una función de interpolación que tiene en cuenta el grado de autocorrelación existente en esa variable (métodos analíticos).

Antes de introducirnos en la explicación de cada uno de los métodos de interpolación, se darán unas definiciones que serán de gran importancia.

Línea de falla

Es una línea de dos dimensiones que actúa como barrera cuando se realiza el proceso de interpolación (grillado).

Al realizarse el grillado, los puntos muestrales que están a un lado de la línea de falla no son utilizados para calcular los nodos de las celdas que se encuentran al otro lado de la línea. En el caso de que la línea de falla sea un polígono cerrado el algoritmo de grillado utilizará únicamente los puntos que se encuentran dentro o fuera del mismo para confeccionar la grilla.

Línea de quiebre o rotura

Es una línea tridimensional, es decir que está definida por las tres coordenadas de cada vértice que la conforma.

Esta línea queda de forma tal que si quisiéramos conocer la cota de un punto que se encuentre entre dos vértices de la misma, estaría dado por la interpolación lineal de los valores de cota de los vértices. A su vez cuando se realiza el grillado, la línea será utilizada como si todos los puntos intermedios entre vértices fuesen puntos muestrales.

Las aplicaciones más comunes que se les da a las líneas de quiebre es para la definición de arroyos, colinas, y cualquier tipo de dorsal o colectora bien definida. Estas líneas, a diferencia de las de falla, no actúan como barrera, es decir que el punto muestral que se halla a un lado de ella puede ser utilizado para el cálculo de los nodos de las celdas que se hallan al otro lado.

En particular, el soft **Surfer 7.0** posee 9 métodos diferentes de interpolación que se denominan:

- Inverse Distance to a Power
- Kriging
- Minimum Curvature
- Nearest Neighbor
- Radial Basis Function
- Modified Shepard Method
- Natural Neighbor

- Polinomial Regression
- Triangulation with Linear Interpolation

De éstos nueve métodos sólo los cinco primeros tienen la posibilidad de utilizar las líneas de falla y quiebre en los cálculos de interpolación, siendo éstos los que serán tratados, ya que el área a representar es atravesada por dos arroyos y sus respectivas colectoras que requieren del uso de esta herramienta.

Se explicarán a continuación cada uno de los métodos detallando sus características particulares y separándolos en las categorías (exactos, suavizados, directos y analíticos) anteriormente descriptas.

Inverse Distance to a Power

En este método directo se presupone que los puntos muestrales más próximos al punto calculado o interpolado son los que tienen alturas más parecidas y, además, que esta semejanza disminuye con el aumento de la distancia (entre punto muestral y punto calculado).

Por lo tanto, se trata de seleccionar en torno a cada punto una serie de puntos muestrales y realizar la media aritmética de sus alturas, ponderando sus valores por un factor que es inversamente proporcional a la distancia entre el punto muestral y el punto a calcular.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad \text{donde } h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta_{ij}^2}$$

h_{ij} = separación entre el punto muestral i y el nodo a calcular j (modificado por el factor de suavizado δ).

Z_j = valor del nodo de celda que se desea calcular.

Z_i = valores de los puntos muestrales.

d_{ij} = distancia entre el punto muestral i y el nodo a calcular j

β = Parámetro de poder.

δ = Parámetro de suavizado.

El parámetro de poder β es el exponente que afecta a la distancia y tiene el efecto de disminuir, al hacerse más grande, la influencia que en el cálculo de la altura interpolada ejercen los puntos muestrales más alejados del nodo a calcular. El parámetro de suavizado δ sirve para atenuar la influencia de los puntos muestrales cercanos al nodo a calcular.

Es un método de interpolación exacto si se utiliza como parámetro de suavizado $\delta = 0$, caso contrario debe considerarse como un método suavizado.

Nearest Neighbor

Se lo conoce también con el nombre de polígonos de Thiessen. En este método directo la suposición subyacente que se emplea para establecer la función de interpolación, consiste en admitir que cada punto no muestral se parece, más que a ningún otro, al punto muestral más próximo. De este modo la forma de interpolar consiste en asignar a cada punto el valor de altura del punto muestral que está más próximo a él.

Es un método de interpolación exacto pero de poca aplicación para la topografía, ya que para obtener buenos resultados, se debería contar con puntos muestrales muy poco espaciados.

Kriging

Es un método de interpolación exacto así como el más importante y utilizado de los métodos de análisis (analíticos) previo a la autocorrelación espacial de la variable a interpolar. El análisis de la autocorrelación en éste método se basa en el variograma como instrumento de representación esquemática de la variabilidad espacial.

La interpolación espacial es óptima estadísticamente, por lo que se comprueba:

$$\sum_i (Z'_i - Z_i) = 0$$

Lo que implica que la media de las diferencias entre los valores obtenidos por Kriging (Z'_i) y los valores muestrales (Z_i) es cero. Por otro lado tenemos:

$$\frac{\sum_i (Z'_i - Z_i)^2}{n} = \text{mínima}$$

lo cual significa que la varianza de estas diferencias es la mínima posible

Los valores interpolados se obtienen mediante una combinación lineal ponderada de los valores (Z) de los puntos muestrales proveniente del análisis de un variograma.

El variograma es un gráfico de dispersión que relaciona dos conceptos: en el eje X, la distancia (d) entre puntos muestrales y en el eje Y una medida de la variabilidad $\gamma(d)$ de la altura Z .

Una vez hallado este variograma empírico, se calcula una función que ajusta de modo adecuado al mismo. Para esto se puede utilizar una función (lineal, logarítmica, esférica, cuadrática, etc.). con este variograma teórico se pueden calcular las ponderaciones W_{ij} quedando:

$$Z_x = \sum_j W_{xj} \cdot Z_j$$

W_{ix} = matriz de los pesos

Z_j = valor de altura del punto muestral

Radial Basis Function

Es un método de interpolación exacto y, como el anterior, tiene en cuenta la autocorrelación de la variable a interpolar utilizando un análisis de superficie de tendencia. En este caso, se ajusta a la variable Z una ecuación de regresión cuyas componentes X,Y se hallan referidas a los puntos muestrales. Esta ecuación puede ser cuadrática, cúbica, o logarítmica produciendo resultados muy suavizados que a veces pueden resultar poco adecuados.

Este método, posee también un factor denominado coeficiente de correlación múltiple (R^2) el cuál está relacionado con el nivel de reproducción o máximo aprovechamiento de los puntos muestrales, respetando al máximo éstos valores cuando éste factor es uno.

Minimun Curvature

Es un método de interpolación suavizado e, igual que en el caso anterior, tiene en cuenta la autocorrelación de la variable a interpolar.

La superficie generada por el mismo es análoga a un plato, ya que su curvatura es muy leve. Este método genera una grilla inicial a la cual suaviza

aplicando repetidamente una ecuación de suavizado. Cada aplicación de esta ecuación es considerada una iteración.

Se pueden definir dos parámetros para la aplicación de este método, estos son el residuo máximo aceptado y el máximo de iteraciones. El residuo máximo es la máxima diferencia obtenida entre dos iteraciones sucesivas, cuando se está por debajo de esta diferencia se considera que el método ha logrado converger; caso contrario sigue iterando hasta llegar al valor máximo de iteraciones colocado. En caso de completar el máximo de iteraciones y obtener un error máximo entre la última iteración y la penúltima mayor que el requerido, se considera que el método no converge, por lo que no se obtiene solución alguna sin poder generarse la grilla.

✓ **Elaboración del MDG**

Habiendo culminado con el procesamiento de los datos observados sobre los puntos que generarían el modelo de geoide local (CARN-RODR-PN1-PN2-PN3-PN4-PN5) y con la compensación de las líneas de nivelación que permitirían acotar dichos puntos, se procedió al cálculo del **N** correspondiente.

NOMBRE	X	Y	h	H	N
RODR	6139681.70	6404744.48	23.06	7.36	15.69
CARN	6140981.89	6400374.07	24.42	8.70	15.72
PN1	6138386.55	6402836.81	32.07	16.39	15.68
PN2	6137094.65	6401983.89	28.37	12.67	15.69
PN3	6134871.20	6400840.27	34.14	18.46	15.68
PN4	6132472.37	6400992.41	41.23	25.60	15.67
PN5	6134756.64	6398451.81	34.75	19.05	15.70

Este análisis demostró que el geoide presentaba en la zona una pequeña variación ya que el valor de **N** no permaneció constante, según lo demuestran los valores de la tabla adjunta.

Esta variación condujo a que fuera necesario la creación de un MDG (modelo de geoide) que permitiera transformar las alturas elipsóidicas obtenidas con la técnica GPS en alturas referidas al geoide, como lo son las de la red de nivelación del IGM.

Previo a esto, se vio oportuno e interesante realizar una comparación entre los resultados obtenidos (valor de **N** sobre los distintos PN) y los que expresaba el Modelo de la Provincia de Buenos Aires, efectuado por el Departamento de Astrometría de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, creado a partir de la Red Geodésica de la

Provincia de Buenos Aires, la cuál está materializada en su mayoría sobre puntos de nivelación pertenecientes a líneas efectuadas por el IGM.

De esta comparación, se desprendió que los resultados obtenidos en este trabajo coincidían notablemente con los que arrojaba el Modelo Provincial, obteniendo igualdad en el orden del centímetro.

COMPARACION ENTRE MODELOS DE GEOIDE		
PUNTO	N del Modelo Local	N del Modelo Provincial
RODR	15.69	15.69
CARN	15.72	15.72
PN1	15.68	15.70
PN2	15.69	15.69
PN3	15.68	15.69
PN4	15.67	15.68
PN5	15.70	15.71

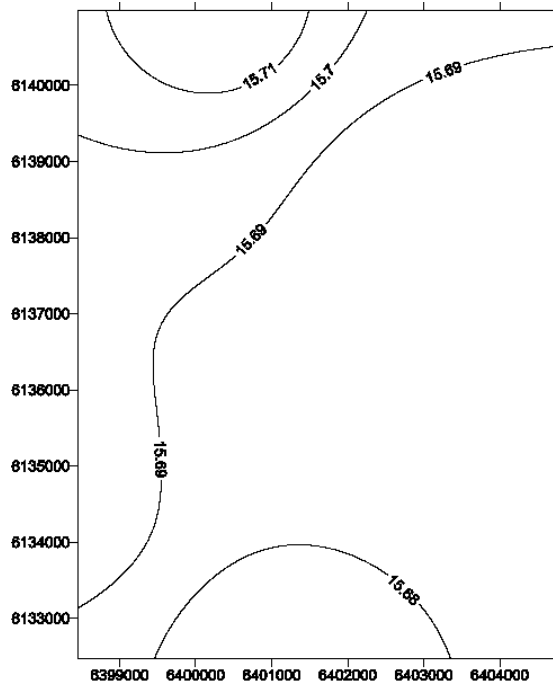
Es importante recalcar que éstos dos modelos no poseen ningún punto en común, lo que hace realmente interesante los resultados a los que se arribaron.

Una vez concluida con la comparación, se procedió a la creación propiamente dicha del MDG. Para ello fueron utilizados los siguientes métodos:

- Inverse to a Power Distance
- Kriging
- Minimum Curvature
- Radial Basis

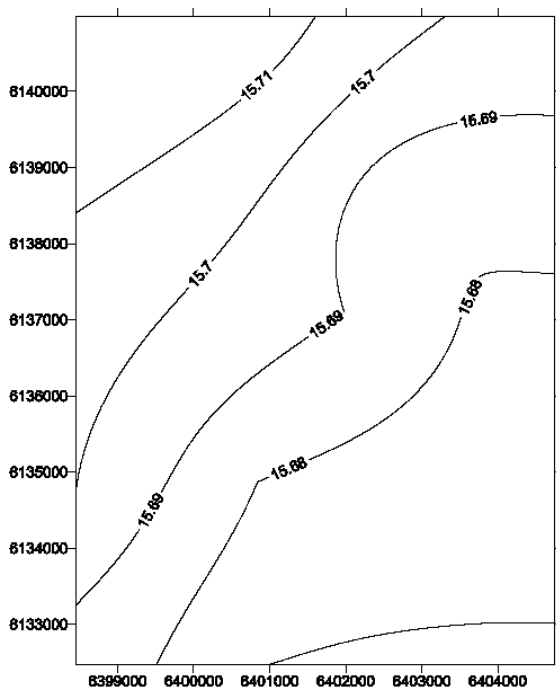
Para la aplicación de todos los métodos se adoptó un tamaño de celda de 5 metros por 5 metros.

El primer método empleado fue el denominado **Inverse Distance** con el cual se efectuaron varias pruebas para luego concluir que los mejores resultados se obtenían con un factor de poder $\beta=2$ y de suavizado $\delta=100$

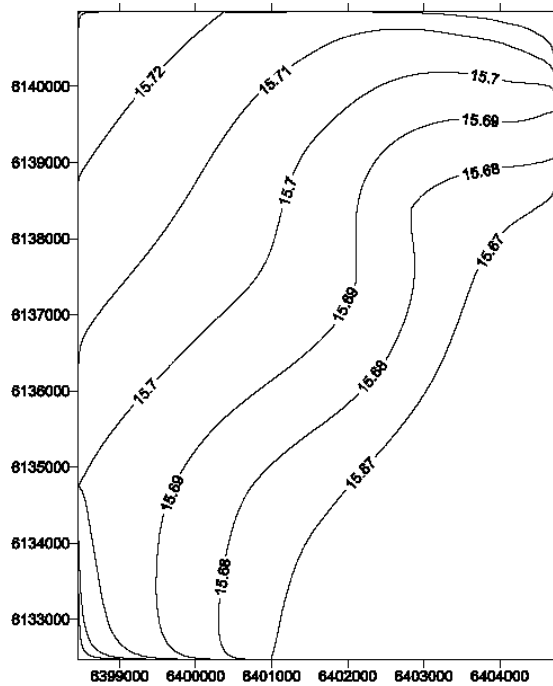


Cabe aclarar que todos estos gráficos correspondientes al MDG serán expuestos con curvas de nivel equiespaciadas cada un centímetro al solo efecto de facilitar la interpretación visual.

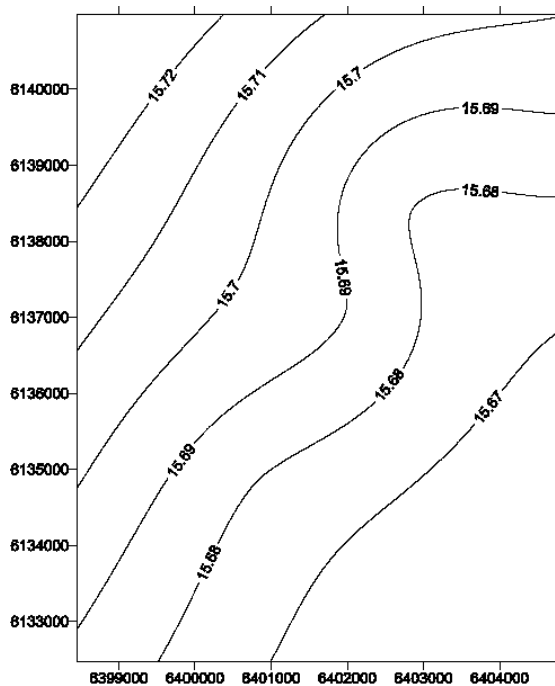
En cuanto a la aplicación del método **Kriging** se puede enunciar que se utilizaron distintos tipos de variogramas. obteniendo los mejores resultados con el lineal:



Por su parte, el **mínima Curvatura**, que permite variar el residuo máximo y la cantidad de iteraciones a efectuar para alcanzar ese residuo entre una iteración y otra, brindó los mejores resultados cuando se adoptó como máximo residuo 0.005m y 7500 iteraciones que el soft proponía por defecto.



En cuanto al **Radial Basis**, que permite utilizar varias funciones matemáticas diferentes, luego de probar con cada una de ellas, se llegó a la conclusión que los mejores resultados se obtenían con la opción Thin Plate Spline la cual se utilizó con un factor de correlación $R^2 = 1$ para que respetara lo mejor posible los datos muestrales. Los resultados fueron:



-Análisis de los resultados

En esta etapa se realizaron dos tipos de análisis; uno gráfico y otro analítico. El primero con el objeto de determinar, de que manera se ajustan las curvas de nivel, a los datos muestrales. El segundo en cambio, fue practicado mediante el auxilio de una herramienta que posee el soft, denominada “Residuals” que permite obtener la diferencia existente entre los datos muestrales y sus correspondientes valores de celda. Este último comando, permitió apreciar que todos los métodos arrojaron diferencias menores al milímetro, lo cual teniendo en cuenta que la precisión en la determinación del **N** es de $\pm 1\text{cm}$, puede considerarse nula. De esto se deduce que todos los métodos respetaron fielmente a los datos muestrales. Las planillas que expresan esta diferencias se pueden encontrar en el **anexo 5**

En lo que respecta al análisis gráfico, se puede mencionar que el mismo se efectuó como se dijo anteriormente mediante la comparación entre las curvas de nivel y los datos muestrales aplicando “manualmente” interpolación lineal en los lugares que se creían conflictivos. De estos dos tipos de análisis surgió que el método que mejor representaba los datos muestrales era el Radial Basis en el cual se había aplicado como función de interpolación la denominada Thin Plate Spline.

Cabe aclarar que virtualmente la transformación es una constante para la zona, ya que la variación de **N** es menor que la precisión buscada.

✓ Elaboración del MDE

Del mismo modo que en el caso anterior, una vez concluida la etapa del procesamiento de los datos GPS que permitieron obtener las coordenadas elipsóidicas de los puntos muestrales, y su correspondiente proyección planimétrica, se procedió a la creación del Modelo Digital de Elevaciones. Para que la variable altimétrica expresada en él, estuviera vinculada a esa superficie equipotencial denominada geoide, había que sustraerle (como se mencionó en su momento) a la altura elipsoidal h que brinda el GPS su correspondiente valor de N .

Estos valores de N en la zona estaban expresados por el modelo de geoide recientemente efectuado, por lo cual quedaba solamente por obtener una matriz cuya variable altimétrica a representar estuviera dada por la altura h que brindó el GPS. Luego mediante la ejecución de una herramienta que el soft posee, restar ambas matrices (la generada para el modelo de geoide y para el de alturas elipsoidales) y obtener el Modelo Digital de Elevaciones buscado en este trabajo.

Para realizar entonces, el modelo que expresara las alturas h , se utilizaron para el proceso de interpolación generador de la matriz, aquellos métodos que como se dijo anteriormente, permitieran aplicar el uso de líneas de falla y líneas de quiebre los cuales fueron:

- Inverse Distance
- Kriging
- Mínimum Curvature
- Radial Basis
- Nearest Neighbor

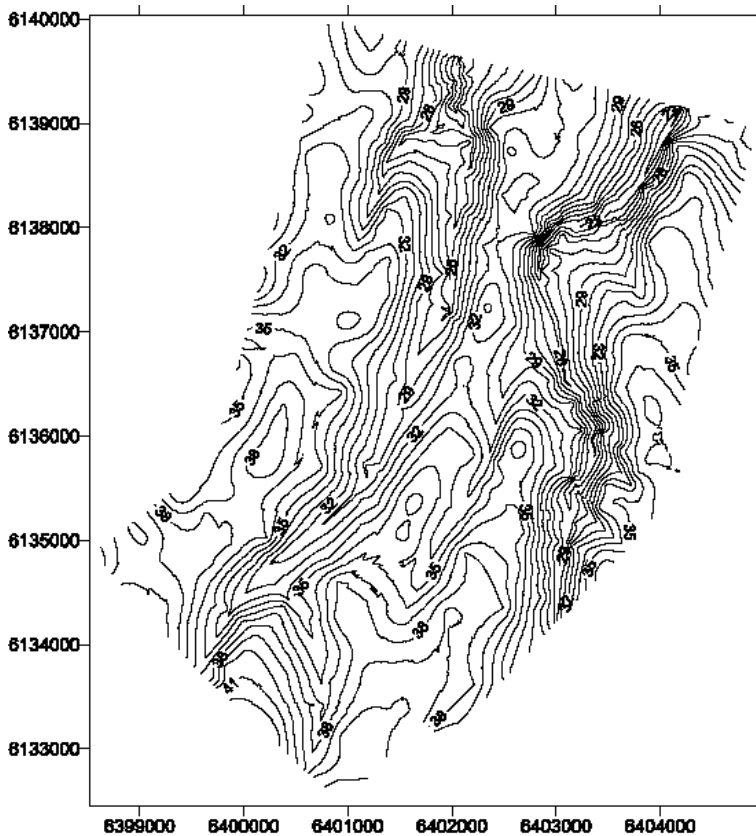
Al igual que para el MDG, en cada uno de ellos se utilizó en la grilla un tamaño de celda de 5m x 5m. En realidad cabe mencionar que es este último (MDE) el que condicionó el ancho de grilla en el MDG. Se dice esto, ya que fue ese el tamaño con el que se obtuvieron los mejores resultados de la superficie topográfica y la única manera de restar matrices, es que sean iguales.

Primeramente se probó a todos los métodos de grillado con la inclusión de líneas de falla y de quiebre simultáneamente, definidas sobre arroyos y colectoras. Los resultados obtenidos concordaron con lo anunciado por el manual del Soft el cual aludía que la utilización simultánea de ambas líneas no arrojaría resultados alentadores. Por este motivo se optó por utilizar solamente líneas de quiebre para definir a los arroyos y colectoras. Otra de las características de la interpolación que se adoptó en esta etapa para todos los métodos por igual, fue la de definir un radio de búsqueda de puntos muestrales de 600 metros de longitud. Este radio tiene la función de acotar la distancia a la cual un punto muestral es considerado para

obtener el valor altimétrico de un nodo de grilla. La magnitud del mismo fue adoptada luego de diversas pruebas que permitieron arribar a la conclusión de que ése, era el valor mas apropiado de acuerdo a la distribución de datos muestrales con la que contábamos.

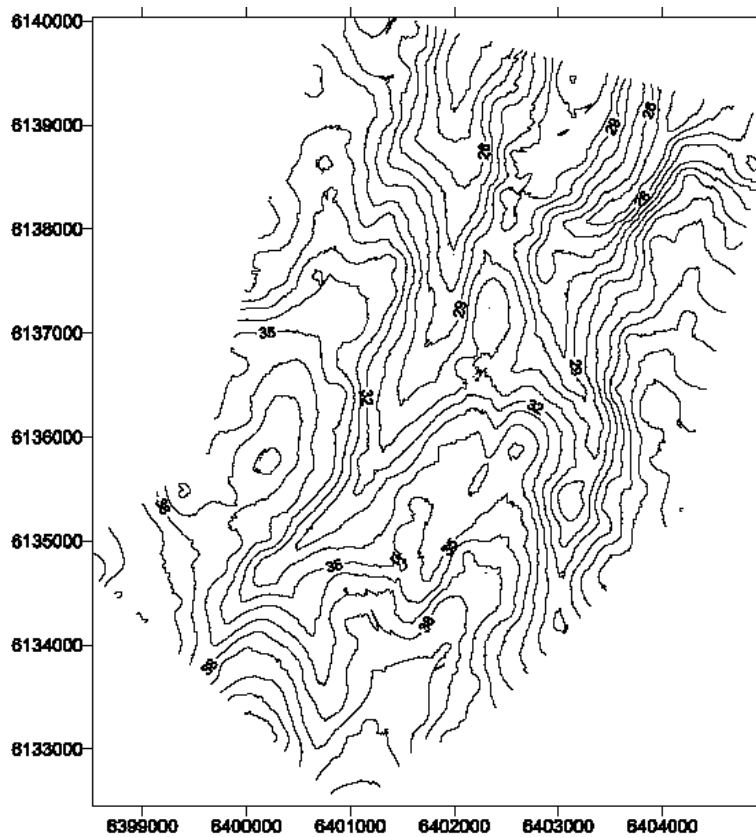
A continuación se describirá la aplicación de cada método con los parámetros o características de interpolación propias de cada uno y sus respectivos resultados.

Kriging: Este método fue utilizado con todos los variogramas que posee, obteniendo los mejores resultados con el de tipo **lineal** (que dicho sea de paso es el que propone el soft por defecto) el cual arrojó el siguiente resultado:

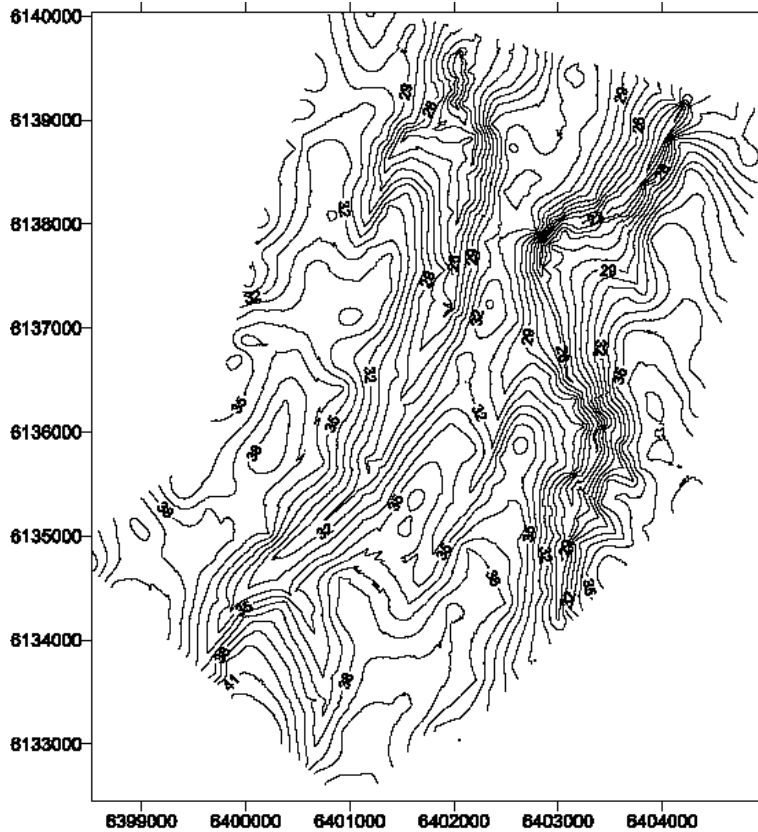


Inverse Distance: Como se mencionó anteriormente, los parámetros mas importantes que este método posee para condicionar la interpolación, son β (factor de poder) y δ (factor de suavizado). Se probaron varias combinaciones entre ellos

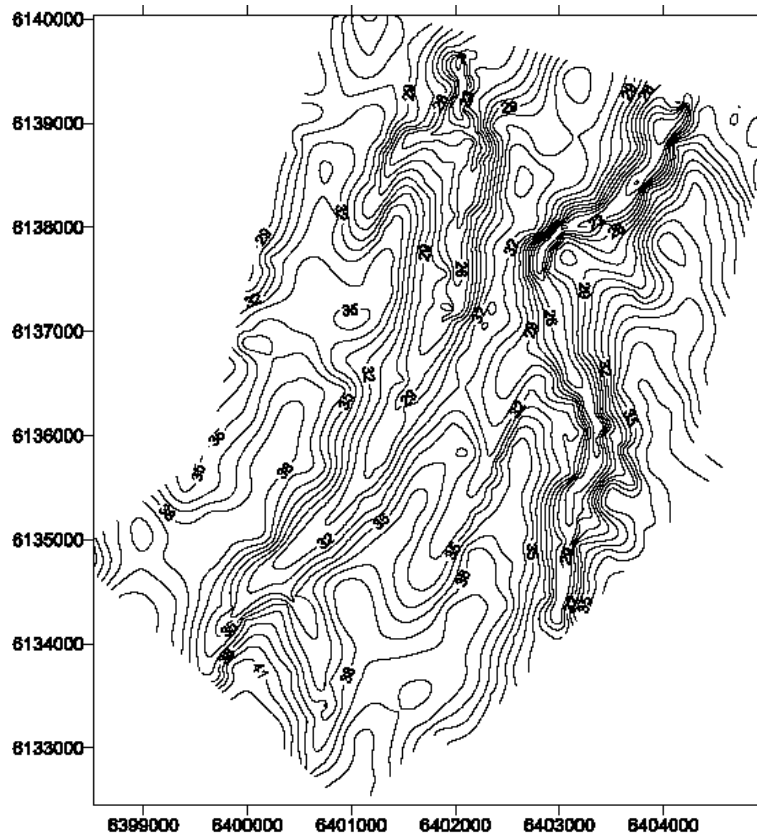
para arribar a que los mas indicados para nuestro ejemplo eran $\beta=2$ y $\delta=100$ siendo este último el máximo posible. El resultado fue el siguiente:



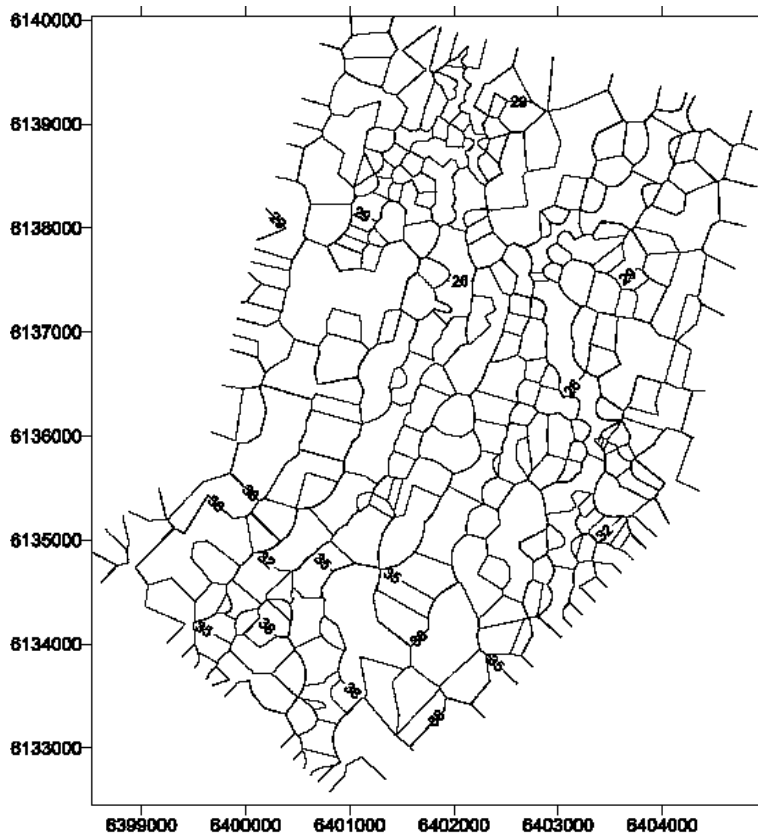
Radial Basis: Este método posee distintas funciones para realizar la interpolación siendo la que mejor resultados ofreció, la Multiquadratic con un factor de correlación $R^2=1$. El resultado estuvo dado por:



Minimum Curvature: este método posee solo dos factores para condicionar la interpolación. Ellos son, el número máximo de iteraciones y el máximo residuo entre una iteración y otra. Luego de algunas pruebas se optó por fijar un residuo máximo de 0.05 metros y las iteraciones que el soft proponía por defecto (8500). Se llegó así a:



Nearest Neighbor: Este es un método que no posee parámetros para condicionar a la interpolación, motivo por el cual no pudo realizarse distintas pruebas. El resultado fue el siguiente:



-Análisis de los resultados

En este caso, además de realizar el análisis de las dos maneras enunciadas para determinar la calidad del MDG (gráfica y analítica), se complementó el estudio con un control adicional que permitió averiguar con más exigencia que tan bien los métodos de interpolación se ajustaban a la realidad del terreno. Se dice esto, ya que como se mencionó líneas atrás el comando **Residuals** que el soft posee para conocer la calidad del modelo, fue utilizado tanto para el MDG como en esta caso para el MDE, teniendo en cuenta solamente datos muestrales. Es decir esta análisis analítico se efectuó interpretando la diferencia existente entre la altura de los puntos que habían participado de la interpolación causante de la grilla y las alturas que expresaban sus celdas correspondientes. Esto permitiría entonces averiguar que tan bien el método se ajustaba a los valores muestrales pero nada dice de cómo se ajusta el método entre puntos muestrales a la realidad del terreno. Para averiguar esto, se decidió contar con puntos de control distribuidos uniformemente que no formaran parte del conjunto de puntos muestrales generadores de la grilla que daría origen al modelo, para luego mediante el comando residuals obtener la diferencia entre las alturas de estos y las que ofrecía la interpolación en cuestión.

De estos tres tipos de análisis contemplados en conjunto, se llegó a la conclusión de existían dos métodos que arrojaban muy buenos resultados. Ellos fueron el **Kriging** y el **Mínimum Curvature**. Los resultados correspondientes se pueden apreciar en el **anexo 5**

Análisis analítico de los datos muestrales:

METODO	σ de una diferencia aislada (m)
KRIGING	0.03
MINIMUM CURVATURE	0.03
NEAREST NEIGHBOR	0.00
INVERSE DISTANCE	1.03
RADIAL BASIS	0.03

Análisis analítico de los puntos de control:

METODO	σ de una diferencia aislada (m)
KRIGING	0.60
MINIMUM CURVATURE	0.38
NEAREST NEIGHBOR	0.66
INVERSE DISTANCE	1.20
RADIAL BASIS	0.60

-Aplicaciones y herramientas que ofrece un MDE

Como ya se destacó en la introducción de este trabajo, el contar con un Modelo Digital de Elevaciones de una superficie determinada, permite a diferencia de la cartografía analógica convencional efectuar un análisis cuantitativo de las características del terreno. Esto es posible gracias a que el MDE queda representado por una matriz tridimensional con la cual se puede realizar una gran cantidad de operaciones matemáticas en forma sencilla y rápida.

Entre ellas se pueden citar la determinación de volúmenes existentes entre dos matrices o entre un modelo de elevaciones y un plano de referencia cualquiera (esto es lo que se utiliza en los programas específicos para proyectos de caminos para determinar los movimientos de suelo).

Otra de las aplicaciones características que poseen, es que en caso de contar con la cota de anegamiento de un determinado sector comprendido en el modelo se puede realizar una rápida visualización de la porción que se encuentra por debajo de ella y así determinar cual será la superficie afectada. También es posible obtener la cota de cualquier punto que se desee, desprendiéndose así una herramienta muy útil que es la posibilidad de realizar perfiles topográficos que pueden ser utilizados con fines diversos. No debemos olvidarnos de una de las cualidades más importantes que poseen los Modelos Digitales que es la posibilidad de introducirlos y utilizar su información en un Sistema de Información Geográfica (SIG) Estas son algunas de las aplicaciones más comunes que se pueden realizar con un modelo digital de elevaciones y como se mencionó en su momento generar, a medida que se produzca información, un Modelo Digital del Terreno (MDT). En este trabajo particular fue aplicado a la representación gráfica de una porción de superficie terrestre mediante una plano de curvas de nivel y puntos acotados. De todas maneras se pueden utilizar todas las herramientas expuestas líneas arriba siempre que el objetivo sea coherente con la precisión del modelo.

- **Elaboración del plano de curvas de nivel**

Una vez efectuada la resta de las matrices correspondientes al MDG y al MDE con altura elipsoidal, se obtuvo el MDE que cumplía con los objetivos de este trabajo. Es decir aquel en que la variable altimétrica a representar estuviera vinculada a la red altimétrica nacional.

A partir de este, se obtuvo mediante la opción Contour Map que el soft posee, el plano de curvas de nivel correspondiente. Este procedimiento se efectuó tanto para el método **Mínimum Curvature** como para el **Kriging**.

Concluida esta etapa, se exportaron ambos planos con sus respectivos puntos acotados, a un programa CAD en el cual se superpusieron ambos resultados para así de esta forma mediante un análisis exhaustivo mejorar los obtenidos por el método **Mínimum Curvature** con el auxilio de **Kriging**. Esto debido a que existían algunos sectores en el que este último representaba mejor a los datos muestrales.

Una vez concluida la edición de las curvas de nivel, se procedió a confeccionar el plano topográfico a escala y equidistancia estipulada.

- **Comparación carta-plano**

Para poder llevar a cabo la comparación entre la carta a escala 1:50000 del IGM, y el plano de curvas de nivel producido en este trabajo, hubo que efectuar previamente una transformación entre sistemas geodésicos. Recordemos que este

relevamiento se encuentra vinculado a la red POSGAR 94' (materialización del sistema WGS84) mientras que la carta realizada por el IGM lo está al sistema Inchauspe 69'.

Para lograr esta transformación, se utilizó el módulo GPtrans (del programa Gpsurvey) siguiendo la siguiente secuencia: de las coordenadas geográficas ϕ, λ y h vinculadas al sistema WGS84 se pasó a sus correspondientes en el sistema inchauspe 69'. Luego a partir de estas se obtuvieron las coordenadas planas resultantes de la proyección Gauss Kruger (faja 6) ya que como se sabe es la proyección utilizada por el IGM. Una vez que se contó con el plano en el mismo sistema que la carta, se realizó una impresión del mismo en filmina a escala 1:50000, para así poder superponerlo con la misma y facilitar la comparación visual.

De esta comparación, se dedujo que las formas que expresaban las curvas de nivel en la carta, eran en general muy similares a las descritas por el modelo ya que se evidenciaron claramente las características morfológicas más salientes como dorsales y colectoras principales. De todas formas, hay que mencionar también, que aunque fueron menores existieron incongruencias, manifestadas por un lado en la presencia de lomadas en la carta que en el modelo no se apreciaban y por otro en lo referente a las dimensiones de las zanjas colectoras. En cuanto a estas también hay que recalcar que se registraron algunos desplazamientos en posición planimétrica, en contraste con lo ocurrido con los arroyos, ya que en este sentido coincidieron notablemente.

No obstante a esto se decidió ahondar un poco más en la comparación y realizar dos perfiles transversales a la zona; uno sobre la dirección que determina la coordenada $X=6138000$ y otro ubicado dos kilómetros más al sur tomando como constante la coordenada $X=6136000$

Se eligieron de esta manera ya que así se podía contar con mayor información en lo que respecta a colectoras y dorsales. De todo este análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Del primero de los perfiles se puede destacar la similitud en sus formas en general y la coincidencia planimétrica en los arroyos. No así en las colectoras y sobre todo en la que desemboca en el arroyo Rodríguez ya que sobre la carta se pierde en esa zona.

En lo referente a las diferencias altimétricas, se detectó una magnitud de 2.40 metros sobre el arroyo Rodríguez y 1.20m en el arroyo Martín. También se puede apreciar una clara disminución en las dorsales principales.

En cuanto al segundo de los perfiles, se puede decir que en rasgos generales las diferencias son análogas al anterior, notándose como la de mayor magnitud la existente en el arroyo Rodríguez.

❖ Aspectos legales

- Legislación sobre aguas

La importancia del agua ha sido siempre significativa, pues es considerada un elemento indispensable para el desarrollo de la vida humana, animal y vegetal, encontrándose en todas las manifestaciones de la misma.

El Derecho de Aguas se encuentra enmarcado dentro del Código Civil y constituye toda una especialidad dentro del Derecho Civil y Administrativo. En nuestro país existen normas sobre aguas tanto en la legislación nacional (Constitución, Código Civil y diversas leyes) como en la provincial (constituciones, códigos rurales, leyes de aguas, etc.) que se adecuan a la gran extensión de nuestro territorio, con problemas distintos en cada región. A manera de complemento o una forma de proteger los intereses propios de cada provincia, algunas han dado leyes o Códigos de Aguas, entre ellas Buenos Aires, cuyo código establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la provincia.

- Alcances del análisis

Tanto los objetivos del presente trabajo como sus conclusiones, así como también la forma de realizarlo, distan de incluir un análisis profundo y detallado de los aspectos legales referidos a la legislación sobre aguas; en relación con los arroyos Martín y Rodríguez y los predios que los contienen. No obstante, se hace mención a esa legislación, aunque al solo efecto de tener en cuenta las normas generales que rigen el manejo y derechos sobre los cursos de agua en la zona,

dando prioridad a las tareas técnicas (relevamiento con GPS y análisis de los resultados, trabajos de nivelación, trazado de las curvas de nivel, etc.).

- Cursos de agua

Conforme a su caudal, los cursos de agua se clasifican en ríos, arroyos y torrentes.

Río es el curso de agua con caudal abundante o considerable y perenne.

Arroyo es el curso de agua con caudal menos considerable que el del río y más o menos perenne.

Torrente es el curso de agua con caudal vario producido casi siempre por lluvias y deshielos y que, en consecuencia, generalmente está seco.

Los elementos constitutivos de los ríos o arroyos son dos: el agua y el cauce o lecho.

El agua es la sustancia líquida que conforma el curso y la que se desplaza por el cauce. El cauce es el lugar por donde el agua corre. También es llamado lecho o álveo.

-Normas legales tenidas en cuenta

Las fuentes legales tenidas en cuenta son el Código Civil, involucrando ciertos artículos referidos al tema, el Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires, la ley 6253 y algunas resoluciones provinciales sobre la determinación de la línea de ribera.

El Código Civil

La distinción entre río y arroyo no se proyecta al campo jurídico, pues ambos poseen idéntico régimen legal; así lo expresa el art. 2574, que hace mención a “los propietarios de tierras que tienen por límite la corriente del agua de los ríos o arroyos...”; el art. 2583 que hace referencia a la aluvión y expresa “cuando un río o arroyo lleva por una fuerza súbita alguna cosa susceptible de adherencia natural...” y por último el art. 2340 en su inciso 3ro que incluye entre los bienes públicos del Estado “los ríos, sus cauces, las demás aguas que corren por cauces naturales y toda otra agua que tenga o adquiriera la aptitud de satisfacer usos de interés general...”

Propiedad de los ríos

Según el art. 2340 inciso 3ro, los ríos y las demás aguas que corran por sus cauces naturales pertenecen al dominio público del Estado.

Sin embargo, de conformidad al art. 2350 del Código Civil: “Las vertientes que nacen y mueren dentro de una misma heredad pertenecen en propiedad, uso y goce al dueño de esa heredad”. Entonces, si el curso de agua nace y muere dentro de una misma heredad, pertenece en propiedad, uso y goce al dueño de esa heredad, sin distinguir acerca de si el agua corre o no por su cauce natural.

En cambio, si nace en un fundo y muere en otro, pertenece al dominio público. Aquí, como vemos, es decisivo el hecho de que el agua corra por cauce natural, pues solo en tal caso pertenece al dominio público, como lo determina el art. 2637: “Las aguas que surgen en los terrenos de particulares, pertenecen a sus dueños, quienes pueden usar libremente de ellas y cambiar su dirección natural. El hecho de correr por los terrenos inferiores no da a los dueños de éstos derecho alguno. Cuando constituyen curso de agua por cauces naturales pertenecen al dominio público y no pueden ser alterados.”

Línea de ribera en ríos

Se denomina línea de ribera a la línea separativa entre los bienes públicos (se trate de mares, ríos, o demás aguas que corran por cauces naturales) y privados. Se podría definir como la sucesión de puntos de nivel (igual cota) que determinan las más altas aguas en estado normal (Código Civil Argentino, arts.) 2577 y 2340 inc. 4to. Se puede decir entonces que la misma constituye el límite legal entre el dominio público del Estado (curso de agua) y el dominio particular (predio ribereño). Cabe acotar además, que la línea de ribera da lugar a la determinación de las zonas definidas como ribera **externa**, sobre la tierra de propiedad del ribereño, y ribera **interna**, hacia el cauce o curso de agua de propiedad del Estado.

Antes de la ley 17711, el límite del río surgía de lo dispuesto por el art. 2577 del Código Civil y lo daba la “línea a la que llegan las más altas aguas en su estado normal”, es decir, el plenísimun flumen.

Por otro lado, la ley mencionada al reformar el art. 2340, cambió su inciso cuarto por el siguiente: “Quedan comprendidos entre los bienes públicos... las riberas internas de los ríos, entendiéndose por tales la extensión de tierra que las aguas bañan o desocupan durante las crecidas medias ordinarias”. Sin embargo no se derogó el 2577, originando esto una contradicción, pues la expresión “las más altas aguas en estado normal” podría asimilarse a mayores crecidas ordinarias, siendo esto contradictorio a lo que expresa el art. 2340 inc. 4to, originando una disminución del dominio público por parte de este último.

La fijación de la línea de cota, de acuerdo al Código Civil, compete a la autoridad administrativa -nacional o provincial, según que los ríos pertenezcan a la

Nación o a las Provincias-. Así surge del art. 2750: “El deslinde de los fundos que dependen del dominio público corresponde a la jurisdicción administrativa”.

Ley 12257

Con fecha 26 de enero de 1999 el Poder Ejecutivo de la Provincia de Buenos Aires decretó la promulgación del Código de Aguas sancionado por la Honorable Legislatura el día 9 de diciembre de 1998 como Ley 12257.

El objeto de esta ley se expresa en su art. 1ro: “establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires”.

En su art. 3ro se crea un ente autárquico que “tendrá a su cargo la planificación, el registro, la constitución y la protección de los derechos, la policía y el cumplimiento y ejecución de las demás misiones que este código y las Leyes que lo modifiquen, sustituyan o reemplacen”. A éste ente se lo denomina “Autoridad del Agua” que depende en forma directa del Poder Ejecutivo y sus atribuciones se encuentran enmarcadas en el art. 4to del citado código.

En general, este código no especifica acerca del dominio sobre los cursos de agua, sino que está orientado en forma más precisa a temas relacionados con el uso, aprovechamiento, preservación y mejoramiento del agua, incluso de las subterráneas y las contenidas en la atmósfera. Cabe destacar, que los arts. 18 a 21 inclusive legisla sobre la fijación, publicidad, demarcación y alteración de la línea de ribera, a cargo de la Dirección Provincial de Hidráulica y publicándose en el Boletín Oficial la cota correspondiente al límite externo de las playas y riberas de los ríos, mares limítrofes y de cuerpos de agua la que deberá actualizarse por lo menos cada 10 años. Los arts. 136 a 140 inclusive, legisla sobre las restricciones al dominio y las servidumbres a que están sujetos los predios linderos con los ríos, arroyos, canales, lagunas y embalses del dominio público. Por su parte, el art. 96 establece que “Los dueños de predios que lindan con cauces públicos, pueden defender sus márgenes contra la fuerza del agua, mediante endicamientos marginales o atacarrepuntes, plantaciones o revestimientos que pueden situarse aún en la ribera”.

La Ley 12257 y el Dto. 2307/99 establecen que la Dirección Provincial de Hidráulica será la autoridad de aplicación para la determinación de la línea de ribera.

Ley 6253

Esta ley, denominada “Ley de Conservación de los Desagües Naturales”, tampoco especifica acerca del dominio sobre los cursos de agua, solamente establece, en su art. 2do, la creación de “zonas de conservación de los desagües naturales”, determinadas por el Poder Ejecutivo, que tendrán un ancho mínimo de cincuenta metros a cada lado de los ríos, arroyos y canales, y de cien metros en

todo el perímetro de las lagunas. Luego, en su art. 3ro, establece la prohibición dentro de las zonas a que se refiere el art. 2do de “variar el uso actual de la tierra” y solo se permitirá “ejecutar las obras y accesiones que sean necesarias para su actual destino o explotación”.

Disposición 671/2000

Con fecha 11 de junio de 2000 la Dirección Provincial de Hidráulica aprobó esta disposición estableciendo lo que el profesional actuante deberá realizar en caso de mensura, fraccionamiento, etc. de predios que contengan o linden con cursos o espejos de agua.

En su art. 1ro establece que “verificada la existencia de un alvéolo o cauce por donde se produzca el encauzamiento de aguas públicas, cualquiera fuese su carácter (permanente o temporario, navegable o no navegable, de pequeña, mediana o gran magnitud), excepto los originados por una vertiente, deberá realizar:

En cauces con bordes definidos: el relevamiento del límite de los mismos según indicios topográficos e hídricos y su demarcación en los planos respectivos.

En cauces con bordes indefinidos: el relevamiento del eje de los mismos en el sentido de la corriente y su demarcación en los planos respectivos”.

Conclusiones

De acuerdo a lo expuesto podemos inferir con respecto a la situación jurídica de los arroyos Martín y Rodríguez, que constituyen bienes del dominio público, según así lo expresa el Código Civil en su art. 2340.

Según averiguaciones realizadas en la Dirección Provincial de Hidráulica, no existe línea de ribera determinada para éstos arroyos; además los mismos no se encuentran desafectados de los títulos de propiedad de los predios ribereños y el único uso que poseen de interés general es de dasagote pluvial.

Para establecer con precisión la situación dominial de los arroyos, debería realizarse un estudio de los títulos de propiedad de cada parcela afectada por los mismos, lo que realmente no se encuentra dentro de los objetivos del presente trabajo, según ya se ha mencionado.

De todo esto se concluye que si bien la línea de ribera no se encuentra determinada, por lo cuál no se encuentra deslindado el bien público del privado, la determinación de la misma estaría a cargo del profesional actuante en una mensura. Así lo establece la disposición mencionada 671/2000 en su art. 1ro que se deberá realizar el “relevamiento del límite del mismo según indicios topográficos e hídricos y la demarcación en los planos respectivos”.

Cálculo de honorarios

El primer paso que se realizó es el cálculo del honorario mínimo para un trabajo de las características mencionadas. Para esto se consultó en el Colegio de Visado del Distrito V de la ciudad de La Plata la forma de proceder para el cálculo del mismo. Se obtuvieron aquí las tablas de aranceles vigentes (Dto. 6964/65) para los distintos trabajos de agrimensura y se procedió con el cálculo. Los resultados fueron:

Transporte de cota del PF455 (IGM) al terreno con precisión $< 1\text{cm}\sqrt{L(\text{km})}$:

Longitud de los itinerarios = $18.4\text{km} + 2 \times 3.4\text{km} = 25.2\text{km}$. Corresponde el uso de la tabla XII del arancel vigente:

Tabla XII (art. 16): $1000 \text{ \$a/km} \times 25.2\text{km} \longrightarrow 25200 \text{ \$a}$

- Colocación de 7 puntos fijos como ménsulas (clavos):

Tabla XII (art. 16): $7 \times 200 \text{ \$a} \longrightarrow 1400 \text{ \$a}$

- Superficie de 3000 ha aproximadamente con 488 puntos lo que representa 1 punto cada 6 hectáreas. Corresponde el uso de la tabla XIII:

Tabla XIII (art. 17): $\longrightarrow 300000 \text{ \$a}$

Subtotal: $25200 \text{ \$a} + 1400 \text{ \$a} + 300000 \text{ \$a} \longrightarrow 326600 \text{ \$a}$

- Confección de plano de curvas de nivel adicióna 20%:

Plano de curvas de nivel: $326600 \text{ \$a} \times 20 \% \longrightarrow 65320 \text{ \$a}$

Total: $\longrightarrow 391920 \text{ \$a}$

- Finalmente se realiza la conversión de pesos argentinos (según las tablas) a pesos actuales:

$$391920 \text{ \$a} \times 111325 \times 10^{-7} \longrightarrow \$4363^{05}$$

De acuerdo a consultas realizadas a profesionales con amplia experiencia en este tipo de relevamientos, se arribó a la conclusión de que este honorario mínimo se encuentra muy por debajo del valor de mercado actual, por lo que se estableció como valor final \$ 1000 para el transporte de cota y \$ 12000 para el relevamiento planialtimétrico, lo que conforma un total de \$ 13000.

En el caso de no contar con equipos GPS se debe adicionar el costo de alquiler de los mismos, el cual teniendo en cuenta la cantidad de días de relevamiento asciende a \$ 6290.

CONCLUSIONES

A medida que se desarrollaba el trabajo, se iba evidenciando el amplio espectro que abarca la agrimensura en lo referente a la aplicación de conocimientos científicos y técnicos. Se menciona esto, ya que para efectuar este trabajo específico y concreto, se debieron aplicar conocimientos en diversas ramas como la topografía, la fotointerpretación, geodesia y técnicas de relevamiento satelital.

No se puede dejar de lado, por mas que no sea materia específica de la Agrimensura, el manejo de la informática ya que se ha convertido en una herramienta indispensable para el tratamiento de la información recopilada, que dará como fruto el cumplimiento de los objetivos. Decir esto no resulta exagerado si se tiene en cuenta que para obtener la posición de un punto de manera precisa por medio de técnicas GPS, no existe otra alternativa que el manejo de un soft de cálculo adecuado.

Otro aspecto importante a destacar que otorgó la realización de este trabajo, fue la adquisición de cierta experiencia (sobre todo en lo referente a la “manejo de los tiempos”) y la fijación de conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera como por ejemplo la **correcta** aplicación para este trabajo en particular de las técnicas GPS.

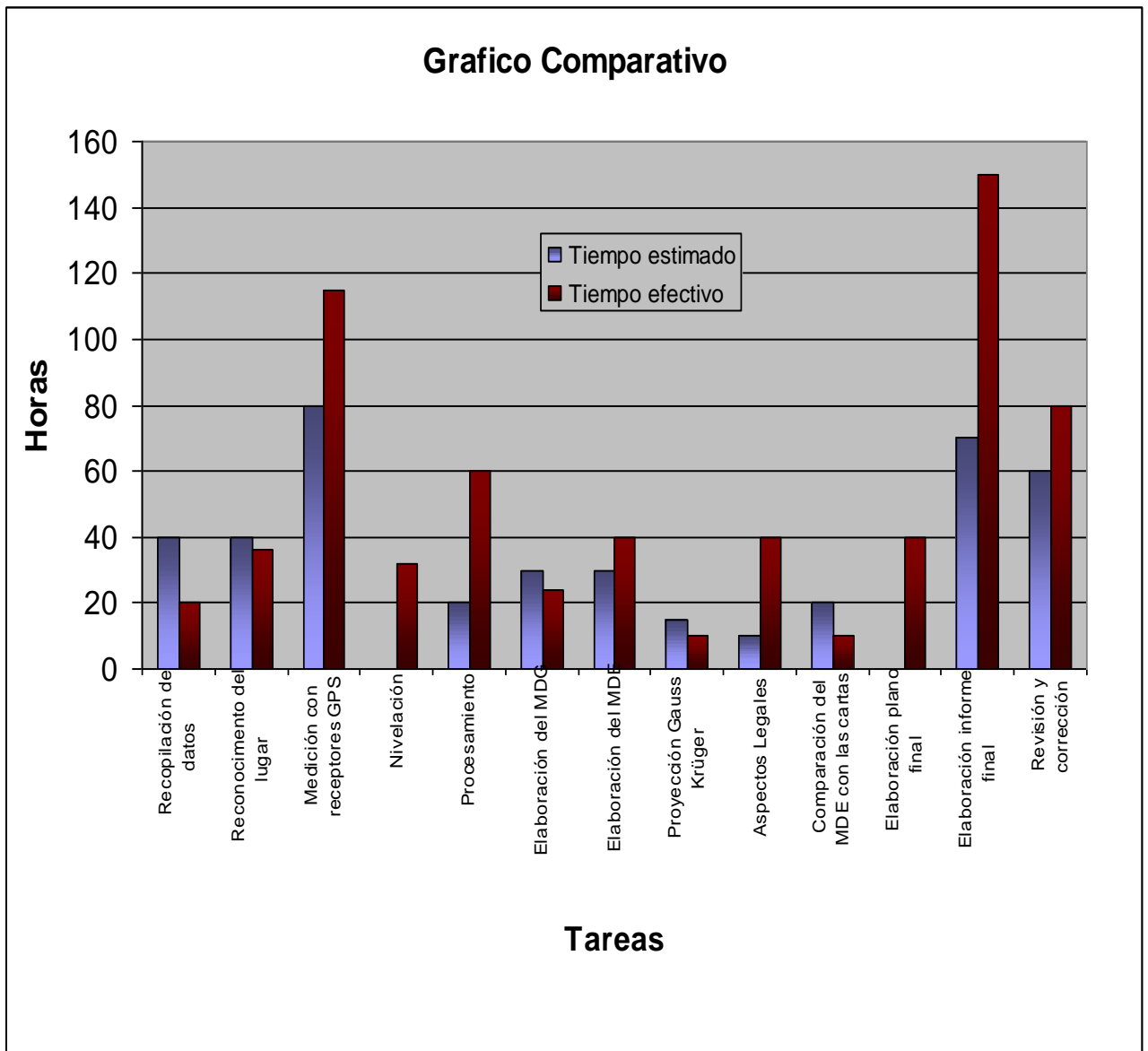
Por otro lado, en lo que respecta al producto obtenido (si bien ya se mencionó en su momento las ventajas que poseen esta clase de modelos en

comparación con los analógicos) podemos concluir además que entre ellos, los de tipo **matricial** o **raster** brindan excelentes resultados y se manifiestan en este trabajo en particular en el plano de curvas de nivel efectuado.

Es necesario resaltar también la productividad del método de relevamiento (Stop&Go) en relación con la precisión obtenida (menor a los 10cm) lo cual hace del mismo una herramienta muy interesante.

Por último cabe mencionar, la diferencia entre los tiempos estimados para la realización del trabajo y los efectivos. Estos últimos excedieron lo planificado prácticamente en todas las etapas. A nuestro entender, el factor determinante de esta ocurrencia, fue la falta de experiencia propia de realizar por primera vez un trabajo real. A continuación se detallará lo expuesto en el párrafo anterior mediante un cuadro y un gráfico comparativo.

TAREAS	TIEMPO ESTIMADO (hs.)	TIEMPO EFECTIVO (hs)
Recopilación de datos	40	20
Reconocimiento del lugar	40	36
Medición con receptores GPS	80	115
Nivelación	0	32
Procesamiento	20	60
Elaboración del MDG	30	24
Elaboración del MDE	30	40
Proyección Gauss Krüger	15	10
Aspectos Legales	10	40
Comparación del MDE con las cartas	20	10
Elaboración plano final	0	40
Elaboración informe final	70	150
Revisión y corrección	60	80



BIBLIOGRAFIA

- ◆ EL SISTEMA DE POCIONAMIENTO GLOBAL (Günter Seeber 1994)
- ◆ GPS Y GLONASS (Ma paz Holanda Blas - Juan Carlos Bermejo Ortega)
- ◆ Notas y Apuntes sobre GPS. Seminario Buenos Aires 95.
- ◆ GPS del campo al informe final (Fac. de Ciencias Astronómicas de la Universidad de la Plata.- Del Cogliano – Perdomo)

- ◆ LA GEODESIA AL ALCANCE DE TODOS (Instituto Panamericano de Geografía e Historia)
- ◆ NOTAS SOBRE PROYECCIONES CARTOGRAFICAS (Felix Aguilar)
- ◆ ESTANDARES GEODESICOS

- ◆ TRIANGULACION Y NIVELACION (Roberto Müller)
- ◆ TOPOGRAFIA GENERAL Y APLICADA (Dominguez Garcia-Tejero)
- ◆ TOPOGRAFIA (Wolf – Brinker)
- ◆ METODOS TOPOGRAFICOS (Chueca Pazos – Boquera – Valero)
- ◆ TOPOGRAFIA (Serafin Lopez – Cuervo)

- ◆ CALCULO DE COMPENSACION (Ing. Antonio D'alvia)

- ◆ Modelos Digitales del Terreno (Angel Manuel Felisísimo)
- ◆ Modelos Altimétricos Digitales (Cursillo organizado por Geomática Argentina S.A)

-
- ◆ Sistemas de Información Geográfica (Bosque Sendra)

 - ◆ CODIGO CIVIL
 - ◆ CODIGO DE AGUAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (Ley 12257)
 - ◆ Curso de Derechos Reales. Tomo I. Marina Mariani de Vidal
 - ◆ Constitución de la Nación Argentina

 - ◆ Manual del software SURFER 7.0
 - ◆ Manual del software GPSurvey 2.35
 - ◆ Manual de la controladora TSCI.
 - ◆ Apuntes de clase y carpetas de curso de las materias de la carrera de Agrimensura relacionadas con el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Ing. Federico Mayer
Ing. Jorge Sisti
Agrim. Cesar Romero
Agrim. Juan Carlos Lambert

Y en especial por su apoyo incondicional a los Licenciados Raúl Perdomo y Daniel Del Cogliano.

ANEXOS

- 1) Información Altimétrica recopilada
- 2) Contraste Nivel-GPS
- 3) Planillas de nivelación
- 4) Proyección Gauss-Kruger
- 5) Análisis de la precisión de los modelos
- 6) Cartografía utilizada

Anexo 1

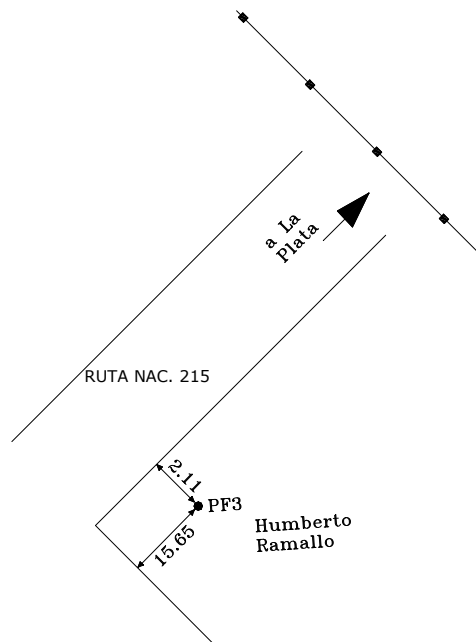
COTAS DE PUNTOS FIJOS DEL I.G.M

LINEA N43		
Punto	Cota	Situación
PF 455	7,251	Puente, km. 11.2 (de la plaza Italia, La Plata)
PF 457	7,877	Puente, km. 13.2 (de la plaza Italia, La Plata)

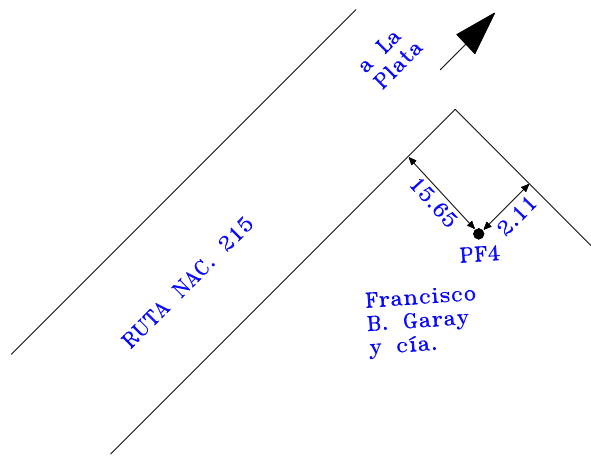
LINEA N78	
Punto	Cota
PF 3	
PF 4	
PF 5	
PF 6	

MONOGRAFÍAS DE PUNTOS FIJOS DEL I.G.M

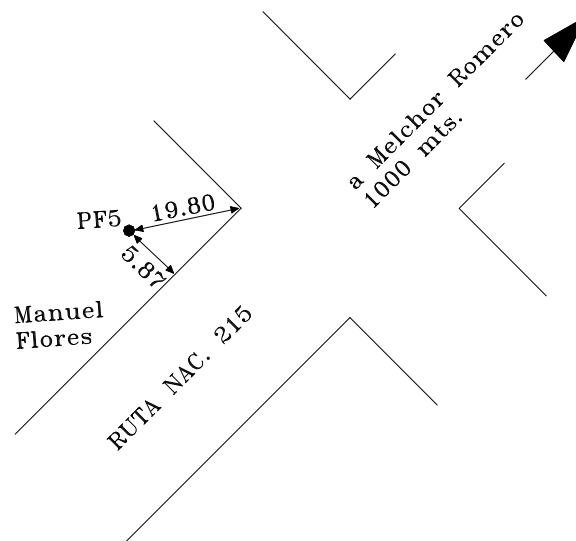
Punto fijo 3



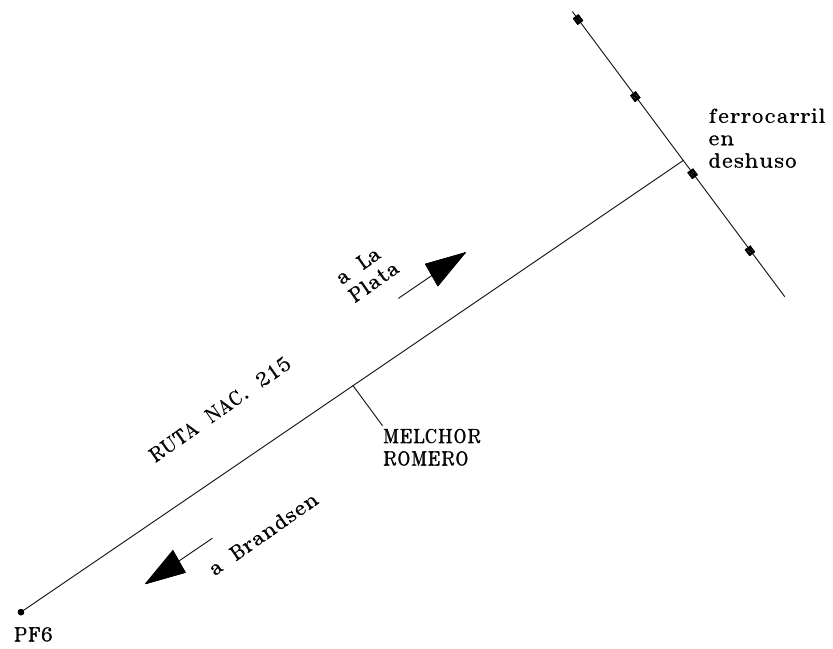
Punto fijo 4



Punto fijo 5



Punto fijo 6



COTAS DE PUNTOS FIJOS DEL M.O.S.P

Carta José Hernández	
Punto	Cota
G027	10.93
G036	17.85
G037	10.61
G234	11.21
G235	16.03
G238	16.61

Carta City Bell	
Punto	Cota
1	12.27
2	17.79
3	16.43

ESTACIONES	
Punto	Cota
José Hernández	19.926
Gorina (cota del riel)	19.15

a La

Anexo 2

CONTRASTE NIVEL-GPS

Para tener una noción más certera sobre la precisión con la que se puede obtener la posición altimétrica con GPS, se decidió realizar un contraste entre las mediciones efectuadas con este sistema y las obtenidas con un nivel automático.

Para llevar a cabo esta prueba, se eligieron en un predio pequeño situado en la ciudad de la Plata (geoide cte), 6 puntos perfectamente materializados a los que se le dio cota arbitraria, previa compensación de los desniveles resultantes de la nivelación geométrica.

Sobre estos mismos puntos, se obtuvieron datos GPS mediante la aplicación del método Stop&Go (previa inicialización de 10min) grabando en cada uno de ellos un total de 3 épocas. En este caso cada época representaba 5 segundos para estar así en concordancia con las características del relevamiento que se adoptarían en el trabajo. Cabe aclarar que los 10 minutos de inicialización inicial, más los 10 minutos que acarrea el recorrido entre los puntos con la antena móvil, se tradujeron a 20 minutos sin pérdida de señal, con los cuales el soft contó posteriormente para realizar la inicialización propiamente dicha. Esto, sumado a que en el momento de la medición se contaba con un total de entre 7 y 9 satélites, hicieron inevitable (para que se pueda obtener una conclusión más seria) el tener que procesar los datos acortando el segmento de medición, a los 10 minutos que duró el recorrido entre los puntos, y con la presencia de solo 5 satélites. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados:

ANALISIS DEL PROCESAMIENTO DE 20' CON TODOS LOS SV EN COMPARACION CON EL DE 10' Y 5 SV

NIVELACION CONTRASTE GPS/NIVEL						PARAMETROS GPSURVEY						
LINEA	DESNIVEL			ERROR		PUNTO	FIXED(20') Y 10 SV			FIXED(10') Y 5 SV		
	NIVEL	GPS(fija20)	GPS(fija10)	fija(20)	fija(10)		rms	Ratio	R.V	rms	Ratio	R.V
NIV1-NIV2	0,12	0,16	0,21	0,05	0,09	NIV1	0,007	4,60	0,42	0,007	7,1	0,418
NIV2-NIV3	0,48	0,49	0,51	0,01	0,03	NIV2	0,013	2,20	1,90	0,003	7,1	0,118
NIV3-NIV4	0,65	0,68	0,74	0,03	0,09	NIV3	0,010	2,20	1,20	0,008	7,1	0,467
NIV4-NIV5	0,20	0,06	0,31	-0,14	0,11	NIV4	0,010	4,00	0,93	0,006	7,1	0,278
NIV5-NIVF	0,70	0,60		-0,10		NIV5	0,039	4,00	20,34	0,017	7,1	1,575
						NIVF	0,005	13,30	0,29			
	Desv.Est. Desnivel			0,09	0,10							

Aquí se puede apreciar que el desnivel Niv1-Niv5 posee un error considerablemente mayor en comparación con los demás. Cuando nos remitimos a los parámetros que el soft utiliza para delatar la calidad de los puntos, nos enteramos que el punto Niv5 tiene un RMS=0.039 un RV=20.34 y un Ratio=4.00 es decir, todo indica de que se trata de un punto de menor calidad. Lo extraño es porque el desnivel NIV1-NIVF expresa 10 centímetros de error cuando ambos puntos presentan muy buenos parámetros. Aunque tampoco es una diferencia para

alarmarse ya que está dentro de las precisiones del método. Teniendo en cuenta lo antedicho se eliminó el punto Niv5 para realizar nuevamente el cálculo del desvío estandar y los resultados fueron:

Desvio .Desnivel = 0.07m

En cuanto al procesamiento de 10 minutos y 5 satélites, se puede mencionar que el soft fijó sin problemas las ambigüedades y hasta expresó mejores parámetros que el de 20 minutos. Aunque esto último puede deberse a los satélites eliminados.

De todas maneras, si se tiene en cuenta que el error expresado corresponde al desnivel, se entenderá fácilmente que el que se obtiene en el punto se encuadra dentro de esta precisión. Quedando así en concordancia con la bibliografía consultada.

Anexo 3

Nivelación Geométrica

Como en toda tarea de nivelación, lo primero que se realizó fue el cálculo del error del alfiler, donde para esto se eligieron dos puntos distantes entre sí unos 40 metros y se calculó el desnivel entre ellos desde el medio. Las lecturas a las miras desde ésta estación fueron:

Estación	Lectura atrás		Lectura adelante	
E1	1.514	1.415	1.456	1.357
	1.315		1.258	

Luego se eligió otro punto de estación, a una distancia de 10 metros de la mira más cercana y a 50 metros de la mira más lejana. Las lecturas realizadas fueron las siguientes:

Estación	Lectura atrás		Lectura adelante	
E2	1.321	1.271	1.464	1.214
	1.221		0.964	

Los desniveles obtenidos tanto en el primer caso como en el segundo, fueron respectivamente:

$$\Delta h_1 = 0.058 \text{ m}$$

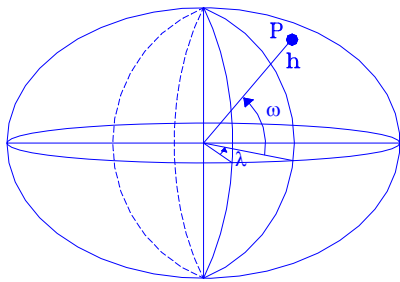
$$\Delta h_2 = 0.057 \text{ m}$$

Se debe cumplir la condición que $\Delta h_1 = \Delta h_2$ (si el aparato no tuviese error) donde para nuestro caso existe una diferencia de 1 mm. La tolerancia adoptada, es de $3 \text{ mm}/50 \text{ m} = 0.6 \times 10^{-4}$ y el error obtenido es $1 \text{ mm}/40 \text{ m} = 0.25 \times 10^{-4}$ por lo tanto como el error está por debajo de la tolerancia se puede proceder con la tarea.

Anexo 4

Transformación Planimétrica:

Como ya es sabido, el sistema GPS, permite obtener coordenadas geodésicas (φ, λ, h) sobre la superficie terrestre referidas a un elipsoide de revolución determinado. Así entonces, la posición bidimensional de un punto sobre la superficie terrestre queda determinada por dos magnitudes angulares φ y λ las cuales expresan arcos medidos desde un paralelo y un meridiano origen respectivamente.



λ se mide sobre el ecuador a partir del meridiano de Greenwich (meridiano 0)

φ es el ángulo entre el plano del ecuador (paralelo 0) y la normal al elipsoide que pasa por P.

Para pasar de este sistema de referencia a uno de representación plana en donde la posición de un punto queda determinada por coordenadas ortogonales (X, Y) , hay que tener en cuenta una transformación ya que la superficie de un elipsoide de rotación no es desarrollable sobre un plano. Esta transformación de coordenadas es la que se obtiene mediante una proyección cartográfica; la cual puede definirse como la representación plana del todo, o una parte de la superficie terrestre. Para cumplir su cometido, ésta última se basa en el uso de una superficie auxiliar (desarrollable) que le permite pasar del elipsoide al plano. Debido a esto es que las figuras de la carta (plano) serán siempre imágenes deformadas de las correspondientes al terreno.

Respecto de estas deformaciones, los sistemas de proyección se comportan de diverso modo y depende del destino de las cartas la preferencia por uno u otro. Dentro de las proyecciones geodésicas, que dicho sea de paso son las que tienen en cuenta al elipsoide y se caracterizan por la exactitud y la fidelidad, se pueden definir a las acimutales, cónicas o cilíndricas ya sea un plano, un cono o un cilindro la superficie auxiliar desarrollable. A su vez, de acuerdo a la fidelidad, las proyecciones se pueden clasificar en conformes, equivalentes o afilácticas según conserven los ángulos de las figuras a representar, las áreas o ninguna de las dos propiedades.

Puede decirse de modo general, que las deformaciones aumentan con la distancia al punto o línea de tangencia entre la superficie terrestre y el plano o

superficie auxiliar de proyección. Por este motivo, resulta de especial interés al elegir un sistema de proyección, considerar el tamaño y la dirección de mayor amplitud de los territorios a representar.

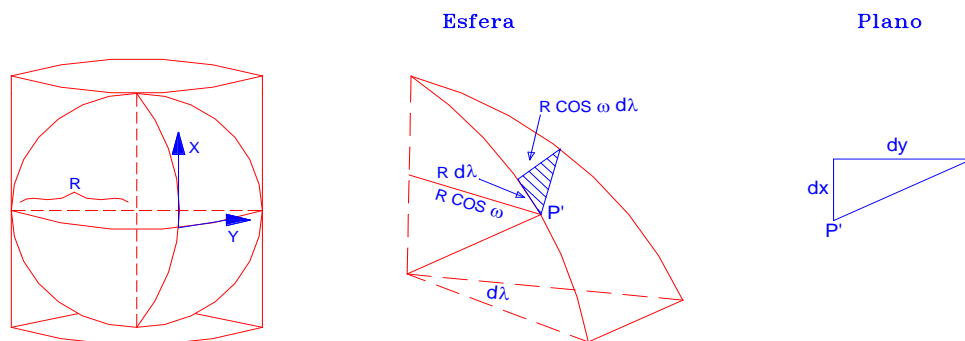
Debido a esto es que nuestro país adoptó como sistema de proyección al Gauss-Kruger que además de ser conforme, utiliza como superficie intermedia un cilindro tangente a lo largo del meridiano central de la región que se pretende representar. Cuando además el territorio es demasiado extenso en la dirección este-oeste, su representación mediante este sistema presentaría deformaciones grandes en los puntos mas alejados del meridiano central. Este inconveniente puede subsanarse dividiendo al territorio en husos meridianos de ancho tal que la mayor deformación no sobre pase límites preestablecidos. En nuestro país se adoptaron 7 fajas meridianas de 3° de ancho cada una con meridianos centrales en las longitudes: 72°, 69°, 66°, 63°, 60°, 57° y 54° al oeste de Greenwich. Además se estableció que la ordenada X tuviera su origen en el polo sur y aumentara positivamente hacia el norte, y las abscisas Y lo hicieran de oeste a este admitiendo que los puntos de los meridianos centrales tendrían las siguientes abscisas:

Longitud del meridiano central	Número de faja	Coordenada Y
72°	Faja 1	1.500.000
69°	Faja 2	2.500.000
66°	Faja3	3.500.000
63°	Faja4	4.500.000
60°	Faja5	5.500.000
57°	Faja6	6.500.000
54°	Faja7	7.500.000

Para poder entender el concepto matemático de esta proyección, partamos de la base que las coordenadas φ y λ que determinan la posición relativa de los puntos sobre la superficie terrestre, están vinculados con las coordenadas X e Y de los puntos de la carta de tal manera que:

$$\begin{aligned} X &= X(\varphi, \lambda) \\ Y &= Y(\varphi, \lambda) \end{aligned}$$

Supongamos por ejemplo que la tierra fuese una esfera y que adoptamos como superficie auxiliar a un cilindro tangente al ecuador



En este caso entonces, $Y=R\lambda$ (λ en radianes) donde R es el radio terrestre. La X en cambio está supeditada a la condición de conformidad.

Una proyección es conforme cuando a una figura elemental del terreno, corresponde en la carta una imagen semejante. Es decir, se conservan (como ya se mencionó) los ángulos y es una misma la razón entre los segmentos que emergen de un punto de la superficie terrestre y los correspondientes que lo hacen del punto imagen de la carta, por lo tanto:

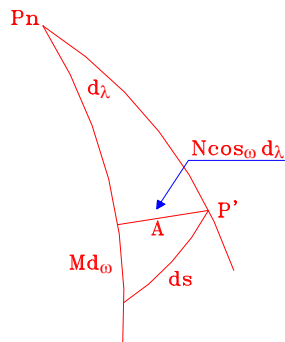
$$dY/(R\cos\varphi d\lambda) = dX/(Rd\varphi) = m \text{ (razón de aumento)}$$

Recordando que $Y=R\lambda$ tenemos que $dY=Rd\lambda \Rightarrow dX = \int_0^\varphi (1/\cos\varphi) d\varphi$

lo cual significa que:

$$\begin{aligned} X &= R \ln \operatorname{tg}(\pi/4 + \varphi/2) \Rightarrow X=f(\varphi) \\ Y &= R\lambda \Rightarrow Y=f(\lambda) \end{aligned}$$

Si en lugar de la esfera, hubiésemos tenido en cuenta al elipsoide, el triángulo en la superficie terrestre estaría conformado por:



Siendo: $M = [a(1-f)^2] / [1-f(2-f)\text{sen}^2\varphi]^{1/2}$
El radio de un arco de meridiano

$N = a / [1-f(2-f)\text{sen}^2\varphi]^{3/2}$
El radio de la sección normal a ese Meridiano.

La integral de x se transforma en:

$$X = \int_0^\varphi [M / (N \cos \varphi)] d\varphi = a \ln \left[\frac{(1 - \text{sen } \varepsilon)}{(1 + \text{sen } \varepsilon)} \right]^{3/2} \text{tg}(\pi/4 + \varphi/2)$$

donde $\varepsilon = \sqrt{f(2-f)}$

A estos logaritmos:

$p = \ln \text{tg}(\pi/4 + \varphi/2)$

$q = \ln \left[\frac{(1 - \varepsilon \text{sen } \varphi)}{(1 + \varepsilon \text{sen } \varphi)} \right]^{\varepsilon/2} \text{tg}(\pi/4 + \varphi/2)$

para la esfera

para el elipsoide

se los denomina latitud isométrica o creciente.

Otra cualidad de importancia de las proyecciones conformes, es que la razón de los segmentos del terreno y de la carta se mantienen alrededor de cada punto. Se puede decir entonces que en esta proyección a una pequeña circunferencia en el terreno corresponde también una circunferencia en la carta.

Basándose en esta última afirmación y a partir de la fórmula de la elipse indicadora de Tissot (Haciendo iguales sus semiejes) se llega a la conclusión de que existen dos funciones f1 y f2 de variables reales q y λ que constituyen la función analítica:

$f_1 + if_2 = f(q + i \lambda)$ q=latitud isométrica

que realiza la representación conforme de los puntos del elipsoide terrestre en el plano.

Basándose en lo expuesto se puede llegar a la expresión para las coordenadas X e Y resultantes de una proyección Gauss-Kruger, ya que para este caso:

$$X+iY=f(q+i\lambda)$$

Las longitudes geográficas que figuran en la expresión, son contadas a partir de un meridiano origen o primer meridiano, por lo cual entonces se contarán a partir del meridiano de cada Huso (recordemos que en la Argentina son 7) y se designarán con la letra **I**. Por lo tanto:

$$X+iY=f(q+iI) \quad \text{donde } I=\lambda-\lambda_0 \quad \text{expresado en radianes}$$

Desarrollando esta ecuación en serie de Taylor:

$$X+iY=f(q) + (df/dq) iI + (d^2f/d^2q)(iI)^2/2! + (d^3f/d^3q)(iI)^3/3! + \dots +$$

Y separando la parte real para la X y la imaginaria para la Y, nos queda:

$$\begin{aligned} X &= f(q) - (d^2f/d^2q)I^2/2 + (d^4f/d^4q)I^4/24 + \dots + \\ Y &= (df/dq) I - (d^3f/d^3q)I^3/6 + \dots + \end{aligned}$$

Se puede apreciar entonces que $f(q)$ es el valor de X cuando $I=0$; es decir el arco de meridiano elíptico a partir del ecuador hasta el punto de latitud φ y si queremos que tenga su origen en el polo sur, tendremos que poner:

$$F(q)=S = \int_{-\pi/2}^{\varphi} M d\varphi = \int_{-\pi/2}^0 M d\varphi + \int_0^{\varphi} M d\varphi = Q+B$$

$$\begin{aligned} \text{Donde:} \quad Q &= 10001965,729\text{m} \\ B &= 6367449,146\text{m } \varphi - 16038,509\text{m } \text{sen}2\varphi + 16,833\text{m } \text{sen}4\varphi - \\ &\quad - 0.022\text{m } \text{sen}6\varphi \quad (\text{la primer } \varphi \text{ en radianes}) \end{aligned}$$

Los parámetros utilizados fueron los del WGS84:

a	b	f
6.378.137	6.356.752,31424518	$3.352810665 \times 10^{-3}$

Para el cálculo de las derivadas nos basaremos en:

$$df(q) = M d\varphi$$

Recordando que $dq = M / (N \cos \varphi) d\varphi$ se llega a que:

$d\varphi/dq = (N/M) \cos \varphi$ además puede escribirse: $df(q)/dq = (df(q)/d\varphi) \times (d\varphi/dq)$
por lo cual se deduce que:

$$df(q)/dq = N \cos \varphi$$

$$d^2f(q)/dq^2 = -N \sin \varphi \cos \varphi$$

y así sucesivamente se obtienen las expresiones:

$$X = S + (N \sin \varphi \cos \varphi I^2) / 2 + ((N \cos^3 \varphi \sin \varphi) / 24) (5 - \operatorname{tg}^2 \varphi + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) I^4 + \\ + ((N \cos^5 \varphi \sin \varphi) / 720) (61 - 58 \operatorname{tg}^2 \varphi + \operatorname{tg}^4 \varphi) I^6$$

$$Y = N \cos \varphi I + ((N \cos^3 \varphi) / 6) (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi + \eta^2) I^3 + ((N \cos \varphi) / 120) (5 - 18 \operatorname{tg}^2 \varphi + \operatorname{tg}^4 \varphi) I^5$$

$$\text{Donde } \eta^2 = [f(2-f) / (1-f(2-f))] \cos^2 \varphi$$

La deformación lineal para este caso en el que el cilindro es tangente a un meridiano, es decir $\lambda = \text{cte}$, está dada por:

$$m^2 = [(\partial y / \partial I) \spadesuit + (\partial x / \partial I) \spadesuit] / [N \cos \varphi]^2 \quad \text{de donde surge } m = 1 + (Y^2 / 2R^2)$$

Todos estos conceptos fueron tenidos en cuenta para la correcta utilización de un Soft de cálculo que permita aplicar la proyección correspondiente.

Anexo 5

Análisis analítico de los Modelos Digitales

Análisis de los datos muestrales correspondientes al MDG

Modelo de Geoide Metodo Inverse Distance				
PUNTO	X	Y	h	DIFERENCIA(m)
RODR	6139681,70	6404744,48	15,69	0,000008
PN3	6134871,20	6400840,27	15,68	-0,000047
PN4	6132472,37	6400992,41	15,67	-0,000064
CARN	6140981,89	6400374,07	15,72	0,000085
PN1	6138386,55	6402836,81	15,68	-0,000094
PN2	6137094,65	6401983,89	15,69	0,000044
PN5	6134756,64	6398451,81	15,70	0,000069

Modelo de Geoide Metodo Minimum Curvature				
PUNTO	X	Y	h	DIFERENCIA(m)
RODR	6139681,70	6404744,48	15,69	-0,000007
PN3	6134871,20	6400840,27	15,68	0,000001
PN4	6132472,37	6400992,41	15,67	0,000006
CARN	6140981,89	6400374,07	15,72	-0,000001
PN1	6138386,55	6402836,81	15,68	0,000003
PN2	6137094,65	6401983,89	15,69	-0,000006
PN5	6134756,64	6398451,81	15,70	-0,000020

Modelo de Geoide Metodo Kriging				
PUNTO	X	Y	h	DIFERENCIA(m)
RODR	6139681,70	6404744,48	15,69	0,000001
PN3	6134871,20	6400840,27	15,68	-0,000006
PN4	6132472,37	6400992,41	15,67	-0,000006
CARN	6140981,89	6400374,07	15,72	0,000011
PN1	6138386,55	6402836,81	15,68	-0,000019
PN2	6137094,65	6401983,89	15,69	0,000014
PN5	6134756,64	6398451,81	15,70	0,000004

Modelo de Geoide Metodo Radial Basis				
PUNTO	X	Y	h	DIFERENCIA(m)
RODR	6139681,70	6404744,48	15,69	0,000000
PN3	6134871,20	6400840,27	15,68	0,000000
PN4	6132472,37	6400992,41	15,67	0,000000
CARN	6140981,89	6400374,07	15,72	0,000000
PN1	6138386,55	6402836,81	15,68	0,000000
PN2	6137094,65	6401983,89	15,69	0,000000
PN5	6134756,64	6398451,81	15,70	0,000000

Análisis de los puntos de control correspondientes al MDE

Modelo Digital de Elevaciones método Inverse Distance				
Punto	X	Y	h	Dif.
cb34	6135386,90	6401595,70	36,33	1,25
cb38	6135771,67	6402379,41	32,87	-1,34
cb65	6136909,53	6400113,53	36,79	1,44
CB214	6138608,09	6400909,81	32,68	1,20
CB404	6138684,56	6404560,70	27,11	-0,31
cb501	6138143,66	6403019,16	27,67	0,74
cb502	6136708,79	6402595,48	29,77	-0,17
cb504	6137799,16	6401019,96	31,40	-1,15
cb506	6134965,82	6400154,52	37,37	1,61
cb507	6139460,63	6401559,77	29,38	1,23
			EMC	1,20

Modelo Digital de Elevaciones método Kriging				
Punto	X	Y	h	Dif.
cb34	6135386,90	6401595,70	36,33	0,13
cb38	6135771,67	6402379,41	32,87	-0,38
cb65	6136909,53	6400113,53	36,79	0,84
CB214	6138608,09	6400909,81	32,68	0,19
CB404	6138684,56	6404560,70	27,11	-0,22
cb501	6138143,66	6403019,16	27,67	-0,25
cb502	6136708,79	6402595,48	29,77	0,43
cb504	6137799,16	6401019,96	31,40	-0,73
cb506	6134965,82	6400154,52	37,37	1,19
cb507	6139460,63	6401559,77	29,38	0,27
			EMC	0,60

Modelo Digital de Elevaciones método Minimun Curvature				
Punto	X	Y	h	Dif.
cb34	6135386,90	6401595,70	36,33	-0,03
cb38	6135771,67	6402379,41	32,87	-0,14
cb65	6136909,53	6400113,53	36,79	0,46
CB214	6138608,09	6400909,81	32,68	0,01
CB404	6138684,56	6404560,70	27,11	0,05
cb501	6138143,66	6403019,16	27,67	-0,37
cb502	6136708,79	6402595,48	29,77	0,67
cb504	6137799,16	6401019,96	31,40	-0,45
cb506	6134965,82	6400154,52	37,37	0,48
cb507	6139460,63	6401559,77	29,38	0,27
			EMC	0,38

Modelo Digital de Elevaciones método Nearest neighbor				
Punto	X	Y	h	Dif.
cb34	6135386,90	6401595,70	36,33	-0,14
cb38	6135771,67	6402379,41	32,87	0,65
cb65	6136909,53	6400113,53	36,79	0,17
CB214	6138608,09	6400909,81	32,68	0,24
CB404	6138684,56	6404560,70	27,11	-0,68
cb501	6138143,66	6403019,16	27,67	1,36
cb502	6136708,79	6402595,48	29,77	0,70
cb504	6137799,16	6401019,96	31,40	-0,54
cb506	6134965,82	6400154,52	37,37	0,25
cb507	6139460,63	6401559,77	29,38	-0,45
			EMC	0,66

Modelo Digital de Elevaciones método Radial Basis				
Punto	X	Y	h	Dif.
cb34	6135386,90	6401595,70	36,33	0,13
cb38	6135771,67	6402379,41	32,87	-0,38
cb65	6136909,53	6400113,53	36,79	0,84
CB214	6138608,09	6400909,81	32,68	0,19
CB404	6138684,56	6404560,70	27,11	-0,22
cb501	6138143,66	6403019,16	27,67	-0,25
cb502	6136708,79	6402595,48	29,77	0,43
cb504	6137799,16	6401019,96	31,40	-0,73
cb506	6134965,82	6400154,52	37,37	1,19
cb507	6139460,63	6401559,77	29,38	0,27
			EMC	0,60

Cálculo de honorarios

El primer paso que se realizó es el cálculo del honorario mínimo para un trabajo de las características mencionadas. Para esto se consultó en el Colegio de Visado del Distrito V de la ciudad de La Plata la forma de proceder para el cálculo del mismo. Se obtuvieron aquí las tablas de aranceles vigentes (Dto. 6964/65) para los distintos trabajos de agrimensura y se procedió con el cálculo. Los resultados fueron:

-Transporte de cota del PF455 (IGM) al terreno con precisión $< 1\text{cm}\sqrt{L(\text{km})}$:

Longitud de los itinerarios = $18.4\text{km} + 2 \times 3.4\text{km} = 25.2\text{km}$. Corresponde el uso de la tabla XII del arancel vigente:

Tabla XII (art. 16): $1000 \text{ \$a/km} \times 25.2\text{km} \longrightarrow 25200 \text{ \$a}$

- Colocación de 7 puntos fijos como ménsulas (clavos):

Tabla XII (art. 16): $7 \times 200 \text{ \$a} \longrightarrow 1400 \text{ \$a}$

- Superficie de 3000 ha aproximadamente con 488 puntos lo que representa 1 punto cada 6 hectáreas. Corresponde el uso de la tabla XIII:

Tabla XIII (art. 17): $\longrightarrow 300000 \text{ \$a}$

Subtotal: $25200 \text{ \$a} + 1400 \text{ \$a} + 300000 \text{ \$a} \longrightarrow 326600 \text{ \$a}$

- Confección de plano de curvas de nivel adicional 20%:

Plano de curvas de nivel: $326600 \text{ \$a} \times 20 \% \longrightarrow 65320 \text{ \$a}$

Total: $\longrightarrow 391920 \text{ \$a}$

- Finalmente se realiza la conversión de pesos argentinos (según las tablas) a pesos actuales:

$391920 \text{ \$a} \times 111325 \times 10^{-7} \longrightarrow \4363^{05}

De acuerdo a consultas realizadas a profesionales con amplia experiencia en este tipo de relevamientos, se arribó a la conclusión de que este honorario mínimo se encuentra muy por debajo del valor de mercado actual, por lo que se estableció como valor final \$ 1000 para el transporte de cota y \$ 12000 para el relevamiento planialtimétrico, lo que conforma un total de \$ 13000.

En el caso de no contar con equipos GPS se debe adicionar el costo de alquiler de los mismos, el cual teniendo en cuenta la cantidad de días de relevamiento asciende a \$ 6290.

