

Convenio específico de cooperación entre la UNLP¹ y la CIC²

Tarea de relevamiento y control geodésico y altimétrico



Informe Final

Lic. Simontacchi Lautaro E.

FCAGLP – UNLP. Becario Doctoral CIC

¹ Universidad Nacional de La Plata

² Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. De Bs. As.

1- Introducción:

En el presente informe se detallan las actividades de observación, procesamiento y análisis de datos GNSS en relación al compromiso que asumiera la Universidad Nacional de La Plata dentro del convenio firmado junto con la Comisión de Investigaciones Científicas.

Dicho convenio se enmarca dentro del proyecto SIMPARH. Las actividades que asumiera la Universidad Nacional de La Plata fueron realizadas por el Grupo de Geodesia Espacial y Astrometría de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas y consistieron en la toma de datos y el procesamiento de los mismos, para realizar el apoyo y control de los trabajos realizados por las empresas Consular y EstudioTerra en las localidades de San Antonio de Areco, Salto, Junín y General Villegas.

Dichos datos fueron obtenidos mediante observaciones GNSS utilizando equipos propios de la Facultad. Las coordenadas horizontales de los puntos obtenidos están referidas al marco de referencia geodésico nacional; POSGAR07³, a través de puntos de la red geodésica de apoyo. Para la referencia vertical se utilizó el modelo GEOIDE-Ar16, publicado recientemente por el IGN, el cual está ajustado al sistema de referencia vertical nacional (SRVN16) con el que se realizó la transformación de alturas.

El resultado consistió en una lista de puntos que cuentan con latitud, longitud y altura elipsoidal, con los errores esperados para este tipo de procesamientos. Junto con la lista de los puntos de apoyo, se entregó a las empresas unas planillas con fotos y detalles de los mismos, un archivo .kml para visualizar en Google Earth y un informe de cada localidad. Los puntos de control también cuentan con altura ortométrica o cota, referida a GEOIDE-Ar16.

2- Cronograma de trabajo:

A continuación se detalla el cronograma seguido;

Los días 15, 16, y 17 de agosto de 2017 se realizó el reconocimiento de los lugares en donde se iban a instalar los pluviómetros de las cuatro localidades involucradas: San Antonio de Areco, Salto, General Villegas y Junín. Una vez determinados estos lugares, se colocó y se realizó mediciones GNSS de estacas utilizadas posteriormente como referencia vertical para determinar la cota de los pluviómetros. También se participó de la presentación del proyecto SIMPARH en las distintas localidades.

Durante los meses de Diciembre de 2017 y Enero de 2018 se realizaron las campañas de mediciones GNSS en las cuatro localidades involucradas. También se colocaron y se midieron las estacas en los sitios donde se instalaron los pluviómetros.

Durante los meses de Febrero y Marzo de 2018 se realizaron el procesamiento de los datos y la entrega los puntos de control a las empresas, junto con el correspondiente informe.

³ Posiciones Geodésicas Argentinas. Marco oficial de Referencia Geodésico 2007

3- Mediciones GNSS:

Las mediciones GNSS se realizaron en modalidad estática rápida, cinemática y la denominada “Stop and Go” (ver imagen 1) y se utilizó equipamiento perteneciente a la FCAGLP⁴, a saber;

2 Receptores Trimble Doble Frecuencia Modelos 4700

1 Receptor Trimble Multifrecuencia Modelo R5

2 Antenas TRIMBLE GPS L1/L2 Microcentrada

1 Antena Trimble Zephyr Geodetic Model 2

2 Controladoras GPS Mod: TSC1.

1 Navegador GPS Garmin etrex 10.

Respecto a las observaciones estáticas, la puesta en estación se realizó con trípode y una base nivelante, la cual cuenta con un nivel óptico que garantiza la verticalidad de la antena receptora y una mira vertical para situar la antena por encima del punto de interés, salvo en las estaciones permanentes, para las que se utilizaron las observaciones provistas por el servicio RAMSAC⁵(IGN). El tiempo de ocupación es de entre 20 y 30 minutos de acuerdo a la distancia con la estación base. La toma de datos se hace cada 5 segundos. Para la estación base también se utilizó el mismo procedimiento que en el caso de los puntos estáticos rápidos con la diferencia de que se encuentra tomando datos, cada segundo, durante toda la campaña. Las mediciones en forma “cinemática” consisten en colocar el equipo GNSS en un móvil, para este trabajo la camioneta aportada por la CIC. A diferencia de la modalidad anterior, el equipo se encuentra en movimiento permanente tomándose un punto cada segundo, por lo tanto se obtienen perfiles de varios kilómetros, útiles para realizar el control vertical de los MDT. Finalmente la modalidad “parar y seguir” (Stop and Go, en inglés) consiste en una medición cinemática con la particularidad de poder detenernos en un punto de interés y tomar entre 5 y 10 mediciones del mismo, esto permite obtener resultados más precisos, por lo que estos puntos también sirven como puntos de apoyo y de control horizontal.

Para el procesamiento de los mismos se utilizó el software Trimble Business Center – Versión 2.80. Las coordenadas finales son POSGAR07 Época 2006.632, adoptado por el IGN como Marco y época de Referencia Oficial para la República Argentina

⁴ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP

⁵ RAMSAC: Red Argentina de mediciones satelitales continuas



Imagen 1: La imagen de la izquierda muestra un ejemplo de procesamiento en modalidad Estática, mientras que la foto de la derecha es un ejemplo en modalidad "Stop and Go"

4- Marcos de referencias:

4 a – El marco de referencia Horizontal

El marco de referencia Nacional POSGAR07 representa la materialización del ITRF⁶ 2005 (International Terrestrial Reference Frame), época 2006.63 en la Argentina. Al mismo tiempo es compatible con el marco regional (continental) SIRGAS⁷ y el modelo de velocidades correspondiente. El elipsoide de referencia es el WGS84⁸

La red geodésica POSGAR07 materializa el actual marco de referencia geodésico de la Argentina. Para este trabajo se utilizaron los siguientes puntos de referencia, enumerados en la siguiente tabla:

Nombre del Punto	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	Alt. Elipsoidal (m)	Localidad
JUNI	-34° 39' 03,1854"	-60° 54' 40,7060"	96,936	Junín
SALT	-34° 17' 00,380"	-60° 13' 15,9507"	66,472	Salto
SARE	-34° 13' 30,9209"	-59° 27' 11,1179"	43,125	San Antonio de Areco
VILL	-35° 02' 38,6346"	-63° 02' 15,5180"	133,558	Gral. Villegas
VIL1	-35° 02' 54,0515"	-63° 06' 42,1781"	134,955	Gral. Villegas

En las imágenes a continuación se muestra la ubicación de los puntos de control junto con una foto del estado actual del mismo. El punto SARE se encuentra sobre la RP N° 31, de tierra, aproximadamente a 800 metros del cruce con RP N° 41, dentro de un campo a mano derecha (imagen 2-a). El punto SALT se encuentra sobre

⁶ ITRF: IERS Terrestrial Reference Frame. IERS: International Earth Rotation Service.

⁷ SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas

⁸ WGS84: World Geodetic System 1984.

la RN N° 191 aproximadamente a 4,5 km, hacia el NE, del cruce con RP N° 31, en un campo a mano izquierda (Imagen 2-b). El punto VIL1 se encuentra saliendo de la estación de Villegas, paralelo a las vías en dirección a Elordi, 1 km antes de llegar a Elordi, sobre la izquierda dentro del campo (imagen 2-e). EL punto VILL se encuentra dentro de un campo, cerca de la tranquera, aproximadamente a 2,3 km saliendo de la estación Villegas rumbo a Elordi (imagen 2-d).



Imagen 2-a: a la izquierda se muestra la ubicación del punto SARE. En la imagen de la derecha se ve el estado actual del mismo.



Imagen 2-b: a la izquierda muestra la ubicación del punto SALT. En la de la derecha se ve el detalle del mismo.



Imagen 2-c: a la izquierda muestra la ubicación del punto VIL1 mientras que la de la derecha se ve el detalle del mismo.



Imagen 2-d: a la izquierda se muestra una imagen Google Earth con la ubicación del punto VILL, mientras que la imagen de la derecha muestra un detalle del mismo. Se observa que se encuentra sin la chapa identificadora por lo que se decidió hacer un estudio detallado de este punto con excelentes resultados (ver “validación del punto VILL”).

Validación del punto VILL:

Para la validación del punto VILL se realizó el siguiente análisis. Se obtuvieron las coordenadas del punto de dos maneras diferentes, por un lado están las publicadas por el IGN, es decir las coordenadas oficiales del punto y por el otro se obtuvieron las coordenadas mediante el procesamiento, en modo estático, resolviendo tres líneas de base desde puntos diferentes, estos son:

Punto	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	h (m)	Descripción
GVIL	-35°01'57,36086"	-63°00'49,11310"	148,627	Red RAMSAC
PEJO	-35°48'22,76858"	-61°53'40,69912"	110,153	red RAMSAC
VIL1	-35° 02' 54,0515"	-63° 06' 42,1781"	134,955	Punto POSGAR07

Además se pudo hacer, lo que se denomina, un cierre de figura, un triángulo cuyos vértices son los puntos GVIL, VIL1, VILL, con observaciones realizadas en diferentes días, lo que permite obtener una estimación interna e independiente de los errores que brinda el software, del error cometido en las observaciones.

El resultado de la comparación de ambos juegos de coordenadas se presenta en la siguiente tabla:

punto	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	h [m]	
VILL	-35° 2' 38,6344"	-63° 2' 15,5185"	133,573	resultado del procesamiento
	-35° 2' 38,6346"	-63° 2' 15,5180"	133,558	Datos IGN
	-0,0002"	0,0005"	0,015	Diferencias

Haciendo la transformación de los segundos de arco a milímetros tenemos que en latitud la diferencia es de 6 mm mientras que en longitud la diferencia es de 15 mm (1,5 cm) lo mismo que en altura. Estas diferencias no son significativas y, especialmente en altura, indican que el punto no sufrió ninguna modificación; solo le quitaron la chapa que lo identifica.

4 a – El marco de referencia Vertical

Como se mencionó en el inciso anterior las alturas obtenidas mediante procesamiento GNSS y materializadas en el marco POSGAR07 están referidas al elipsoide WGS84. Estas alturas son geométricas, es decir no tienen ningún sentido físico por lo que es necesario hacer una transformación de las mismas y obtener las alturas ortométricas (o cotas). El Geoide es la superficie equipotencial que mejor ajusta al nivel medio de los océanos en una época determinada, las alturas referidas a esta superficie tienen sentido físico y sirven para determinar la circulación del agua, por ejemplo. En el caso de la Argentina esta superficie está materializada por la Red Altimétrica del IGN que se extiende sobre un total de 60000 Km y se distribuye sobre todo el territorio nacional a través de unos 18000 puntos en líneas de nivelación dispuestas en circuitos cerrados. El cero de esta red corresponde al nivel medio del mar determinado en el mareógrafo de Mar del Plata y materializado en el PARN (Punto Altimétrico de Referencia Normal) ubicado en Tandil (Buenos Aires).

Teniendo ciertas consideraciones la ecuación que relaciona las alturas elipsoidales (h) con las cotas (H) y el geoide (N) es una simple resta, (ver imagen 3) tenemos entonces que:

$$N = h - H \rightarrow H = h - N$$

Por lo tanto si conocemos las alturas elipsoidales, provenientes del procesamiento GNSS y al geoide, utilizando un modelo, podemos obtener las alturas ortométricas.

Recientemente el IGN desarrolló un modelo de geoide gravimétrico denominado GEOIDE-Ar16. El mismo se ajustó a POSGAR07 y SRVN16 a partir de la determinación de una superficie correctiva calculada mediante el método clásico de transformación de 4 parámetros (para computar la superficie de tendencia) y una colocación por mínimos cuadrados (para estimar los residuos).

Según la página del IGN la precisión de GEOIDE-Ar16 se evaluó mediante 1.904 puntos de nivelación observados con GPS doble frecuencia. Los desvíos estándar de las diferencias entre la ondulación geoidal derivada de los puntos GPS-nivelación y las ondulaciones del nuevo modelo de geoide son menores a 0,05 m.

Para este trabajo se utilizó el modelo GEOIDE-Ar16 para realizar la transformación de alturas.

5- Los Resultados

En total se midieron y procesaron 1235 puntos, distribuidos en 107 sitios, de los cuales 531 se corresponden a Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF) y 704 Puntos de Control (PC). Los mismos se tomaron de manera que sirvan como apoyo (o control) horizontal o vertical. También existen puntos que fueron medidos en dos, o más, oportunidades, estos se utilizaron como control interno de la calidad de las observaciones. Además se cuenta con perfiles cinemáticos que serán utilizados como control vertical de los modelos.

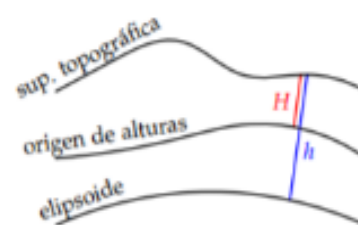


Imagen 3: diagrama simplificado del problema de transformación de alturas, mostrando la relación entre la altura episódica h , referida a un elipsoide de referencia, y la altura física H , referida al origen de alturas. La diferencia entre estas alturas aproxima la ondulación del geoide. Fuente: "Informe Técnico para Usuarios de tdaGEOBA"

Haciendo un detalle, por localidad, de la cantidad de sitios y puntos observados tenemos la siguiente tabla. Donde PAF: punto de apoyo fotográfico. PC: Puntos de Control. ;

Localidad	Sitios	Puntos Totales	PAF	PC
San Antonio de Areco	22	126	64	62
Salto	18	260	99	161
Junín	36	502	218	284
General Villegas	31	347	150	197

El software utilizado permite obtener un informe detallado de las soluciones, ver imagen 4, del cual se pueden obtener las precisiones horizontal y vertical, las cuales son un indicador de la calidad de las soluciones; y los residuos de los satélites, ver imagen 5, lo que permite determinar cuáles satélites son utilizados para el procesamiento.

Informe de procesamiento de líneas base

Procesando resumen

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
SHIN --- 8108 (B184)	8108	SHIN	Fija	0,004	0,021	26°58'52"	11015,943	-2,893

Resumen de aceptación

Procesado	Pasado	Indicador	Fallida
1	1	0	0

SHIN - 8108 (10:55:35-13:42:41) (S12)

Observación de línea base:	SHIN --- 8108 (B184)
Procesados:	30/11/2016 10:18:52
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0,004 m
Precisión vertical:	0,021 m
RMS:	0,004 m
PDOP máximo:	5,079
Efemérides utilizadas:	Transmisión
Modelo de antena:	Trimble Relative
Hora de inicio de procesamiento:	25/11/2016 10:55:35 (Local: UTC-3hr)
Hora de detención de procesamiento:	25/11/2016 13:42:41 (Local: UTC-3hr)
Duración del procesamiento:	02:47:06
Intervalo de procesamiento:	1 segundo

Imagen 4: Detalle del informe que se obtiene del Software Trimble Business Center. De donde se puede determinar parámetros como la precisión horizontal y vertical.

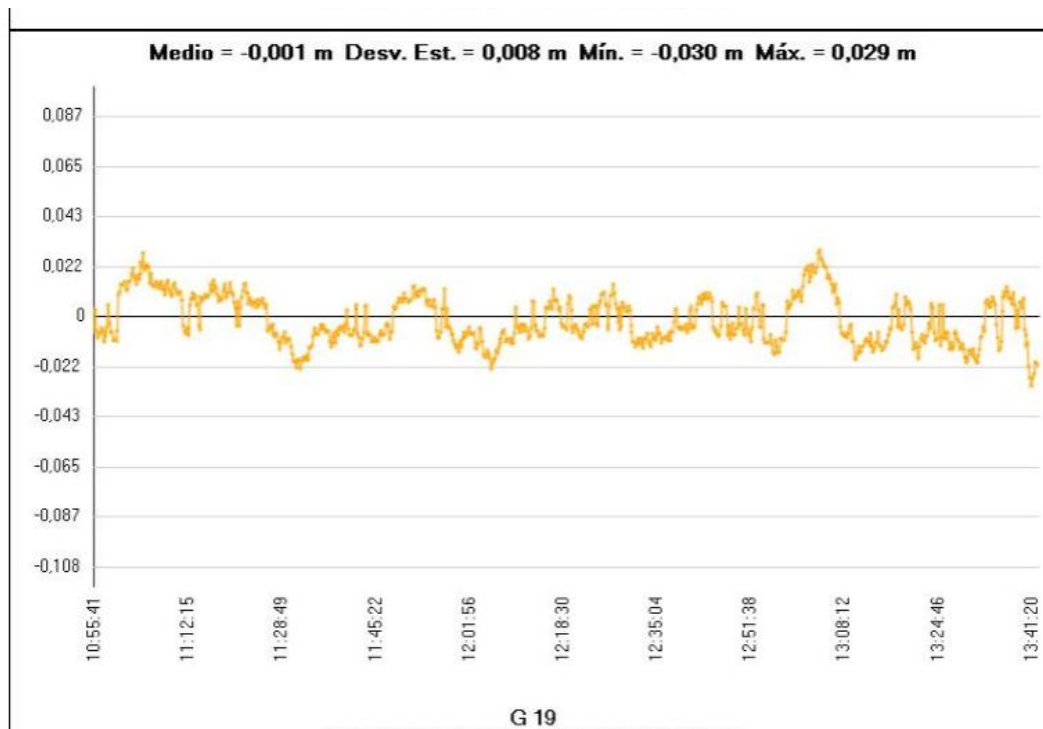


Imagen 5:Detalle de los residuos satelitales que brinda el Software Trimble Business Center. En el eje vertical se observa el tiempo de ocupación mientras que en el eje vertical el error en metros. Para que un satélite sea considerado bueno para el procesamiento se busca que este error no supere los 3 centímetros y que esté centrado en Cero.

De estos informes tenemos la siguiente estadística para cada una de las ciudades:

San Antonio de Areco	Precisión Horizontal (m)	Precisión Vertical (m)
Media	0,017	0,032
Desviación estándar	0,008	0,019
Mediana	0,018	0,03
Moda	0,009	0,029

Salto	Precisión Horizontal (m)	Precisión Vertical (m)
Media	0,022	0,038
Desviación estándar	0,009	0,015
Mediana	0,022	0,038
Moda	0,010	0,040

General Villegas	Precisión Horizontal (m)	Precisión Vertical (m)
Media	0,013	0,023
Desviación estándar	0,005	0,008
Mediana	0,011	0,020
Moda	0,010	0,020

Junín	Precisión Horizontal (m)	Precisión Vertical (m)
Media	0,021	0,036
Desviación estándar	0,010	0,018
Mediana	0,021	0,034
Moda	0,010	0,035

Donde:

Precisión horizontal: Muestra la precisión horizontal de la observación con un nivel de confianza del 95%

Precisión vertical: Muestra la precisión vertical de la observación con un nivel de confianza del 95%

De los datos estadísticos podemos ver que la media de las precisiones, tanto horizontal como vertical, se encuentran dentro de los resultados esperados para procesamientos de datos GNSS y están muy por debajo de los 10 centímetros que se espera sea la calidad de los MDT, por lo que son aptos como punto de apoyo y control.

Como se mencionó, también se colocaron y midieron estacas en los lugares en donde se colocaron los pluviómetros por lo que sirvieron como referencia vertical para determinar la cota de los mismos. Además las coordenadas horizontales fueron introducidas en la página web del SIMPARH.

Respecto a las estacas tenemos los siguientes resultados:

nombre SIMPARH	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	Altura (m)	Cota (m)	Precisión H (m)	Precisión V (m)
EP-SA_Areco_2B	-34°15'19,5971"	-59°27'44,3187"	43,569	26,481	0,002	0,006
EP-SA_Areco_1B	-34°14'05,2733"	-59°28'35,9551"	41,282	24,176	0,005	0,006
EP-Salto-1_SAL1	-34°16'41,4396"	-60°14'49,7583"	59,833	42,069	0,004	0,01
EP-Salto-2_SAB2	-34°17'59,3506"	-60°14'26,8539"	70,518	52,745	0,001	0,003
EP-Villegas-1_VIL1	-35°03'07,4099"	-63°00'35,9654"	132,803	114,012	0,011	0,015
EP-Villegas-2_VIL2	-34°59'41,6952"	-62°59'31,8560"	135,134	116,291	0,005	0,009
EP-Junin-1_JUN1	-34°35'07,6764"	-60°58'24,6526"	99,642	81,615	0,047	0,069
EP-Junin-2_JUN2	-34°35'07,6922"	-60°58'24,6903"	99,853	81,826	0,004	0,008

Para determinar las cotas de los pluviómetros se realizaron mediciones de desniveles de las estaciones de Salto y de San Antonio de Areco, los mismos se tomaron a la línea media y al tope del pluviómetro, ver imagen 6), a continuación se detallan los mismos:

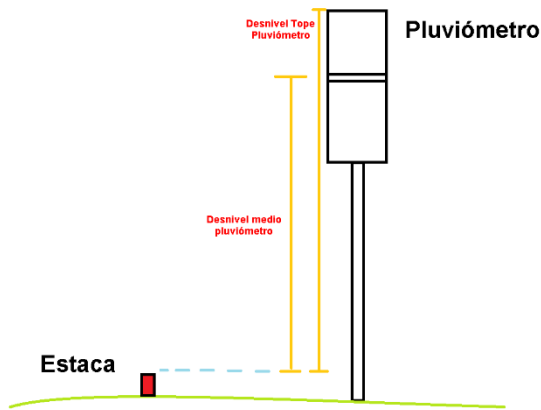


Imagen6: Ejemplo ilustrativo de cómo se midieron los desniveles de los pluviómetros a fin de conseguir la cota de los mismos.

Estación	Desnivel medio pluviómetro	Desnivel tope Pluviómetro
EP-Areco-2_AAB2	1,228 m	1,403 m
EP-Areco-1_AAB1	1,276 m	1,449 m
EP-Salto-1_SAL1	1,274 m	1,444 m
EP-Salto-2_SAB2	1,320 m	1,490 m

Por otro lado, para determinar la cota de los pluviómetros se decidió medir directamente sobre los mismos (ver imagen 7)

Estación	Desnive l medio	Desnive l tope
EP-Villegas-1_VIL1	0,561 m	0,388 m
EP-Junin-2_JUN2	0,607 m	0,436 m

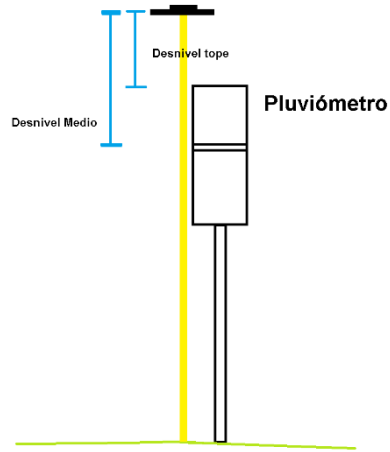


Imagen7: Ejemplo ilustrativo del segundo método de medición de desniveles de los pluviómetros con el fin de conseguir la cota de los mismos.

6 Productos Entregados

Las entregas se hicieron en formato digital e incluyeron:

- Los archivos de datos de las campañas GNSS en formato RINEX.
- Una carpeta con fotos en formato .jpg y .png de los puntos de control, de las estacas y pluviómetros.
- Planilla Excel con los resultados del procesamiento GNSS, incluyendo las coordenadas geodésicas y alturas ortométricas.
- Planillas en formato .pdf de los todos los puntos relevados (de apoyo y de control).
- Planillas de observación GNSS escaneadas.
- El presente informe.