



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

## DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

### TRABAJO FINAL DE CARRERA

**ALUMNO:** de Uribe Echevarría, María Florencia

**LU N°:** 87740

**TEMA:** Determinación de un Modelo de Geoide local para la ciudad de Bahía Blanca

**CARRERA:** Agrimensura

**EMPRESA:** Grupo de Investigación del Departamento de Ingeniería (UNS):  
“TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TIG) APLICADAS AL ESTUDIO DEL ORDENAMIENTO DEL SUELO”

**PROFESOR ASESOR:** Agrim. Karina Neuman

**FECHA:** 1 de Junio de 2018 al 22 de Marzo de 2019

## INDICE GENERAL

|  |           |
|--|-----------|
| Índice general.....  | 1         |
| Índice de figuras.....   | 3         |
| Índice de tablas.....  | 3         |
| <b>1. Consideraciones generales.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2. Resumen.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>3. Introducción.....</b>  | <b>7</b>  |
| 3.1. Área de estudio.....  | 8         |
| 3.2. Objetivos .....   | 8         |
| 3.3. Metodología de trabajo para PPS.....  | 8         |
| <b>4. Marco teórico.....</b>   | <b>10</b> |
| 4.1. Elipsoide.....  | 10        |
| 4.2. Geoide.....   | 10        |
| 4.3. Sistemas de referencia.....   | 13        |
| 4.3.1. Datum.....  | 13        |
| 4.4. Marcos de referencia globales y locales.....  | 14        |
| 4.5. Modelos de geoide.....  | 16        |
| <b>5. Nivelación.....</b>  | <b>18</b> |
| 5.1. Red de nivelación.....  | 18        |
| 5.2. Métodos de nivelación.....  | 19        |
| 5.2.1. Nivelación geométrica o directa.....  | 20        |
| 5.2.2. Nivelación indirecta.....   | 21        |
| 5.2.2.1. Nivelación trigonométrica (por pendientes).....                                     | 21        |
| 5.2.2.2. Nivelación barométrica.....   | 21        |
| 5.3. Nivelación por técnicas espaciales.....   | 21        |
| <b>6. Global Navegation Satellite System (GNSS).....</b>                                     | <b>22</b> |
| 6.1. Global Positioning System (GPS).....  | 22        |
| 6.2. Tipos de posicionamiento.....   | 26        |
| <b>7. Campaña.....</b>   | <b>27</b> |
| 7.1. Programación de la campaña.....   | 27        |
| 7.2. Método de trabajo en campaña.....   | 29        |
| 7.2.1. Primera Etapa: control de exactitud de ménsulas municipales.....                      | 29        |
| 7.2.2. Segunda Etapa: selección de puntos fijos y ménsulas municipales. medición con GPS.... | 30        |

|  |           |
|--|-----------|
| 7.2.3. Tercera etapa: Cálculos para generar el Modelo de Geoide local..... | 33        |
| <b>8. Resultado: Modelo de Geoide para la Ciudad de Bahía Blanca.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>9. Validación.....</b>  | <b>37</b> |
| 9.1. Validación con el modelo GEOIDE-Ar16.....                             | 37        |
| 9.2. Validación cruzada.....   | 39        |
| <b>10. Conclusiones.....</b>   | <b>40</b> |
| <b>11. Bibliografía.....</b>   | <b>41</b> |
| <b>12. Anexo I.....</b>  | <b>43</b> |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Elipsoide y parámetros característicos.....                             | 10 |
| Figura 2: Modelo de Geoide global.....  | 11 |
| Figura 3: Relación entre alturas.....   | 12 |
| Figura 4: Esquema simplificado para el cálculo de N.....                          | 12 |
| Figura 5: Modelo de Geoide “GEOIDE-Ar 16” .....                                   | 17 |
| Figura 6: Evolución de la Red de nivelación del IGN.....                          | 19 |
| Figura 7: Esquema tipos de nivelación.....  | 20 |
| Figura 8: Principio de posicionamiento GPS.....                                   | 23 |
| Figura 9: Posicionamiento GPS – Intersección de las cuatro esferas.....           | 24 |
| Figura 10: Tiempo de retardo entre Satélite y Receptor.....                       | 24 |
| Figura 11: Medida de la distancia Satélite – Receptor por diferencia de fase..... | 26 |
| Figura 12: Página web IGN. Búsqueda de PF.....                                    | 27 |
| Figura 13: Monografías PF del SRVN ‘16.....                                       | 28 |
| Figura 14: Nivelación con nivel digital.....                                      | 29 |
| Figura 15: Punto Fijo de la Red de Alta Precisión.....                            | 29 |
| Figura 16: Ménsula de la Red de Alta Precisión sobre muro.....                    | 32 |
| Figura 17: Medición con GPS TRIMBLE 4800 sobre PE.....                            | 32 |
| Figura 18: Reporte del procesamiento de una línea base con TBC.....               | 33 |
| Figura 19: Modelo de Geoide Local con software Surfer.....                        | 35 |
| Figura 20: Modelo de Geoide local con el software QGIS.....                       | 36 |
| Figura 21: Modelo de Geoide Local en 3D.....                                      | 36 |
| Figura 22: Modelo de GEOIDE-Ar16 con software Surfer.....                         | 38 |
| Figura 23: Diferencias entre N calculado y N del IGN.....                         | 38 |
| Figura 24: Reporte de Validación Cruzada.....                                     | 39 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla I: Comparación Cota Municipal y Cota calculada.....                               | 30 |
| Tabla II: Listado de PF y Ménsulas Municipales.....                                     | 31 |
| Tabla III: Obtención de la nueva cota para las Ménsulas Municipales en el SRVN ‘16..... | 34 |
| Tabla IV: Diferencia entre N calculado y N GEOIDE-Ar16.....                             | 37 |

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES

La “Práctica Profesional Supervisada” (PPS) fue desarrollada en el marco del Proyecto Grupo de Investigación del Departamento de Ingeniería denominado “TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TIG) APLICADAS AL ESTUDIO DEL ORDENAMIENTO DEL SUELO” dirigido por la Dra. Agrim. Beatriz Aldalur, actuando como profesor tutor la Agrim. Karina Neuman.

Durante el desarrollo de la misma se contó con una beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas (EVC) del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) para la investigación de temáticas afines.

El plan de trabajo propuesto contempla la formación en las siguientes competencias:

1. Entender la metodología científica en el marco de un proyecto de investigación.
2. Desarrollar habilidades de escritura y oralidad del lenguaje técnico-científico.
3. Dominar las herramientas TIG, especialmente las técnicas de medición con GNSS (del inglés Global Navigation Satellite System), procesamiento, análisis y mejora de los resultados, y software de modelado de superficies.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la PPS fueron presentados en:

- IV Congreso Nacional de TIG - IV Jornadas de SIG - II Congreso Internacional de TIG en San Fernando del Valle de Catamarca entre el 3 y el 5 de octubre de 2018, mediante exposición oral del trabajo: *“Determinación de un Modelo de Geoide local para la ciudad de Bahía Blanca”*.
- XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores de la AUGM en Mendoza del 17 al 19 de octubre de 2018. Se presentó en forma de póster con defensa ante jurado el trabajo denominado *“Modelo Digital de Superficie y ortofoto a partir de fotografías aéreas en la cuenca del arroyo Napostá Grande en Bahía Blanca, Argentina”*.

Para completar la formación detallada en el inciso 3, se asistió a un curso Teórico –Práctico en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) sobre *“Determinación de marcos de referencia geodésicos precisos, mediante el software científico de procesamiento GPS / GNSS GAMIT / GLOBK”*, del 3 al 7 de septiembre de 2018, CABA. Además, entre los días 14 al 16 de Noviembre se realizó el curso *“Mapeo con Drone”* Organizado por la empresa Foto Aérea en instalaciones del Consejo Profesional de Agrimensura (CPA).

## 2. RESUMEN

El conocimiento de la superficie topográfica es esencial para la gestión del territorio y sirve de base para cualquier Sistema de Información Territorial (SIT). La obtención de coordenadas planialtimétricas, es una tarea que requiere tiempo, trabajo y recursos económicos, más aún si se utilizan los métodos clásicos de relevamiento (nivelación, triangulación, poligonación, etc.).

La utilización de tecnología GNSS, permite gran producción de datos, de precisión variable según la técnica de medición empleada (autónomo, relativo, estático, cinemática, en tiempo real o en posproceso). La dificultad principal que presenta la información que brindan estos equipos, es que la altura brindada es referida a un elipsoide, por lo tanto, es una altura geométrica y no física (asociada al campo de gravedad de la Tierra), que es, por ejemplo, la requerida para proyectos que involucren el análisis de flujo de agua.

La manera de obtener alturas de tipo físicas, llamadas alturas ortométricas (H), a partir de alturas elipsoidales (h) es reduciendo las mismas con el valor de ondulación Geoidal (N: separación entre geoide y elipsoide) correspondiente a cada punto, es decir, haciendo:

$$H = h - N$$

En la república Argentina, el IGN cuenta con un modelo de geoide gravimétrico que excede los límites de nuestro país, el GEOIDE-Ar16, modelo que permite la transformación de alturas elipsoidales referidas al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR07 (POSiciones Geodésicas ARGentinas) a alturas ortométricas referidas al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16), el cual posee alturas ajustadas según desniveles geopotenciales (ausentes en el anterior sistema SRNV71 que sólo utilizaba ajustes geométricos). Los desvíos estándar de las diferencias entre la ondulación geoidal derivada de los puntos GPS-nivelación y las ondulaciones son menores a 0,05 m según lo informado por el IGN.

El objetivo de este trabajo es determinar un modelo de geoide local para la ciudad de Bahía Blanca calculado en base al nuevo SRVN16 y observaciones GNSS (Global Navigation Satellite System) sobre puntos de la red altimétrica de alta precisión.

La campaña de medición sobre puntos de la red de Alta Precisión comprendidos dentro de la ciudad se realizó con equipos GPS (Global Positioning System), en modo estático diferencial, tomado como referencia en el procesamiento al punto VBCA (Vínculo Bahía Blanca), sobre el cual funciona una estación permanente. El punto VBCA pertenece a la red RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo) y cuenta con coordenadas POSGAR07. De la diferencia entre las alturas elipsóidicas y las cotas ortométricas se calculó la ondulación geoidal. A partir de estos valores se generó el modelo local de geoide.

La posición de puntos de referencia debajo de arboledas y la destrucción de los pertenecientes a la red nacional, requirió combinar las observaciones con nivelación geométrica clásica y recurrir a la red local de la Municipalidad de Bahía Blanca.

El modelo obtenido fue comparado analíticamente con el GeoideAr-16 obteniendo diferencias acordes a las informadas por el IGN.

Contar con un modelo de geoide ajustado localmente posibilita obtener información altitudinal de superficies extensas de manera rápida, sencilla, económica y confiable, a través de observaciones con tecnología GNSS. Sirve de base para la georreferenciación planialtimétrica de los SIG y fundamenta la toma de decisiones respecto a la explotación y gestión de los recursos naturales, el planeamiento de una ciudad y el manejo de obras civiles y viales.

### 3. INTRODUCCIÓN

La discriminación de las diferentes coberturas de la tierra, sin importar el tamaño del área cubierta, cobra importancia cuando sobre ella se planifica la realización de obras, estudios y proyectos que afectarán a varias generaciones. Ordenar el territorio no es una tarea sencilla, se requiere conocer no sólo la legislación que sobre él existe, sino también conocer entre otros, los cambios que se han producido en el tiempo en cada zona, por lo que es importante construir un mapa actualizado del terreno natural (MDT: Modelo Digital del Terreno) para poder gestionar y, sobre todo, para que sea usado en la toma de decisiones.

El caso del área de estudio elegida no es ninguna excepción, Bahía Blanca es una ciudad que está en constante crecimiento, parte del mismo no se está generando de forma ordenada debido a los asentamientos precarios, la expansión y ocupación de zonas no aptas para dicho uso, por lo que el ordenamiento antes mencionado es de vital importancia para por ejemplo, evitar catástrofes como inundaciones, permitir el acceso a los servicios como el agua potable, energía eléctrica; cuestiones que se logran a través de proyectos de obras que tengan una base sustentable sobre la que se apoyen.

La generación de un MDT realizado con la mayor precisión permitirá ubicar, estudiar y analizar el emplazamiento de los lugares donde pueden surgir los distintos conflictos ayudando a gestionar el territorio y a prevenir potenciales problemas ambientales.

Las TIG conforman un conjunto de técnicas y métodos que facilitan la recolección, manejo y análisis de diferentes datos, indispensables para detectar problemáticas relacionadas con el medio ambiente. Las TIG o Geotecnologías incluyen, entre otras herramientas, a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o GIS (Geographic Information System), la Teledetección, los Sistemas Globales de Navegación por Satélites y las obtenidas por Internet, como el Google Earth (Chuvienco *et al.*, 2005; Ehrensperger *et al.*, 2007; Gentili y Gil, 2009).

Dentro de las TIG, el empleo de tecnología GNSS permite obtener la información necesaria para confeccionar un mapa actualizado del terreno natural, de manera rápida y segura. Esta metodología directa para la obtención de MDT requiere relevamientos de campo que brindan información de posición (Latitud y Longitud) y altura elipsoidal  $h$ , respecto a un elipsoide adoptado, pero requieren conocer un modelo de geoide para que dichos relevamientos estén referidos a la superficie de referencia altimétrica.

El conocimiento del geoide permite tener una noción de los movimientos de la corteza terrestre, de la forma y dimensiones de la Tierra, y define una superficie de referencia para la cartografía, para el monitoreo del nivel del mar y para la explotación y gestión de los recursos naturales.

### 3.1. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra emplazada dentro de la ciudad de Bahía Blanca, cabecera del partido del mismo nombre, ubicada al suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Su localización geográfica es 38° 43' latitud Sur y 62° 16' longitud Oeste y está situada a 7 km de distancia de la costa del estuario homónimo que abarca 25 kilómetros. Se ubica sobre el límite de la Región Pampeana y de la Patagonia. Las primeras elevaciones alcanzan entre los 200 y 500 metros sobre el nivel del mar.

### 3.2. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo es obtener, a partir de la utilización de TIG, más precisamente de equipos GNSS de alta precisión, un modelo de geoide adecuado a la ciudad de Bahía Blanca.

Los objetivos específicos son:

- Buscar distintas técnicas y metodologías que permitan relevar puntos con instrumental GNSS en una ciudad.
- Densificar el modelo de geoide existente, utilizando las cotas ortométricas publicadas por el IGN en 2016.
- Generar un nuevo MDT y realizar el análisis estadístico que permita convalidar los resultados.

### 3.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA PPS

Las actividades a desarrollar en el marco metodológico que permitan cumplir los objetivos específicos planteados son:

- Realizar la búsqueda bibliográfica.
- Programar las salidas al campo.
- Ejecutar el relevamiento diferencial cinemático y diferencial estático con instrumental GNSS.
- Resolver los inconvenientes que los relevamientos en ciudad conllevan, combinándolos con técnicas clásicas de relevamiento planialtimétrico.
- Relevamiento con GNSS puntos de la red de alta precisión.
- Procesar la información y analizar los resultados obtenidos.

- Obtener valores de ondulación geoidal (N) y confeccionar el nuevo modelo de geoide de alcance local.
- Convalidar el modelo empleando puntos de control.
- Analizar los resultados obtenidos.
- Confeccionar la cartografía temática digital.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. ELIPSOIDE

La Tierra no es una esfera perfecta debido a la gravedad y las variaciones topográficas de la superficie (montañas, médanos, serranías, ondulaciones, entre otros).

Para poder realizar cálculos sobre la Tierra es necesario contar con un modelo matemático simplificado, siendo el elipsoide la figura geométrica que construye el mejor modelo para su representación. Una vez escogido, será el "elipsoide teórico de referencia" en el que se basará el propio sistema de coordenadas.

Un elipsoide es una superficie matemática regular que se obtiene por la rotación de una elipse sobre su eje menor y quedará definido por los semiejes mayor y menor (Fig. 1). Permite realizar cálculos y proyecciones de puntos sobre la superficie terrestre correlacionando coordenadas cartesianas ( $X, Y, Z$ ) con coordenadas geodésicas ( $\phi, \lambda, h$ ), pero tiene su limitación en que la altura elipsoidal ( $h$ ) no describe un comportamiento físico, de allí la necesidad del geoide que será definido más adelante.

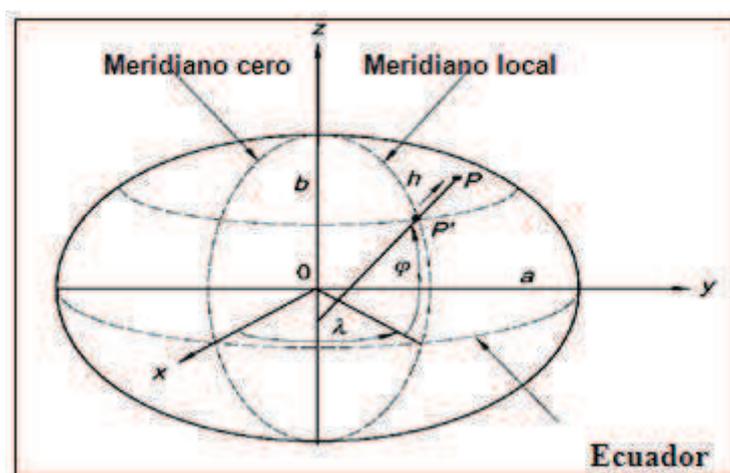


Figura 1: Elipsoide y parámetros característicos.

### 4.2. GEOIDE

El geoide es una superficie del campo de gravedad de la Tierra que se puede aproximar al nivel medio del mar. Se lo define como "una de las superficies equipotenciales del Potencial de Gravedad de la Tierra, de la cual la superficie (media) de los océanos forma parte" (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006). (Fig. 2)

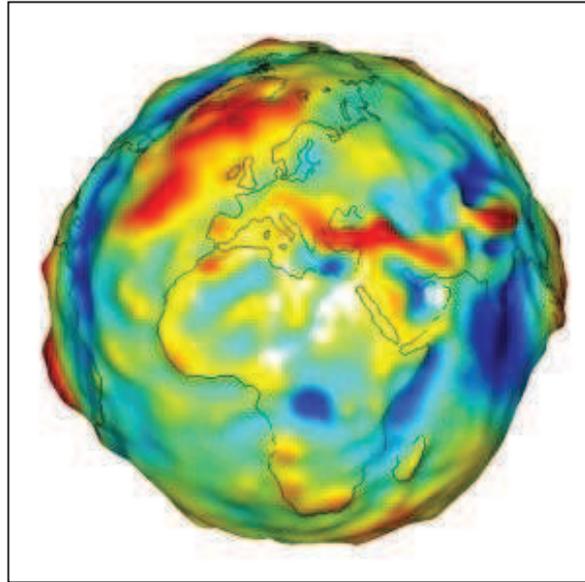


Figura 2: Modelo de Geoide global

Fuente: Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)

A diferencia del elipsoide, el geoide es una característica natural de la Tierra, su forma es irregular. Como en el caso de la superficie topográfica, no existe una ecuación simple para describir la variación espacial de la altura del geoide.

Al geoide, se lo caracteriza por la ondulación geoidal ( $N$ ), una medida que brinda la diferencia o separación entre el elipsoide de referencia y el geoide propiamente dicho.

Las alturas referidas al geoide, alturas ortométricas ( $H$ ), tienen un sentido físico, es decir, que consideran la gravedad del punto. Por ejemplo, en términos de movimientos de agua, ésta correrá desde un punto  $P_1$  a otro  $P_2$  si  $H_1 > H_2$ . Esto no necesariamente es así si  $h_1 > h_2$  (Perdomo, R. *et al.* 1998).

Las alturas ortométricas ( $H$ ) se pueden entender como la distancia medida sobre la vertical (perpendicular al geoide) del lugar, entre el punto sobre la superficie topográfica y el geoide. Esta vertical es la línea de la plomada, que justamente no es perfectamente vertical, sino que es una curva tangencial a la dirección de la gravedad en cualquier punto. (Fig. 3).

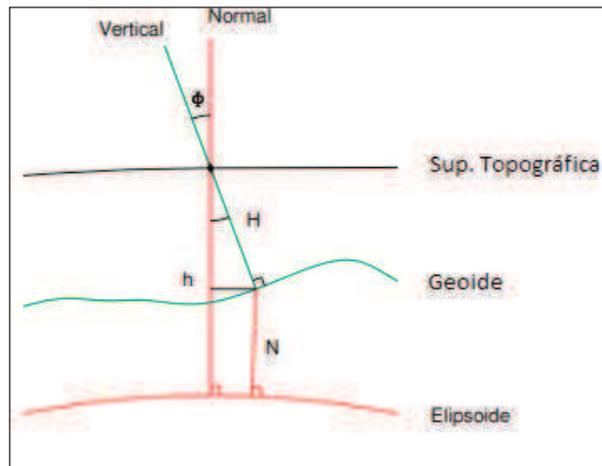


Figura 3: Relación entre alturas  
Fuente: Pérez Rodino, 2006

De la Figura 3, se deduce la siguiente relación entre las magnitudes consideradas:

$$N = h - H \cdot \cos(\phi)$$

La desviación relativa de la vertical ( $\phi$ ) tiene valores de unos pocos segundos, por lo cual se puede estimar que el coseno de  $\phi$ , será muy próximo a 1. Por este motivo, se puede realizar la siguiente simplificación:

$$N = h - H$$

Gráficamente, se condice con suponer que la vertical y la normal son coincidentes (Fig. 4).

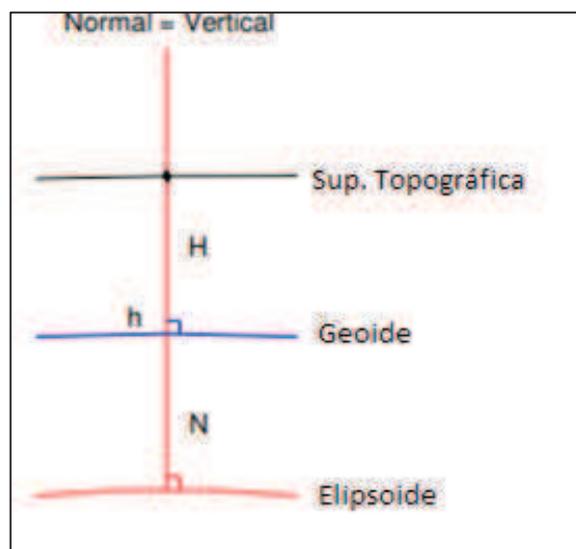


Figura 4: Esquema simplificado para el cálculo de N  
Fuente: Pérez Rodino, 2006

Resumiendo, los conceptos anteriormente citados, para aplicaciones geodésicas globales, se requiere la definición de tres superficies (Heiskanen *et al*, 1967).

- La *superficie topográfica*, sumamente variable, incluyendo tanto los terrenos continentales, como el fondo de los mares.
- El *Elipsoide*, superficie de referencia geométrica ideal, matemáticamente definida como la que mejor se adapta a la misma.
- El *Geoide*, superficie física real, correspondiente a cierto valor del potencial gravitacional terrestre.

### 4.3. SISTEMAS DE REFERENCIA

Según la definición más generalizada, la Geodesia es la ciencia que tiene como fin principal la determinación de la figura de la Tierra, el posicionamiento de puntos sobre la superficie física terrestre y el estudio del campo de la gravedad externo del planeta. (Benavidez, 2004).

Los sistemas de referencia están definidos por teorías, hipótesis y constantes que permiten situar un sistema de ejes coordenados en el espacio, definiendo su origen y su orientación.

Se pueden clasificar en clásicos y modernos.

- Sistema clásico: es un sistema de referencia bidimensional sobre el elipsoide, con coordenadas de latitud y longitud. El sistema de referencia altimétrico es independiente.
- Sistema moderno: se define con un triedro triaxial directo, con el origen coincidente con el centro de masas terrestre (geocentro), el eje X contenido en el meridiano de Greenwich, el eje Z coincidente con el eje de rotación terrestre y el eje Y que completa el triedro directo. Además, tiene un elipsoide de revolución asociado, ubicado en el centro del triedro. Es un sistema de referencia tridimensional: X, Y, Z o latitud y longitud sobre el elipsoide y una altura elipsoidal (Montes de Oca y Yelicich Pelaez, 2012).

Es decir, que los sistemas de referencia pueden ser altimétricos, planimétricos o en su conjunto planialtimétrico (tres coordenadas).

#### 4.3.1. DATUM

El Datum es un sistema de referencia global que determina las características de un elipsoide de referencia en particular, estableciendo los parámetros con que el elipsoide es definido respecto a su posición con el geoide. A saber:

- Semieje mayor (a) y menor (b).
- Coordenadas X, Y, Z del centro del elipsoide respecto al centro de masa de la Tierra.

- Giros para que coincidan el eje de rotación del elipsoide con el eje de rotación terrestre.

A continuación, se citan diferentes modelos que se utilizan como datum:

#### **World Geodetic System 1984 (WGS 84)**

El WGS 84 o Sistema Geodésico Mundial de 1984, proporciona un modelo elipsoidal de la forma de la Tierra (Kaplan y Hegarty, 2006). A este datum se refiere toda la información vinculada a GPS (efemérides satelitales, latitud, longitud y altura del receptor, etc.).

Son parámetros del WGS 84:

- $a$ : 6.378.137 m, corresponde a la sección transversal elipsoidal corresponde al radio ecuatorial de la Tierra.
- $b$ : 6.356.752 m., corresponde al radio polar
- La excentricidad del elipsoide,  $e$ , puede ser determinado por:  $e^2 = \frac{b^2}{a^2}$

Por lo tanto,  $e$  es igual a 0.00669437999014.

- El achatamiento  $f = \frac{a-b}{a}$ , es igual a 1/298.257223563

#### **Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS)**

El ITRS constituye un conjunto de prescripciones y convenciones junto con el modelo requerido para definir el origen, la escala, la orientación y la evolución temporal de un Sistema de Referencia Terrestre Convencional (CTRS). El ITRS es un sistema de referencia ideal, se puede conectar al Sistema Internacional de Referencia Celestial (ICRS) mediante el uso de los Parámetros de Orientación a la Tierra (EOP) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS).

#### **4.4. MARCOS DE REFERENCIA GLOBALES Y LOCALES**

##### **Marco de referencia**

Es la materialización de un sistema de referencia a través de observaciones, es decir, se trata de un conjunto de puntos con coordenadas y velocidades conocidas en un sistema de referencia y que sirven para materializarlo en el espacio.

## **Sistema de coordenadas**

Es la parametrización de las coordenadas de los puntos que forman el marco de referencia. Existe numerosos sistemas de coordenadas para parametrizar el marco de referencia, por ejemplo las coordenadas cartesianas  $(x, y, z)$ , geográficas elipsóidicas  $(\phi, \lambda, h)$ , etc.

### **Terrestrial Reference Frame (ITRF)**

Otro sistema de referencia global es el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) que define un Datum preciso conocido como International Terrestrial Reference Frame (ITRF), basado en observaciones láser a satélites y a la Luna, Interferometría de Base Muy Larga (VLBI) y GPS.

### **Sistema Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)**

En 1993 nace SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) y a partir de 2001 pasa a llamarse Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Está compuesto por estaciones permanentes GPS distribuidas a lo largo y ancho del continente y tiene sus coordenadas definitivas en ITRF 05.

### **Posiciones Geodésicas Argentinas (POSGAR)**

La red POSGAR07, basada en ITRF 05 época 2006.632, es desde el 15 de mayo de 2009 el nuevo Marco de Referencia Geodésico Nacional, reemplazando al hasta entonces vigente POSGAR 94. Es compatible con el marco regional SIRGAS.

A su vez, Argentina cuenta con una Red Oficial GNSS (Global Navigation Satellite Systems) de monitoreo satelital compuesta por estaciones permanentes, llamada Red RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo SAtelital Continuo), también monitoreada y actualizada por el IGN.

Dicha red se utiliza como red de Orden cero, está conformada por las estaciones permanentes, cuyas coordenadas están en POSGAR 07.

### **GEOBA (GEOdésica Buenos Aires)**

Este marco de referencia para la Provincia de Buenos Aires se diseñó, midió y calculó entre 1996–1997. Se utilizaron aproximadamente 200 puntos (Perdomo y Del Cogliano, 1998), que presentan la característica de estar materializados por mojones de nivelación de la Red Altimétrica Nacional cuya altura sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m.) es conocida.

#### **4.5. MODELOS DE GEOIDE**

“Los modelos de altura geoidal están representados por conjuntos de coeficientes armónicos esféricos y también, por cuadrículas regulares de valores de altura geoidal. Los modelos regionales de altura de geoide pueden abarcar grandes áreas”. (Kaplan y Hegarty 2006, p.33).

El auge en los cálculos del geoide surge con la aparición de los Sistemas Globales de Navegación por Satélites.

La importancia de contar con un modelo de geoide, es que posibilita el cálculo de la cota ortométrica a partir de observaciones GNSS.

Existen distintos modelos de geoide, a nivel global, nacional y regional, aumentando la exactitud a medida que se incrementa la escala, logrando un modelo más acertado de la realidad de la superficie geoidal del lugar.

Pueden citarse algunos modelos como:

##### **EGM-96 (Earth Gravitational Model):**

Este modelo es el resultado de una colaboración entre la Agencia Nacional de Imágenes y Mapas (NIMA), el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA (GSFC) y la Universidad Estatal de Ohio, incluyendo relevamientos aero-gravimétricos sobre Groenlandia y partes del Ártico y la Antártida recolectados por el NRL (Laboratorio de Investigación Naval) y una colección de proyectos cooperativos, muchos de los cuales fueron acordados con la Universidad de Leeds.

Su comportamiento en Sudamérica fue analizado por Blitzkow (1997) y los resultados fueron positivos. En el EGM96 se incluyeron más de millón y medio de medidas gravimétricas (marítimas y terrestres) además de las propias de la geodesia espacial.

##### **EGM-08:**

El Modelo Gravitacional EGM-08 ha sido publicado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA).

##### **Modelo OSU-91:**

El Modelo Geopotencial OSU91A es un modelo global calculado, en la Universidad Estatal de Ohio (Columbus). Este modelo es el resultado de una combinación de datos provenientes de diversas técnicas que incluyen la observación de perturbaciones orbitales de satélites artificiales, altimetría oceánica por radar y datos de gravedad terrestres y aéreos.

**Modelo GEOIDE-Ar 16:**

El modelo de geoide gravimétrico GEOIDE-Ar 16 (Fig. 5) es un modelo a escala de la República Argentina. Fue desarrollado por el IGN (Piñón *et al.* 2016) junto con la RMIT University (Australia) utilizando la técnica remove-compute-restore (Schwarz, *et al.* 1990) y el modelo geopotencial GOCO05S (Mayer-Guerr, 2015) hasta su grado y orden máximo (es decir 280), junto con 671.547 mediciones de gravedad observadas en el sistema gravimétrico IGSN71 (Morelli, *et al.* 1972) sobre el territorio continental argentino, sus países limítrofes, Islas Malvinas y el litoral marino.

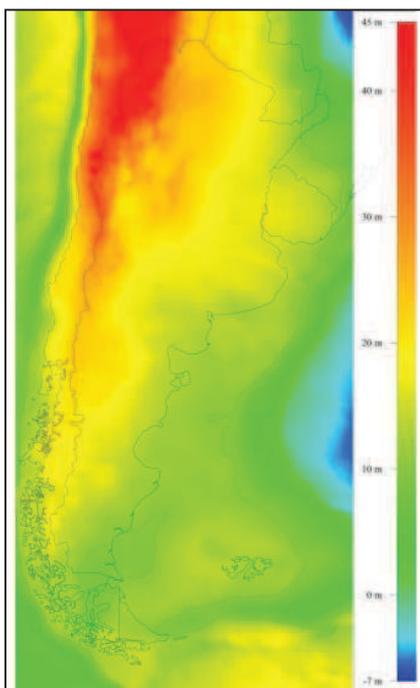


Figura 5: Modelo de Geoide "GEOIDE-Ar 16"  
Fuente: Piñón, Zhang y Cimbaro, 2016

**Modelo TDA – GEOBA:**

En 1993 la Universidad Nacional de La Plata, en convenio con el gobierno de la provincia de Tierra del Fuego, diseña, mide y calcula el primer marco de referencia GPS provincial (Perdomo *et al.*, 1993). Este modelo exitoso se propuso para la provincia de Buenos Aires sobre los puntos de la red GEOBA, permitiendo calcular para cada punto la diferencia entre las alturas elipsoidales ( $h$ ) y las correspondientes a la red altimétrica ( $H$ ), es decir la ondulación geoidal ( $N$ ).

Generando un modelo de transformación de alturas (Perdomo *et al.*, 2004; Font y Perdomo, 2004), ya que a partir de la información conocida era factible interpolar un valor de  $N$  en cualquier lugar de la provincia. Luego, determinado una altura elipsoidal con GPS, podría calcularse  $H$  como  $h - N$ .

## 5. NIVELACIÓN

### 5.1. RED DE NIVELACIÓN

Una red de nivelación está constituida por una serie de puntos de control distribuidos sobre una región determinada en donde la información que provee cada uno de ellos son coordenadas conocidas respecto de una superficie de referencia. Brinda a su vez, un marco de referencia de gran importancia porque sirve de apoyo en diferentes tareas topográficas, de ingeniería, de ciencia e investigación.

#### **Red de Nivelación del Instituto Geográfico Nacional (IGN)**

En el año 1969 mediante observaciones y mediciones sobre pilares se establece el Sistema de Referencia Nacional Vertical cuyos resultados se vieron en el año 1971 (Fig. 6). Está compuesto por 2.020 líneas de nivelación y 33.892 pilares.

Las líneas son clasificadas de acuerdo al siguiente criterio:

- Alta Precisión.
- Precisión.
- Topográficos.

En el año 2010 el IGN inicia el proceso de reajuste de la red de nivelación de Alta Precisión en función de desniveles geopotenciales para obtener alturas ortométricas de pilares que componen la red, es decir, un sistema de referencia altimétrico que contemple los efectos del campo gravitatorio terrestre. Este sistema reajustado fue publicado en el año 2016, como Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16).

Dentro del partido de Bahía Blanca, existen alrededor de 51 puntos fijos pertenecientes a esta red, con la dificultad de que aproximadamente el 90% de esos puntos están desaparecidos, destruidos o corridos de lugar. Su antigüedad (datan del año 1923) y las nuevas urbanizaciones, rutas y/o asentamientos precarios han provocado la situación mencionada.

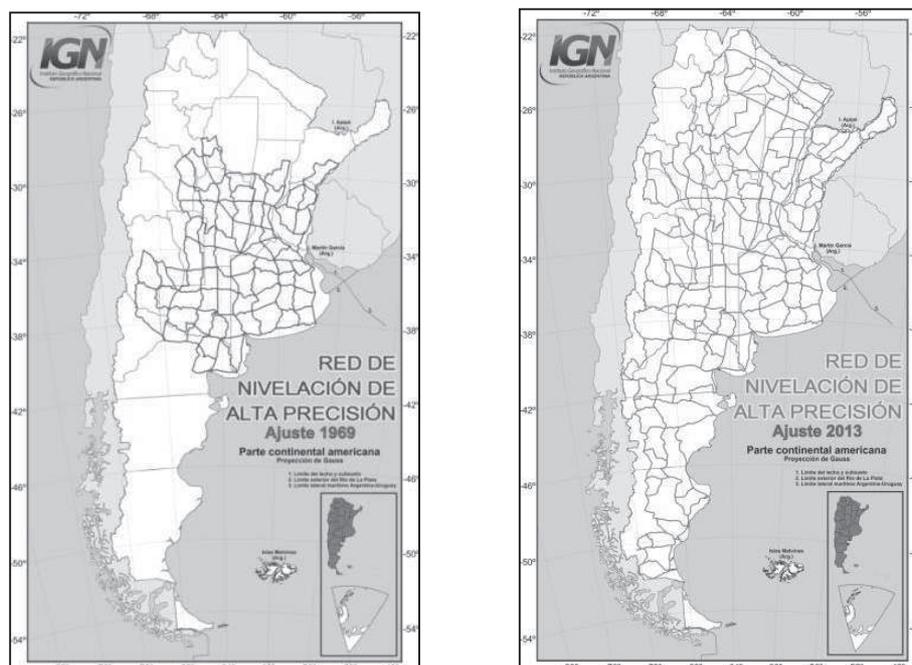


Figura 6: Evolución de la Red de nivelación del IGN  
Fuente: Piñon, Guagni y Cimbaro, 2016

### Red de nivelación de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca

La red de la Municipalidad de Bahía Blanca está materializada por 196 ménsulas en los muros ubicados sobre la línea municipal.

Esta red contiene información de alturas obtenidas por un trabajo de nivelación realizado por el gobierno municipal, en donde las cotas de las ménsulas están referidas al SRVN del año 1971, utilizando como punto de partida al NODAL 67 de la red de alta precisión del IGN, ubicado en la Plaza “Almirante Guillermo Brown” en la zona del macrocentro de la ciudad.

Catastro Municipal cuenta con un archivo de datos de los puntos, ubicación, altura y posición de la ménsula. También en este caso, hay ménsulas que ya no se encuentran en el lugar indicado o se han realizado construcciones sobre ellas, pero en su mayoría están existentes.

### 5.2. MÉTODOS DE NIVELACIÓN

Nivelar significa determinar la altitud de un punto respecto a un plano horizontal de referencia. Como su nombre lo indica, quiere decir que permite encontrar la diferencia de nivel entre dos puntos, para lo cual se hará uso de instrumental específico (nivel y mira), partiendo de un punto con altitud conocida.

A modo de simplificar los métodos existentes se presenta el siguiente esquema (Fig. 7):

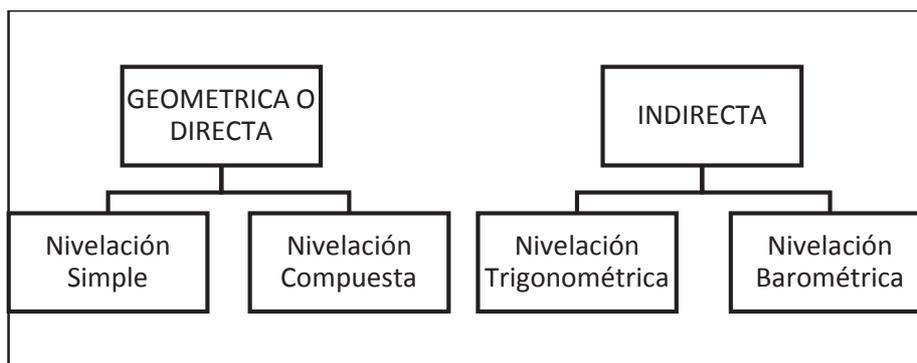


Figura 7: Esquema tipos de nivelación

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.1. NIVELACIÓN GEOMÉTRICA O DIRECTA

Permite la determinación del desnivel existente entre dos puntos mediante visuales horizontales hacia miras o reglas graduadas, que se ubican en posición vertical sobre los puntos a nivelar (Domínguez García-Tejero, 1997).

La nivelación por geométrica o por alturas puede ser simple o compuesta.

Es simple cuando los puntos cuyo desnivel se pretende tomar están próximos; y si por el contrario están alejados y es preciso tomar puntos intermedios, haciendo cambios de estación, se trata de una nivelación compuesta. El desnivel ( $\Delta H$ ) existente entre dos puntos 1 y 2 cualquiera del terreno se calcula inmediatamente hallando la diferencia entre las lecturas de la mira sobre los mismos, de la siguiente forma:

$$\Delta H = I_2 - I_1$$

Las *nivelaciones simples*, consideran una posición del instrumental que puede hacerse por el método del punto medio, por el del punto extremo, por estaciones recíprocas y por el de estaciones equidistantes. Y las *nivelaciones compuestas* o de itinerario altimétrico, consideran más de una posición del instrumental por lo que no son sino una repetición de nivelaciones simples; comprenden los métodos del punto medio, de estaciones dobles y de estaciones equidistantes. (Dominguez García-Tejero, 1997)

El método de nivelación por el punto medio, además de ser el más recomendable es el único que elimina los errores sistemáticos del nivel, incluso los de defectuosa corrección, esfericidad y refracción.

## **5.2.2. NIVELACIÓN INDIRECTA**

### **5.2.2.1. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA (POR PENDIENTES)**

Mediante este sistema se determinan los desniveles a través de la medición de ángulos verticales o cenitales y las distancias entre los puntos a nivelar. Se puede determinar con una cinta y un teodolito, o con estación total al basar sus resoluciones en un triángulo rectángulo situado en un plano vertical, por lo que se toma la medida de distancias horizontales y ángulos verticales o cenitales.

Realizadas las operaciones correspondientes, la diferencia de cota entre ambos puntos 1 y 2 del terreno estará dada por:

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

Este tipo de nivelación se utiliza principalmente en terrenos con pendientes muy pronunciadas.

### **5.2.2.2. NIVELACIÓN BAROMÉTRICA**

Se determina la diferencia de nivel, en este caso, por medio de un barómetro o altímetro, puesto que la diferencia de altura existente entre dos puntos se puede medir aproximadamente de acuerdo con sus posiciones relativas bajo la superficie de la atmósfera, con relación al peso del aire o presión atmosférica gravitante sobre ellos, que se determina por el barómetro.

Dicho método es el más impreciso de todos los expuestos.

### **5.2.3. NIVELACIÓN POR TÉCNICAS ESPACIALES**

En la nivelación por técnicas espaciales, más precisamente con GPS, si se requiere trabajar con cierto grado de precisión, deben considerarse dos superficies de referencia. El elipsoide, al que se refieren las mediciones realizadas con GPS y el geoide, superficie de referencia de las alturas de tipo física.

Se podrá calcular la cota ortométrica  $H$  (que interesa en nivelación) si el valor de ondulación geoidal  $N$  en ese punto es conocido.

## 6. GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)

La tecnología GNSS permite el posicionamiento y localización (latitud, longitud, altitud y tiempo) a través de observaciones a constelaciones de satélites que emiten señales en cualquier parte de la tierra, mar o aire.

Hoy en día, se pueden citar cuatro constelaciones:

- Global Positioning System (GPS). Diseñado e implementado por el Departamento de Defensa, perteneciente a los Estados Unidos.
- Global Navigation Satellite System (GLONASS). Sistema ruso desarrollado en la década del '70.
- GALILEO. Dirigido por la Unión Europea a partir del año 1999.
- BEIDOU. Desarrollado por la República Popular de China, para trabajar en conjunto con el sistema Galileo.

La tecnología utilizada en el presente trabajo fue la de GPS, es por eso que se detallarán las características y métodos de posicionamiento de la misma.

### 6.1. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

El funcionamiento de los sistemas de navegación por satélite se basa en la medida de las distancias existentes entre el receptor cuya posición se quiere determinar y un conjunto de satélites (puntos de referencia) cuya posición se conoce con precisión. Este procedimiento se conoce como Trilateración inversa. Permite de esta forma, la determinación de la posición, velocidad y tiempo en un sistema de referencia común y en cualquier lugar del planeta (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2008).

El fundamento geométrico (Fig. 8) se caracteriza con un vector de posición  $P$  que está dado por la suma algebraica del vector  $S$  y la magnitud observable  $\rho$  (definida por la medición de distancias hacia un mínimo de cuatro satélites GPS). El proceso se da sobre la superficie de un elipsoide de revolución vinculado a un sistema de referencia geocéntrico global. De ello surgen las coordenadas del punto observado.

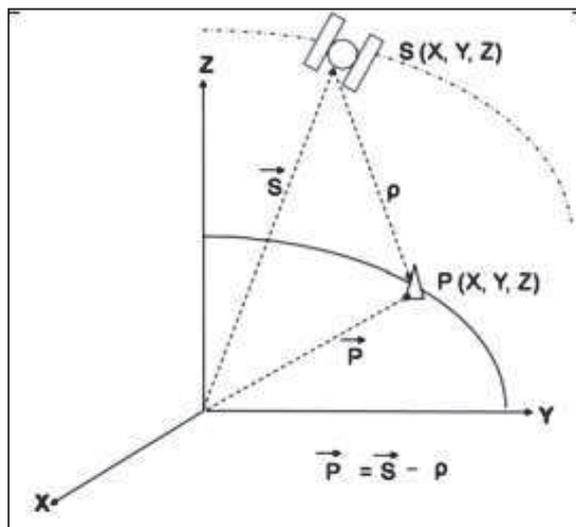


Figura 8: Principio de posicionamiento GPS.

Fuente: Cioce Pérez, 2009

El GPS está compuesto por tres segmentos:

- **Segmento espacial:** conformado por la constelación de satélites GPS disponibles las 24 horas sobre cualquier punto del planeta. La señal, es una señal de radio con frecuencia en la banda L del espectro electromagnético y es la encargada de transmitir la información de interés para los usuarios de esta tecnología.
- **Segmento de control:** integrado por un conjunto de estaciones monitoras, inyectoras y por una estación central de control. Además, deben mantener la constelación de satélites, predicción de órbitas, parámetros de los relojes internos de cada uno, actualizar el mensaje de navegación, definir y mantener el tiempo GPS.
- **Segmento del usuario:** conformado por el conjunto de usuarios y de receptores capaces de recibir y procesar la información que viene en la señal GPS. Este es un segmento "pasivo".

El observable básico es el tiempo que tarda la señal en viajar desde la antena del satélite hasta la antena del receptor, que es escalada a un rango o distancia a partir de la velocidad de propagación de la señal, es decir, la velocidad de la luz en el vacío (Seeber, 2003). Se puede decir que la técnica GPS es de tipo unidireccional ya que la onda electromagnética que emite el satélite recorre el camino de éste al receptor.

Pero esta técnica de observación GPS no es suficiente de resolver con un solo satélite, sino que pensando en que cada uno determina la posición del receptor sobre una esfera con centro en él mismo y radio igual a la distancia satélite-receptor se necesitan cuatro satélites, lo que se conoce como Trilateración desde satélites.

Es decir, asumiendo que la distancia hacia un satélite es conocida, la posición de la antena puede estar en cualquier punto sobre la superficie de la esfera generada.

Si se incorpora la distancia hacia un segundo satélite se generan dos esferas cuya intersección genera un círculo. La posición de la antena estará en algún punto sobre este círculo. Si se incorpora la distancia a un tercer satélite, la esfera generada se intercepta sobre dos puntos en el círculo. Uno de éstos es una posición degradada producida por una respuesta indeseada. Para lograr una única posición es necesario observar cuatro satélites. Por lo tanto, se necesitan cuatro satélites (Fig. 9) como mínimo para determinar la solución de las cuatro incógnitas: coordenadas X, Y, Z y T (Tiempo).

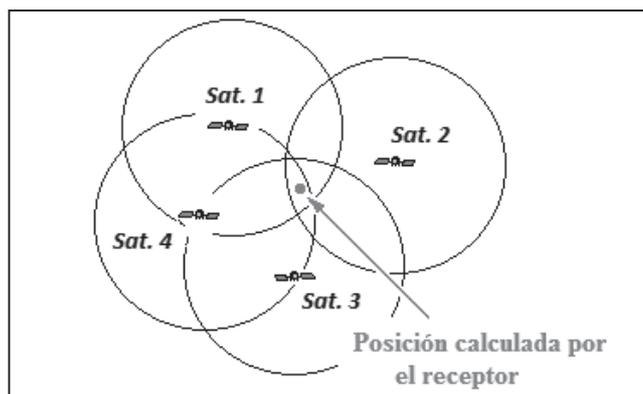


Figura 9: Posicionamiento GPS – Intersección de las cuatro esferas

Fuente: <http://www.oafa-unsj.edu.ar>

Para lograr este funcionamiento debe existir una correlación y sincronización entre un reloj en el satélite que marca el momento en que la señal parte y otro reloj, instalado en el receptor, que marca el momento en que ésta llega (Van Sickle, 2001).

En la técnica de *medición por código*, el satélite emite un impulso (código) mientras que el receptor genera una réplica exacta, pero existe una diferencia de tiempo entre que el satélite ya emite la señal y el momento en que el receptor la recibe, por este motivo se desfasan. El módulo del receptor compara el código recibido con el generado, determinando la diferencia de tiempo entre las partes iguales del código (Fig. 10). A partir de la medida del tiempo de retardo, es posible calcular la distancia que separa receptor y satélite, multiplicándola por la velocidad de la luz. Todos los receptores GPS realizan algunas correcciones para los retardos de señal.

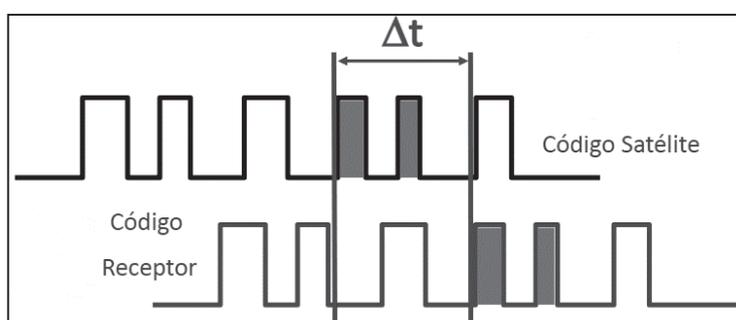


Figura 10: Tiempo de retardo entre Satélite y Receptor.

Fuente: Valverde Calderón, 2014

Para todas las señales GPS se usa una *frecuencia fundamental* de 10.23 Mega Hertz (MHz), que es conducida por el reloj del satélite. De esta frecuencia se deducen los siguientes canales:

L1 = 154 x 10.23 MHz = 1575.42 MHz (correspondiente a una  $\lambda = 19 \text{ cm.}$ )

L2 = 120 x 10.23 MHz = 1227.60 MHz (correspondiente a una  $\lambda = 24 \text{ cm.}$ )

Ambas frecuencias están moduladas con *códigos*, también derivados de la frecuencia fundamental.

- El código C/A (de Adquisición Rápida) es emitido con una frecuencia de 1.023 MHz y posee una longitud de onda aproximada de 300 m. El código, secuencia binaria, se repite íntegramente cada milisegundo. Es modulado solo sobre L1.
- El código P (Precisión) es modulado en ambas frecuencias tiene una frecuencia de 10.23 MHz y una longitud de onda aproximada de 30 m. Se repite cada 267 días. Con lo cual, la precisión que puede lograrse en el caso del código P es 10 veces más alta que en el caso del código C/A.

Para transmitir información acerca del satélite (efemérides, situación del reloj del satélite, estado de salud del satélite, etc.) se modula también lo que se conoce como "*mensaje de navegación*" sobre ambos canales.

En cuanto a la *medición por diferencia de fase*, consiste en comparar una frecuencia de referencia, generada por el receptor, con la frecuencia de la onda captada del satélite, una vez desmodulada. Las frecuencias, tanto la emitida por el satélite como la generada por el receptor, deben ser iguales. Al controlar la fase, lo que se observa es el desfase entre la señal recibida y la generada por el receptor ( $\Delta\phi$ , medida en función de la variación 0°- 360°).

Al conocer la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la señal y el desfase, lo que resta conocer para calcular la distancia es el número de ciclos completos ( $N$ ) que ha descrito la señal en su recorrido, ya que la distancia será:  $D = \lambda * (N + \Delta\phi)$ . (Fig. 11)

El valor  $N$  se denomina ambigüedad y se obtiene, para un instante determinado, con un proceso de cálculo. La condición que se debe cumplir, utilizando este método, es no perder el satélite en ningún momento durante la observación, porque esto genera una interrupción en el conteo de los ciclos.

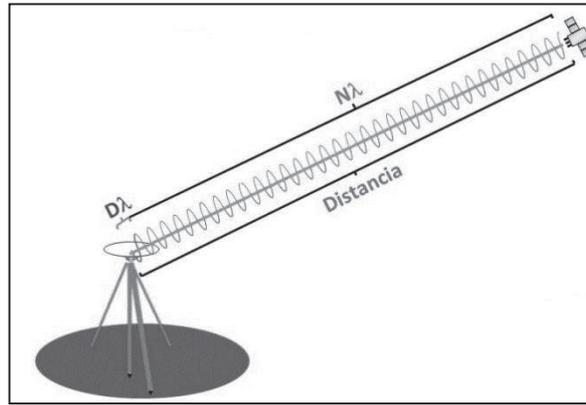


Figura 11: Medida de la distancia Satélite – Receptor por diferencia de fase.

Fuente: Valverde Calderón, 2014

## 6.2. TIPOS DE POSICIONAMIENTO

Existen tantas clasificaciones de los procedimientos observacionales GNSS como autores, sin embargo, una muy pedagógica y completa es la siguiente (Hoyer, 2002):

- De acuerdo a la naturaleza de la medición:
  - Absoluta*: Un solo equipo que no se comunica o recibe correcciones de otro equipo o fuente diferente a los satélites GNSS.
  - Relativa*: Dos o más equipos que se comunican o intercambian información.
  
- De acuerdo a la obtención de resultados:
  - Post-procesado*: si el resultado se obtiene algún tiempo después, generalmente en oficina después de un procesamiento.
  - Tiempo real*: si el resultado final deseado se obtiene en el mismo instante de la medición.
  
- De acuerdo a la movilidad del equipo (o equipos):
  - Estático*: el equipo permanece inmóvil sobre el punto que se desea saber sus coordenadas por un tiempo considerable.
  - Estático rápido*: es el mismo procedimiento mencionado anteriormente, solamente que el tiempo sobre el punto es reducido, entre 10 a 20 o 25 minutos.
  - Cinemático*: el equipo se mueve por una trayectoria y recolecta datos constantemente.
  - Variantes*, por ejemplo “*stop and go*” en donde por pequeños lapsos de tiempos se estaciona sobre un punto y se sigue una trayectoria. Es una combinación entre estático rápido y cinemático.

## 7. CAMPAÑA

### 7.1. PROGRAMACION DE LA CAMPAÑA

Inicialmente, se confeccionó una base de datos con los Puntos Fijos (PF) del SRVN '16 que se encontraban dentro del ejido de la ciudad de Bahía Blanca. Ésta base de datos contenía los siguientes datos:

- Nomenclatura del PF
- Latitud
- Longitud
- N (Según IGN)
- Cota SRVN '16
- Lugar acotado
- Estado
- Ubicación
- Monografía
- Observaciones

Las características anteriormente mencionadas fueron obtenidas a través del portal web del IGN, apartado de Geodesia (Fig. 12).

The screenshot shows the IGN website interface. At the top, there is a blue header with the IGN logo and navigation links: 'Nuestro Instituto', 'Nuestras Actividades', and 'Nuestros Servicios'. Below the header, the main content area is titled 'HERRAMIENTAS DE BÚSQUEDA'. A text block explains that users can access search tools for pillars belonging to the Argentine Leveling Network (RN-Ar) and provides contact information for height conversion requests. Below this, a section titled 'LISTADO DE PUNTOS DE NIVELACIÓN' displays a table with search results for 'NODAL 67'.

| Nomenclatura | Latitud        | Longitud       | Prec. | Detalle |
|--------------|----------------|----------------|-------|---------|
| NODAL 67     | -38° 43' 37.9" | -62° 16' 28.6" | 15 m  | Ver     |

Below the table, there are buttons for exporting the data: 'Exportar Excel', 'Exportar Google Earth', 'Exportar MapSource', 'Exportar OziExplorer', and 'Exportar Shape'. A 'Volver a Buscar' button is also present. At the bottom, it shows 'Filtros utilizados' and 'Nomenclatura: NODAL 67'.

Figura 12: Página web IGN. Búsqueda de PF  
Fuente: Página Web del IGN

Como complemento se exportaron las coordenadas latitud y longitud de cada punto al software Google Earth lo que permitió tener una aproximación más exacta de cada punto en el terreno. De allí surgieron monografías de cada uno de ellos que se complementaron a las otorgadas por el IGN, las cuales datan del año 1962 (Fig. 13).

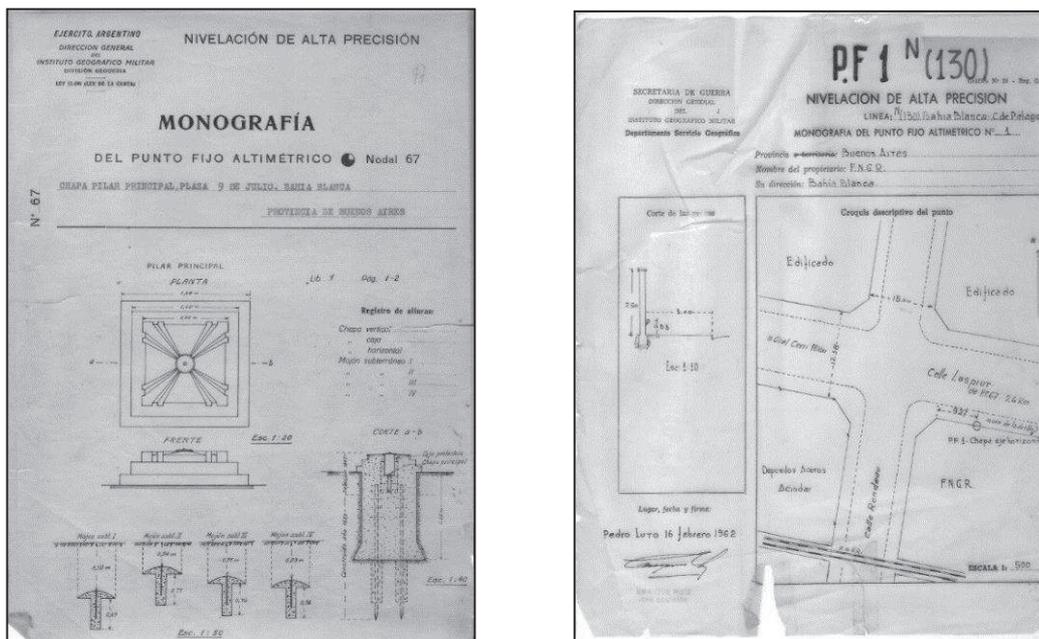


Figura 13: Monografías PF del SRVN '16  
Fuente: Archivo digital del IGN

Una tarea adicional en gabinete fue la confección de las planillas de campaña:

1. Planilla de PF: en donde se volcaron algunos campos de la base de datos. Estas planillas junto con las monografías ayudaron a encontrar el PF.
2. Planilla de transporte de cota.

En los inicios de las campañas, la inexistencia de los PF del SRVN '16 ocasionó una demora en el avance natural de la programación, exigiendo una reprogramación de la metodología, para poder cumplir con los objetivos planteados en un comienzo.

Los PF del SRVN '16 datan del año 1923. Con el paso de los años, las nuevas urbanizaciones, vías de comunicación y el vandalismo, muchos de ellos ya no se encuentran en sus lugares originales por haber sido removidos o robados. Tal es así que de 24 puntos fijos seleccionados dentro de la ciudad solamente se encontraron 4.

|          |             |          |          |
|----------|-------------|----------|----------|
| NODAL 67 | PF 61N (30) | PF 1N 48 | PF 4N 48 |
|----------|-------------|----------|----------|

Esta situación provocó una modificación en la programación planteada ya que con 4 PF no se podía lograr un modelo de geoide local, por lo tanto, se decidió agregar las ménsulas de la Red de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca, con la particularidad de que dichas ménsulas tienen cota en el SRVN'71 lo que no le otorgaba calidad de cota ortométrica, es decir que no se encuentran corregidas por gravedad.

Frente a esta situación, se reestructuró la metodología de trabajo en tres etapas:

Primera etapa: Control de exactitud de ménsulas municipales.

Segunda etapa: Selección de puntos fijos y ménsulas municipales. Medición con GPS

Tercera etapa: Cálculos para generar el modelo de geoide local.

## 7.2. MÉTODO DE TRABAJO DE CAMPAÑA

### 7.2.1. PRIMERA ETAPA: CONTROL DE EXACTITUD DE MÉNSULAS MUNICIPALES

La Oficina de Catastro Municipal es quién tiene la facultad de llevar un registro de las ménsulas distribuidas dentro de la ciudad, es por ese motivo que se realizó una visita a dicha entidad estatal para obtener la información necesaria para poder avanzar con las tareas programadas. Allí se consultaron y obtuvieron tanto un plano en formato digital (.dwg) con la distribución de las ménsulas como el listado con la nomenclatura, cota y ubicación de cada una de ellas. Dichos PF pertenecen a una red de 3er y 4to orden que midió la Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires y tienen por nomenclatura GXXX. En el presente trabajo se mencionan como “Ménsulas Municipales”.

Esta información completó la base de datos inicialmente confeccionada para los PF del SRVN'16.

De forma de poder controlar la exactitud de los valores de las cotas que figuraban en el listado, se tomaron como testigos las ménsulas municipales que estaban próximas a los PF de la Red de Alta Precisión encontrados y desde cada uno de ellos, por nivelación compuesta desde el medio con nivel digital marca Topcon y mira invar (Fig. 14 y 15), se calcularon las cotas de las ménsulas en el SRVN'71 ya que de los PF se cuenta con ambos valores: Cota en el sistema del año 1971 y del año 2016.

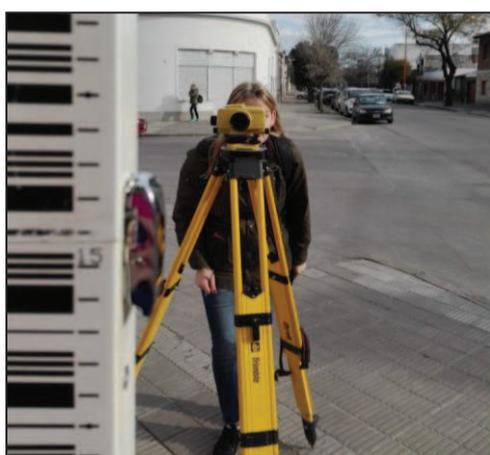


Figura 14: Nivelación con nivel digital  
Fuente: Propia



Figura 15: Punto Fijo de la Red de Alta Precisión  
Fuente: Propia

Asegurado el cierre del polígono de nivelación, se compararon las cotas de las ménsulas obtenidas por cálculos (transporte de cota) y las brindadas por la municipalidad (Tabla I).

| PUNTO              | SRVN 71                    |                          | Diferencia | Polígono de Nivelación |
|--------------------|----------------------------|--------------------------|------------|------------------------|
|                    | Cota Ménsula Municipal (m) |                          |            |                        |
|                    | Dato                       | Calculada por nivelación |            |                        |
| <b>Nodal 67</b>    | ///                        | <b>16,972</b>            |            | I                      |
| G071               | 17,849                     | 17,852                   | 0,0027     |                        |
| G001               | 17,408                     | 17,410                   | 0,0017     |                        |
| G002               | 16,656                     | 16,672                   | 0,0162     |                        |
| G003               | 16,553                     | 16,562                   | 0,0086     |                        |
| <b>PF 61 N(30)</b> | ///                        | <b>23,736</b>            |            | II                     |
| G042               | 22,273                     | 22,270                   | -0,0034    |                        |
| G022               | 23,294                     | 23,291                   | -0,0032    |                        |
| <b>PF 1 N48</b>    | ///                        | <b>19,150</b>            |            | III                    |
| G059               | 19,946                     | 20,050                   | 0,1040     |                        |
| G070               | 19,026                     | 19,120                   | 0,0944     |                        |
| <b>PROMEDIO</b>    |                            |                          | 0,0276     |                        |

Tabla I: Comparación Cota Municipal y Cota calculada

Fuente: Propia

Este control, arrojó diferencias que van desde 2 mm a 10 cm, entre cotas municipales y las que se obtuvieron por nivelación partiendo de los PF de Alta Precisión, utilizando como cota conocida la correspondiente al SRVN71.

Estos valores muestran la magnitud de los errores que podrían afectar el modelo local al considerar puntos de la Red de Catastro Municipal.

### 7.2.2. SEGUNDA ETAPA: SELECCIÓN DE PUNTOS FIJOS Y MÉNSULAS MUNICIPALES. MEDICIÓN CON GPS

Para poder dar paso a la medición con GPS se seleccionaron puntos (ménsulas) formando una grilla de 20 cuadras por 20 cuadras, para ello se trabajó sobre el plano digital de la municipalidad. Se consideró ese tamaño de cuadrícula debido a que las variaciones en N no son notables en distancias menores (pueden considerarse paralelos el geoide y el elipsoide).

Aquí también se tuvo en cuenta el factor de inexistencia de algunas ménsulas, por lo que se eligieron dos o tres ménsulas aledañas para su reemplazo durante el transcurso de la campaña, en caso de ser necesario.

En la siguiente Tabla I se muestra un listado de PF de alta precisión y ménsulas municipales distribuidos en la ciudad, utilizados para generar el modelo de geoide local.

| Puntos Fijos | Latitud (grados decimales) | Longitud (grados decimales) | Ubicación (Calle-altura) |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| G132         | -38,6899                   | -62,2607                    | Florida 1667             |
| G148         | -38,6934                   | -62,2957                    | Zelarrayán 2876          |
| G158         | -38,7034                   | -62,2997                    | Terrada 2456             |
| G167         | -38,7100                   | -62,3101                    | Don Bosco 2583           |
| G142         | -38,7013                   | -62,2766                    | Zapiola 1414             |
| G055         | -38,7114                   | -62,2618                    | Rodríguez 531            |
| G051         | -38,7228                   | -62,2761                    | Rondeau 607              |
| G160         | -38,7095                   | -62,2912                    | Terrada 1605             |
| G115         | -38,7138                   | -62,2423                    | Haití 800                |
| G106         | -38,7256                   | -62,2267                    | Haití 2240               |
| G085         | -38,7381                   | -62,2401                    | Maipú 2315               |
| G091         | -38,7442                   | -62,2235                    | Pilcaniyen 400           |
| G175         | -38,7215                   | -62,3034                    | Pampa Central 1529       |
| G181         | -38,7368                   | -62,2892                    | Av. Colon 2036           |
| G193         | -38,7525                   | -62,2726                    | Juana Azurduy 1879       |
| G074         | -38,7221                   | -62,2532                    | Parchape 902             |
| G037         | -38,7382                   | -62,2694                    | Pedro Pico 1178          |
| G124         | -38,7474                   | -62,2545                    | Brickman 2161            |
| NODAL 67     | -38,7272                   | -62,2579                    | Plaza Ate. Brown         |
| PF 61N (30)  | -38,7117                   | -62,2780                    | Bravard 41               |
| PF 1N (48)   | -38,7213                   | -62,2547                    | Av. Gral D. Cerri 750    |
| PF 4N (48)   | -38,7540                   | -62,1813                    | Rafael Obligado 6044     |

Tabla II: Listado de PF y Ménsulas Municipales

Fuente: Propia

## Campaña

Las campañas de medición GPS fueron desarrolladas durante los meses de Junio a Septiembre del año 2018 con una duración de aproximadamente 4 a 5 horas cada una, pudiendo medir una totalidad de 4 puntos fijos por salida.

Para cada salida a campo se contó con:

- GPS doble frecuencia. Marca TRIMBLE 4800
- Nivel Electrónico. Marca Topcon DL 101c
- Mira Invar.
- Cinta.
- Trípode.
- Sapo.
- Notebook Hewlett Packard (HP).

Debido a que los PF se encontraban sobre los muros de las edificaciones (Fig. 16), se tuvo en cuenta la realización de un transporte de cota hacia un punto externo (PE), lo más cercano posible a la ménsula y donde las condiciones del lugar permitan la observación GPS de forma correcta. (Columna “Transporte de cota”. Anexo I).

Sobre los PE, se realizó la medición con equipos GPS marca TRIMBLE 4800 (Fig. 17), en modo estático diferencial, con un intervalo de registro de 5 segundos durante 20 minutos, utilizando una máscara de elevación de 13° promedio.



Figura 16: Ménsula de la Red de Alta Precisión sobre muro.  
Fuente: Propia



Figura 17: Medición con GPS TRIMBLE 4800 sobre PE  
Fuente: Propia

### Procesamiento de datos

El procesamiento se realizó con el software específico “Trimble Business Center (TBC)”. Se tomó como referencia al punto VBCA perteneciente a la red RAMSAC con coordenadas POSGAR 07.

Los archivos RINEX (Receiver INdependent Exchange) de la estación permanente VBCA, correspondientes a cada día de campaña, fueron descargados por medio de la página web del IGN.

Luego, las líneas base se procesaron colocando como punto control a VBCA. Analizando los parámetros de procesamiento, se mejoraron estos valores trabajando sobre la máscara de elevación y eliminando o acotando el registro de los satélites con mayor ruido, obteniéndose los datos precisos de cada punto medido: latitud, longitud y altura elipsoidal (h) (Fig. 18).

La altura elipsoidal de cada punto medido con GPS consta en la columna 2 del Anexo I.

| Componentes del vector (Marca a marca) |                   |                    |                  |            |                  |
|--|-------------------|--------------------|------------------|------------|------------------|
| De:                                    | VBCA              |                    |                  |            |                  |
|  | <b>Cuadrícula</b> |                    | <b>Local</b>     |            | <b>Global</b>    |
| Este                                   | 4563570.378 m     | Latitud            | S38°42'02.76549" | Latitud    | S38°42'02.76549" |
| Norte                                  | 5716426.768 m     | Longitud           | O62°16'09.21762" | Longitud   | O62°16'09.21762" |
| Elevación                              | 45.104 m          | Altura             | 59.479 m         | Altura     | 59.479 m         |
| A:                                     | 1983              |                    |                  |            |                  |
|  | <b>Cuadrícula</b> |                    | <b>Local</b>     |            | <b>Global</b>    |
| Este                                   | 4564574.134 m     | Latitud            | S38°43'37.80877" | Latitud    | S38°43'37.80877" |
| Norte                                  | 5713487.687 m     | Longitud           | O62°15'26.69572" | Longitud   | O62°15'26.69572" |
| Elevación                              | 17.664 m          | Altura             | 32.008 m         | Altura     | 32.008 m         |
| <b>Vector</b>                          |                   |                    |                  |            |                  |
| $\Delta$ Este                          | 1003.756 m        | Acimut Adelante NS | 160°41'13"       | $\Delta$ X | 46.196 m         |
| $\Delta$ Norte                         | -2939.081 m       | Dist. elip         | 3105.599 m       | $\Delta$ Y | 2119.483 m       |
| $\Delta$ Elevación                     | -27.440 m         | $\Delta$ Altura    | -27.471 m        | $\Delta$ Z | -2269.647 m      |

Figura 18: Reporte del procesamiento de una línea base con TBC

Fuente: Propia

### 7.2.3. TERCERA ETAPA: CÁLCULOS PARA GENERAR EL MODELO DE GEOIDE LOCAL

Del transporte de cota entre ménsula y PE surge un  $\Delta h = \Delta H$  (se asumen iguales por ser distancias reducidas, menores a 20 m), valor que se utilizó para obtener el  $h_{PF}$  de cada ménsula a través de la siguiente fórmula  $h_{PE} - \Delta h$  (Columna 3. Anexo I).

Por otro lado, debido a que los puntos utilizados para la generación del modelo tienen distintos sistemas de referencia vertical, fue necesario realizar un ajuste, actualizando las cotas de las ménsulas municipales.

Como se mencionó anteriormente, las ménsulas municipales tienen cota referida al sistema de 1971. Para actualizarlas al nuevo SRVN'16, se consideró la diferencia de cotas de cada PF de la Red de Alta Precisión del IGN entre ambos sistemas, arrojando un promedio de 5.2 cm, que es el valor de corrección aplicado (Tabla II).

| Punto | H <sub>PF</sub><br>(msnmm)<br>SRVN'71 | Corrección<br>(Promedio)<br>(m) | H <sub>PF</sub><br>(msnmm)<br>SRVN'16 |
|-------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| G132  | 33,308                                | -0,052                          | 33,256                                |
| G148  | 22,712                                |                                 | 22,660                                |
| G158  | 20,677                                |                                 | 20,625                                |
| G167  | 17,482                                |                                 | 17,430                                |
| G142  | 25,806                                |                                 | 25,754                                |
| G055  | 23,429                                |                                 | 23,377                                |
| G051  | 20,008                                |                                 | 19,956                                |
| G160  | 21,306                                |                                 | 21,254                                |
| G115  | 38,788                                |                                 | 38,736                                |
| G106  | 52,225                                |                                 | 52,173                                |
| G085  | 13,804                                |                                 | 13,752                                |
| G091  | 10,791                                |                                 | 10,739                                |
| G175  | 13,154                                |                                 | 13,102                                |
| G181  | 8,761                                 |                                 | 8,709                                 |
| G193  | 9,332                                 |                                 | 9,280                                 |
| G074  | 19,093                                |                                 | 19,041                                |
| G037  | 10,048                                |                                 | 9,996                                 |
| G124  | 11,646                                |                                 | 11,594                                |

Tabla III: Obtención de la nueva cota para las Ménsulas Municipales en el SRVN'16.

Fuente: Propia

Los valores así obtenidos, H<sub>PF</sub>, son los que se corresponden con la columna 4 del Anexo I.

Para cada punto considerado, se calculó el N local haciendo  $N_{\text{CALC}} = h_{\text{PF}} - H_{\text{PF}}$  (Columna 5, Anexo I). Con los valores de ondulación geoidal, se realizó un primer Modelo de Geoide Local mediante el software Surfer13, utilizando el método de interpolación Kriging. Este software permite crear modelos 2D, 3D, curvas de nivel, perfiles, entre otras opciones.

El método Kriging (KRG) es una técnica de interpolación geoestadística que determina el valor de la elevación apoyado en el cálculo del promedio de las elevaciones más próximas. Éste método busca minimizar la varianza del error y llevar la media del error de los valores predecidos a cero, para que no se presenten sobre ni subestimaciones (Journel, 1978).

Esta primera aproximación del modelo arrojó algunos puntos con errores groseros o fuera de tolerancia. Éstos pueden ser atribuibles a errores que pueden provenir de la medición con GPS (escaso número de satélites en la zona céntrica por bloqueo de la señal) o cota municipal con error en la altura, como se vio en la primera etapa de control de exactitud de las ménsulas. Eliminados dichos puntos del modelo, se generó el modelo final de geoide.

## 8. RESULTADO: MODELO DE GEOIDE PARA LA CIUDAD DE BAHÍA BLANCA

El Modelo Geoidal Local se presenta en tres vistas, inicialmente puede observarse en la Figura 19 con curvas de nivel que equidistan 0,002 metros y con una escala de color para identificar de forma rápida las zonas más altas de las bajas.

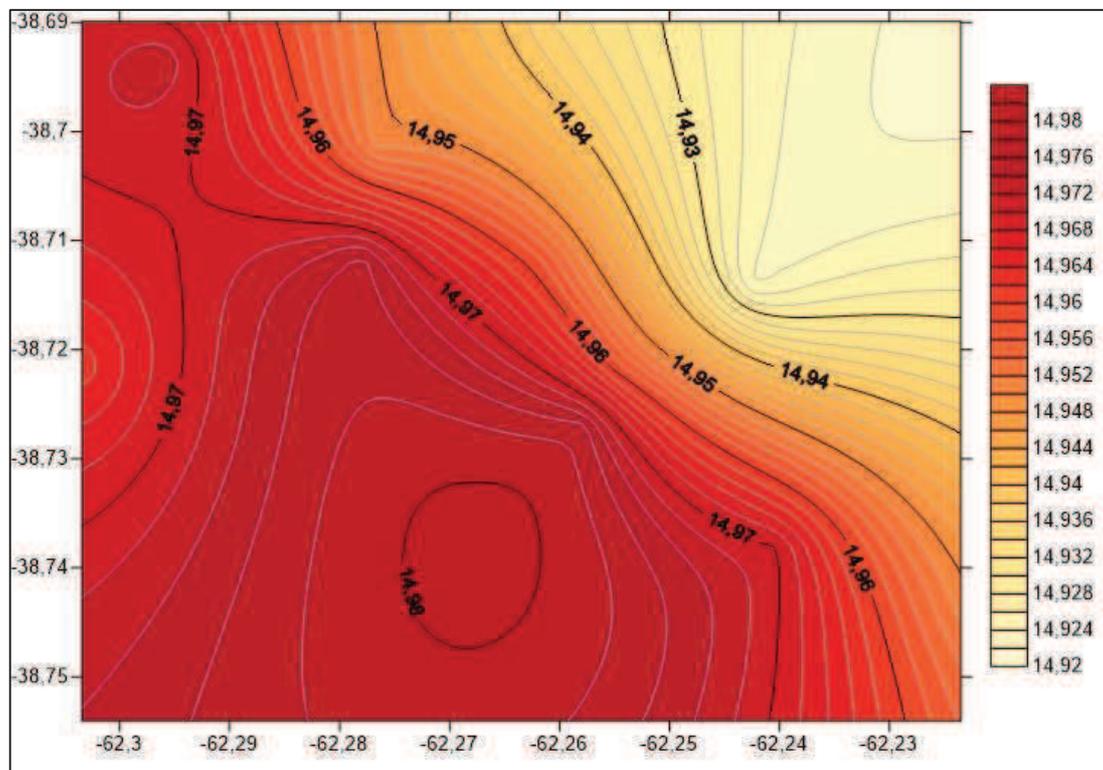


Figura 19: Modelo de Geoida Local con software Surfer  
Fuente: Propia

Los datos del modelo anterior se exportaron al Sistema de Información Geográfica (SIG) QGis de acceso libre, que utiliza archivos raster y vectoriales, logrando obtener el modelo con una equidistancia de 1 cm, sobre la base del plano de la ciudad de Bahía Blanca. En la cartografía de la figura 20, se indica también la posición de los puntos definitivos que dieron origen a dicho modelo geoidal.

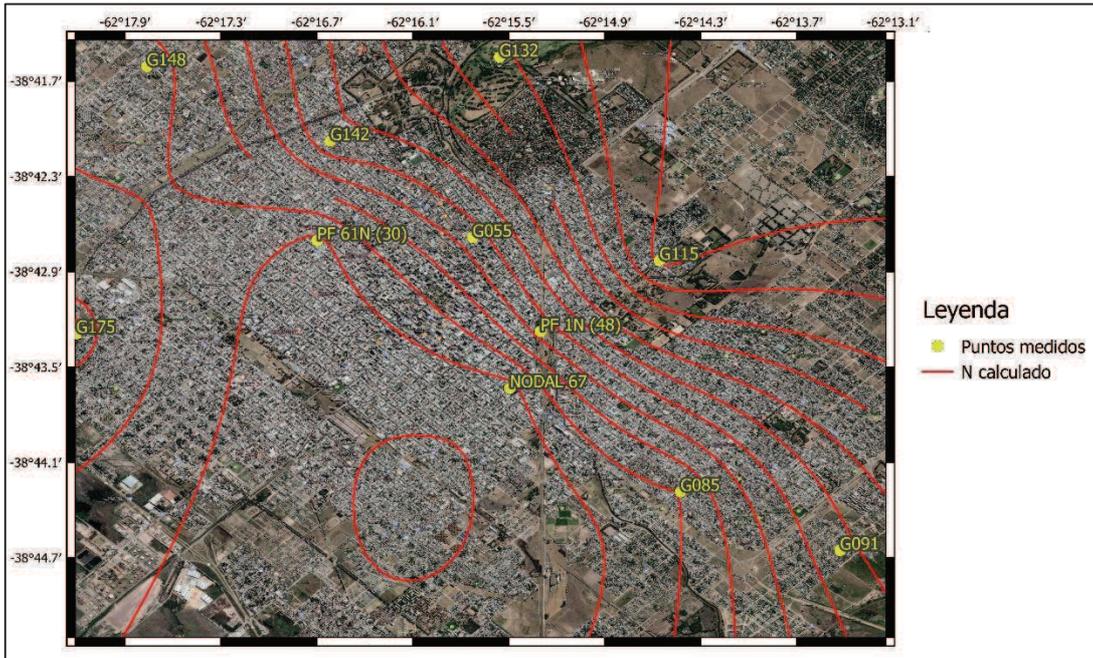


Figura 20: Modelo de Geoid local con el software QGIS  
Fuente: Propia

Por último, la vista en tres dimensiones, como lo muestra la figura 21, hace posible una interpretación del espacio estudiado, considerando que la escala vertical es exagerada, ya que la diferencia entre el punto más elevado y el de menor cota, solo presentan 6 cm de diferencia.

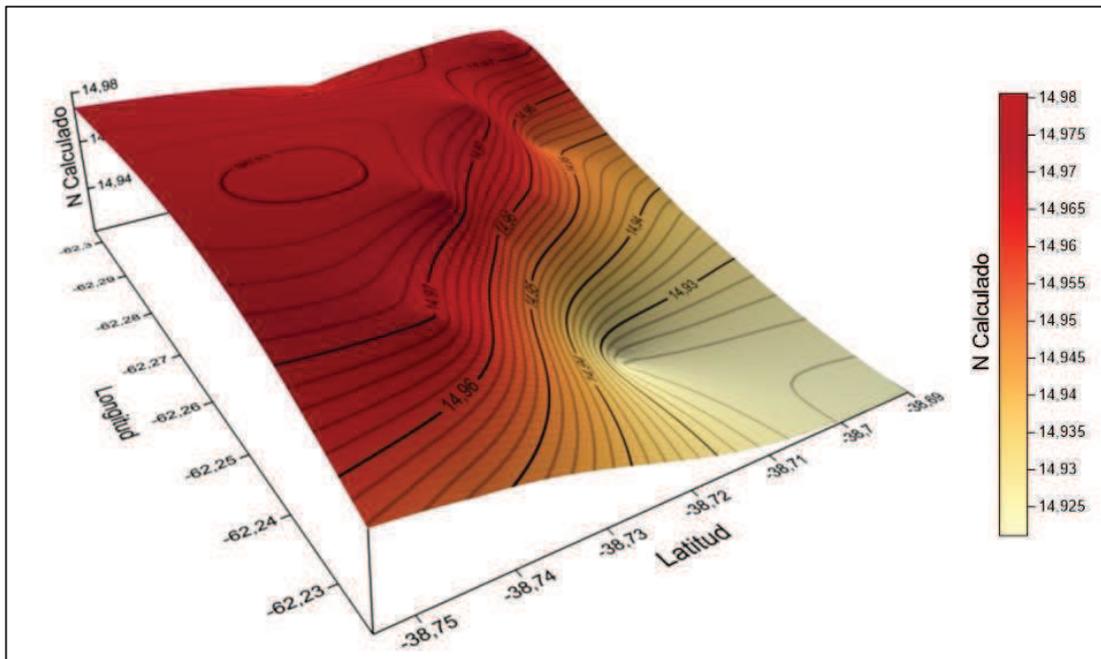


Figura 21: Modelo de Geoid Local en 3D  
Fuente: Propia

## 9. VALIDACIÓN DEL MODELO GEOIDAL LOCAL

### 9.1. VALIDACION CON EL MODELO GEOIDE-Ar16

Se obtuvieron los datos de N a partir del GEOIDE-Ar16, ingresando las coordenadas latitud y longitud de cada punto fijo y se los comparó con los valores de N del modelo local (Tabla IV).

| <b>Punto</b>       | <b>N<sub>CALC</sub><br/>(m)</b> | <b>N<sub>GEOIDE-Ar16</sub><br/>(m)</b> | <b>Diferencia<br/>(m)</b> |
|--------------------|---------------------------------|--|---------------------------|
| <b>G132</b>        | 14,936                          | 15,041                                 | 0,105                     |
| <b>G148</b>        | 14,973                          | 15,061                                 | 0,088                     |
| <b>G142</b>        | 14,951                          | 15,047                                 | 0,096                     |
| <b>G055</b>        | 14,958                          | 15,032                                 | 0,074                     |
| <b>G115</b>        | 14,924                          | 15,026                                 | 0,102                     |
| <b>G085</b>        | 14,970                          | 15,022                                 | 0,052                     |
| <b>G091</b>        | 14,952                          | 15,015                                 | 0,063                     |
| <b>G175</b>        | 14,963                          | 15,042                                 | 0,079                     |
| <b>NODAL 67</b>    | 14,977                          | 15,029                                 | 0,052                     |
| <b>PF 61N (30)</b> | 14,976                          | 15,042                                 | 0,066                     |
| <b>PF 1N (48)</b>  | 14,958                          | 15,029                                 | 0,071                     |

Tabla IV: Diferencia entre N calculado y N GEOIDE-Ar16

Fuente: Propia

Se confeccionaron dos modelos, el primero con los valores de N del GEOIDE-AR16 con igual equidistancia que el modelo local, es decir 0,002 m (Fig. 22) y el segundo considerando las diferencias entre ambos, con una equidistancia de 0,003 m (Fig. 23).

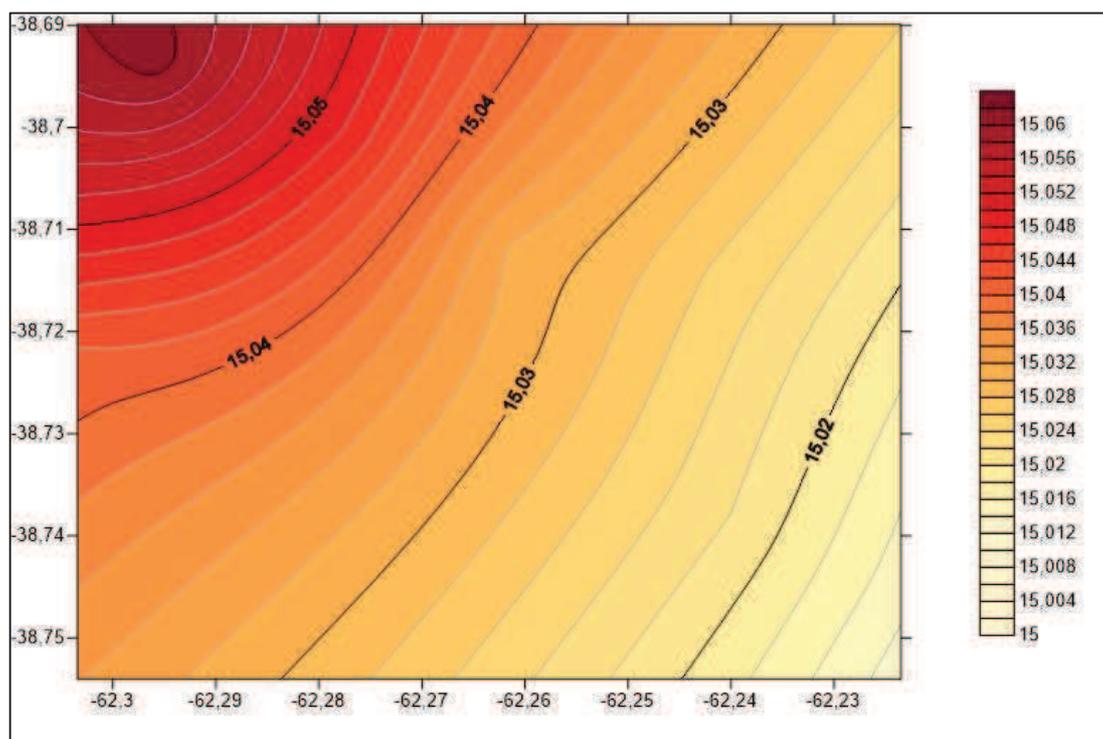


Figura 22: Modelo de GEOIDE-Ar16 con software Surfer  
Fuente: Propia

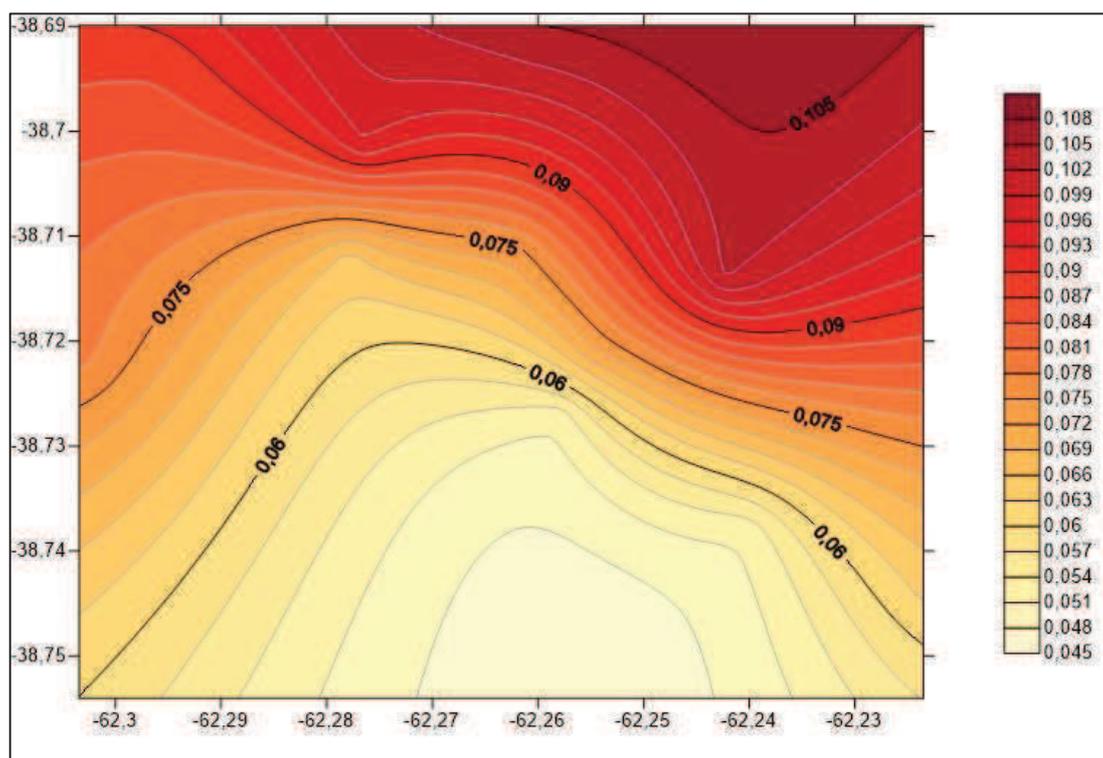


Figura 23: Diferencias entre N calculado y N del IGN  
Fuente: Propia

En la Figura 22 se observa que la pendiente de N tiene sentido NO-SE y es homogénea, a diferencia del modelo local que tiende a presentar una pendiente en el sentido SO-NE, con variaciones en diferentes aéreas (Fig. 21).

Puede observarse que la máxima diferencia en N es de 10 cm y la mínima de 5 cm, haciéndose más notables en la zona norte de la ciudad.

## 9.2. VALIDACION CRUZADA

Para verificar la calidad de un mapa interpolado debe utilizarse un conjunto de validación formado por una serie de puntos de muestreo (de los que se conoce el valor real) en los que se va a hacer una estimación de dicho valor real, sin haber sido éste utilizado para la generación del modelo. (Chiles *et al.* 1999). La diferencia entre el valor medido y el estimado es el error de estimación de cada punto.

En este caso se realizó la técnica de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989) sobre el modelo local, utilizando los 12 puntos fijos finales que sirvieron de datos para la realización del modelo de geoides. De allí surgió que el 99% de los puntos presentan un residuo inferior a 2 cm con una media de 1,8 mm y una varianza de 0,2 mm. (Fig. 24).

| <b>Univariate Cross-Validation Statistics</b> |                   |                   |
|---|-------------------|-------------------|
|   | Estimated Z       | Residual Z        |
| Count:  | 12                | 12                |
| 1%%-tile:                                     | 14.9403598116     | -0.0208428902903  |
| 5%%-tile:                                     | 14.9403598116     | -0.0208428902903  |
| 10%%-tile:                                    | 14.9428301351     | -0.0150011213211  |
| 25%%-tile:                                    | 14.9498723635     | -0.0133663491197  |
| 50%%-tile:                                    | 14.9547443143     | 0.00321931430492  |
| 75%%-tile:                                    | 14.9618128949     | 0.0107301351102   |
| 90%%-tile:                                    | 14.9650345189     | 0.0137095188619   |
| 95%%-tile:                                    | 14.9654590056     | 0.0243260750071   |
| 99%%-tile:                                    | 14.9654590056     | 0.0243260750071   |
| Minimum:                                      | 14.9403598116     | -0.0208428902903  |
| Maximum:                                      | 14.987251075      | 0.0261473634948   |
| Mean:   | 14.9576428083     | 0.00183447494601  |
| Median:                                       | 14.9556514826     | 0.00354110458359  |
| Geometric Mean:                               | 14.9576382033     | N/A               |
| Harmonic Mean:                                | 14.9576336005     | N/A               |
| Root Mean Square:                             | 14.9576474155     | 0.0147339002433   |
| Trim Mean (10%%):                             | N/A               | N/A               |
| Interquartile Mean:                           | 14.9558255933     | -0.00090360662862 |
| Midrange:                                     | 14.9638054433     | 0.00265223660226  |
| Winsorized Mean:                              | 14.955961915      | 0.000400088961941 |
| TriMean:                                      | 14.9552934717     | 0.000950603650082 |
| Variance:                                     | 0.000150354849219 | 0.000233151837875 |

Figura 24: Reporte de Validación Cruzada

Fuente: Propia

## 10. CONCLUSIONES

Un modelo de geoide local facilita la obtención de información altitudinal de superficies extensas de manera rápida, sencilla, económica y confiable, a través de observaciones con tecnología GNSS.

Contar con un modelo de geoide que se ajuste a las variaciones locales, asegura la obtención de cotas ortométricas, siempre que en el modelo se hayan tenido en cuenta valores geopotenciales. Por ello, generar un modelo a partir de datos del SRVN, cuyos valores están ajustados geopotencialmente es la mejor opción para mejorar los modelos preexistentes.

La dificultad se presenta cuando existe un déficit en la materialización de una red de alta precisión, es decir, la misma dificultad afecta tanto a la posibilidad de desarrollar una nivelación clásica (por no contar con puntos de partida de cota conocida), como a la posibilidad de contar con puntos en donde es posible calcular la ondulación geoidal a partir de la medición con GPS y el dato de la cota ortométrica.

Para el caso del ejido de la ciudad de Bahía Blanca sólo el 8% de los puntos pertenecientes al Sistema de Referencia Vertical del IGN han sido encontrados. Respecto a los de la Red de Nivelación de Catastro Municipal, un 90% están existentes, pero igualmente quedan zonas de la ciudad en donde no hay referencias de ningún tipo y la expansión de la misma ha hecho que la red mencionada no abarque toda el área.

La incertidumbre en el valor de las cotas de las ménsulas municipales varía de 2 a 16 mm surge del control de exactitud realizado sobre puntos testigo.

Los puntos de la Red de Catastro Municipal fueron utilizados como complemento de la red del IGN, teniendo la precaución de realizar las correcciones adecuadas y asumiendo un error máximo probable de 5 cm, al eliminar aquellos que arrojaban valores superiores en el modelo preliminar.

El modelo geoidal local arroja valores de  $N$  inferiores a los del GEOIDE-Ar16, discrepando entre 5 y 10 cm en una extensión total de 40 km<sup>2</sup>. Puntualmente, se observa que para los puntos de la Red de Alta Precisión esta diferencia supera en todos los casos los 5,2 cm, siendo que dichos valores fueron datos en común para ambos modelos y no obtenidos por interpolación (Valor que se condice con los 5 cm de desvío estándar asumidos por el IGN pasa su modelo según lo expresado en la documentación técnica y especificaciones).

El modelo geoidal local contempla variaciones locales de  $N$  y presenta una incertidumbre de 2 cm según los resultados de la validación cruzada, por lo que se considera que se ha logrado mejorar los modelos existentes en la zona centro y macrocentro. Es necesario pensar otra metodología para lograr el mismo objetivo en las zonas periféricas de la ciudad.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Benavidez Sosa, A. 2004. Fundamentos de Geodesia Física. Uruguay.
- Campo, A.; Gentili, J. y Silva, A. 2016. Comparación de DEM generados a partir de distintas fuentes de datos. Cuenca del arroyo Sauce Corto, Sistema de Ventania, Argentina. Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG), año 8, n° 8. Argentina.
- Chiles, J. P., Delfiner, P. 1999. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. New York, EE. UU.
- Chuvieco, E., Bosque, J.; Pons, J.; Conesa, C.; Santos, J.; Gutiérrez Puebla, J.; Salado, M.; Martín, M.; de la Riva, J.; Ojeda, J. y Prados, M., 2005. ¿Son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía? Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, AGE, N° 40, España.
- Del Cogliano, D. y Perdomo, R., 2001. Apuntes del curso de actualización Geodesia y GPS. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata.
- Domínguez García-Tejero, F. 1997. Topografía general y aplicada. Madrid, España.
- Ehrensperger, A., Wymann Von Dach, S y Kakridi Enz, F., 2007. Tecnologías de Información Geográfica para el manejo de los recursos naturales. Focus N° 3. Suiza, Schlaefli & Maurer AG. [[http://www.inforesources.ch/pdf/focus07\\_3\\_s.pdf](http://www.inforesources.ch/pdf/focus07_3_s.pdf)].
- Font, G. y Perdomo, R. 2004. Altura del geoide y cuasi geoide en la red GPS de la Pcia. de Buenos Aires. En Actas de la XXII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, Argentina.
- Heiskanen, W., Mortiz, H. 1967. Physical Geodesy. EE. UU.
- Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H. y Collins, J. 2001. Global Positioning System, theory and practice. Springer-Verlag, Wien, New York, 5° Ed.
- Hoyer, M. (2002) GPS: Conceptos Básicos y Fundamentos. Notas de clase de la cátedra Geodesia por Satélites. Escuela de Ingeniería Geodésica de la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M. 1989. Applied Geostatistics. New York, EE. UU.
- Journel, A. G., Huijbregts, C. 1978. Mining Geostatistics. Academic Press. New York, EE. UU.
- Kaplan, E., Hegarty, C. 2006. Understanding GPS. Principles and Applications. 2da. Edición. Norwood, EE.UU.

- Mayer-Guerr, T. 2015. The combined satellite gravity field model GOCO05s. EGU General Assembly, Vienna.
- Montes de Oca, S., Yelicich Pelaez, R., 2012. Estudio de metodologías utilizadas en relevamientos y replanteos topográficos con destino a obra lineal. Montevideo, Uruguay.
- Morelli, C., Gantar, C., Mcconnell, R. K., Szabo, B., Uotila, U. 1972. The international gravity standardization net 1971 (IGSN 71).
- Perdomo, R. y Del Cogliano, D., 1999. The geoid in Buenos Aires Region. International Geoid Service, Bulletin Nº 9.
- Perdomo, R., Del Cogliano, D., Gomez, M. E. Bagú D., Mendoza L. 2011. Informe Técnico para Usuarios de tdaGEOBA. Departamento de Astrometría Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas Universidad Nacional de La Plata.
- Pérez Rodino, R., Faure Valvi, J., Blanco Llerena, D., 2006. Determinaciones altimétricas vinculadas a los sistemas nacionales utilizando receptores GPS en la frontera Uruguay – Brasil. Departamento de Geodesia, Instituto de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, UDELAR. Montevideo, Uruguay.
- Piñon, D., Guagni, H., Cimbaro, S. 2016. Nuevo Sistema Vertical de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- Schwarz, K. P., Sideris, M. G., Forsberg, R. 1990. The use of FFT techniques in physical geodesy.
- Seeber G., (2003) Satellite Geodesy, 3rd. Edition. Walter de Gruyter, Berlin - New York.
- Van Sickle, J. 2001. *GPS for Land Surveyors* (Second Edition ed.). New York: Taylor & Francis.

## 12. ANEXO I

Planilla de cálculo de transporte de cota y N calculado de puntos medidos en campaña.

| 1                           |          |             | 2              | 3                 | 4                  | 5            |                |
|-----------------------------|----------|-------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------|----------------|
| Transporte de cota hacia PE |          |             | Calculo de N   |                   |                    |              |                |
| PUNTO                       | L. atrás | L. adelante | $\Delta h$ (m) | $h_{PE}$ (m)      | $h_{PF}$ (m)       | $H_{PF}$ (m) | $N_{CALC}$ (m) |
| <b>NODAL 67</b>             | 1,4905   | 1,3683      | 0,1221         | $PE_{BROWN}$      | <b>NODAL 67</b>    |              |                |
| $PE_{BROWN}$                | 1,4904   | 1,3684      |                | 32,013            | 31,891             | 16,914       | 14,977         |
| Promedio                    | 1,4905   | 1,3684      |                |                   |                    |              |                |
| <b>PF 61N (30)</b>          | 1,0346   | 1,4640      | -0,4295        | $PE_{HMUNI}$      | <b>PF 61N (30)</b> |              |                |
| $PE_{HMUNI}$                | 1,0347   | 1,4642      |                | 38,227            | 38,657             | 23,6800      | 14,976         |
| Promedio                    | 1,0347   | 1,4641      |                |                   |                    |              |                |
| <b>PF 1N (48)</b>           | 0,9200   | 1,5219      | -0,6020        | $PE_{EST. SUD}$   | <b>PF 1N (48)</b>  |              |                |
| $PE_{EST. SUD}$             | 0,9210   | 1,522       |                | 33,359            | 33,961             | 19,003       | 14,958         |
| Promedio                    | 0,9200   | 1,5220      |                |                   |                    |              |                |
| <b>PF 4N (48)</b>           | 0,9452   | 1,4915      | -0,5461        | $PE_{EST. GRUMB}$ | <b>PF 4N (48)</b>  |              |                |
| $PE_{EST. GRUMB}$           | 0,9456   | 1,4915      |                | 39,865            | 40,411             | 25,479       | 14,932         |
| Promedio                    | 0,9454   | 1,4915      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 167</b>                | 1,3724   |             | -0,3991        | $PE_5$            | <b>G 167</b>       |              |                |
| $PE_5$                      |          | 1,7715      |                | 31,993            | 32,392             | 17,4820      | 14,910         |
| Promedio                    | 1,3724   | 1,7715      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 132</b>                | 0,9262   |             | -0,6969        | $PE_6$            | <b>G 132</b>       |              |                |
| $PE_6$                      |          | 1,6231      |                | 47,495            | 48,192             | 33,3080      | 14,884         |
| Promedio                    | 0,9262   | 1,6231      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 148</b>                | 1,0508   |             | -0,4220        | $PE_7$            | <b>G 148</b>       |              |                |
| $PE_7$                      |          | 1,4728      |                | 37,211            | 37,633             | 22,712       | 14,921         |
| Promedio                    | 1,0508   | 1,4728      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 158</b>                | 1,1146   |             | -0,3733        | $PE_8$            | <b>G 158</b>       |              |                |
| $PE_8$                      |          | 1,4879      |                | 35,171            | 35,544             | 20,677       | 14,867         |
| Promedio                    | 1,1146   | 1,4879      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 142</b>                | 0,9231   |             | -1,1742        | $PE_9$            | <b>G 142</b>       |              |                |
| $PE_9$                      |          | 2,0973      |                | 39,531            | 40,705             | 25,806       | 14,899         |
| Promedio                    | 0,9231   | 2,0973      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 160</b>                | 0,7986   |             | -0,5863        | $PE_{10}$         | <b>G 160</b>       |              |                |
| $PE_{10}$                   |          | 1,3849      |                | 35,627            | 36,213             | 21,306       | 14,907         |
| Promedio                    | 0,7986   | 1,3849      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 051</b>                | 0,8013   |             | -0,8883        | $PE_{11}$         | <b>G 051</b>       |              |                |
| $PE_{11}$                   |          | 1,6896      |                | 34,018            | 34,907             | 20,0080      | 14,898         |
| Promedio                    | 0,8013   | 1,6896      |                |                   |                    |              |                |
| <b>G 055</b>                | 0,6158   |             | -0,8186        | $PE_{12}$         | <b>G 055</b>       |              |                |
| $PE_{12}$                   |          | 1,4344      |                | 37,516            | 38,335             | 23,4290      | 14,906         |

|                        |        |        |         |                  |              |         |        |
|------------------------|--------|--------|---------|------------------|--------------|---------|--------|
| Promedio               | 0,6158 | 1,4344 |         |                  |              |         |        |
| <b>G 115</b>           | 0,1970 |        | -0,9606 | PE <sub>13</sub> | <b>G 115</b> |         |        |
| <b>PE<sub>13</sub></b> |        | 1,1576 |         | 52,699           | 53,660       | 38,788  | 14,872 |
| Promedio               | 0,1970 | 1,1576 |         |                  |              |         |        |
| <b>G 106</b>           | 0,2318 |        | -1,9798 | PE <sub>14</sub> | <b>G 106</b> |         |        |
| <b>PE<sub>14</sub></b> |        | 2,2116 |         | 65,063           | 67,043       | 52,225  | 14,818 |
| Promedio               | 0,2318 | 2,2116 |         |                  |              |         |        |
| <b>G 085</b>           | 0,6227 |        | -1,0418 | PE <sub>15</sub> | <b>G 085</b> |         |        |
| <b>PE<sub>15</sub></b> |        | 1,6645 |         | 27,680           | 28,722       | 13,804  | 14,918 |
| Promedio               |        | 1,6645 |         |                  |              |         |        |
| <b>G 091</b>           | 0,7321 |        | -0,5024 | PE <sub>16</sub> | <b>G 091</b> |         |        |
| <b>PE<sub>16</sub></b> |        | 1,2345 |         | 25,188           | 25,690       | 10,791  | 14,899 |
| Promedio               | 0,7321 | 1,2345 |         |                  |              |         |        |
| <b>G 175</b>           | 0,8537 |        | -0,3218 | PE <sub>17</sub> | <b>G 175</b> |         |        |
| <b>PE<sub>17</sub></b> |        | 1,1755 |         | 27,743           | 28,065       | 13,102  | 14,963 |
| Promedio               |        | 1,6645 |         |                  |              |         |        |
| <b>G 181</b>           | 1,0144 |        | -0,4081 | PE <sub>18</sub> | <b>G181</b>  |         |        |
| <b>PE<sub>18</sub></b> |        | 1,4225 |         | 23,229           | 23,637       | 8,709   | 14,928 |
| Promedio               | 0,7321 | 1,2345 |         |                  |              |         |        |
| <b>G193</b>            | 0,2811 |        | -1,1135 | PE <sub>19</sub> | <b>G 193</b> |         |        |
| <b>PE<sub>19</sub></b> |        | 1,3946 |         | 23,436           | 24,550       | 9,280   | 15,270 |
| Promedio               | 0,7321 | 1,2345 |         |                  |              |         |        |
| <b>G074</b>            | 0,2811 |        | -1,1135 | PE <sub>20</sub> | <b>G 074</b> |         |        |
| <b>PE<sub>20</sub></b> |        | 1,3946 |         | 33,208           | 34,322       | 19,0409 | 15,281 |
| Promedio               | 0,7321 | 1,2345 |         |                  |              |         |        |
| <b>G037</b>            | 1,4404 |        | 0,4292  | PE <sub>21</sub> | <b>G 037</b> |         |        |
| <b>PE<sub>21</sub></b> |        | 1,0112 |         | 27,546           | 27,117       | 9,996   | 17,121 |
| Promedio               | 0,7321 | 1,2345 |         |                  |              |         |        |
| <b>G124</b>            | 1,7832 |        | 0,7165  | PE <sub>22</sub> | <b>G 181</b> |         |        |
| <b>PE<sub>22</sub></b> |        | 1,0667 |         | 27,850           | 27,134       | 11,594  | 15,540 |
| Promedio               | 0,7321 | 1,2345 |         |                  |              |         |        |

Fuente: Propia