

ESTACION ASTRONOMICA RIO GRANDE

Universidad Nacional de La Plata

Provincia de Tierra del Fuego

Servicio de Hidrografía Naval

CONICET

**LA RED GEODESICA Y GEODINAMICA
DE LA TIERRA DEL FUEGO**

1993

INFORME FINAL

Responsables por la E. A. R. G.

Lic. Raúl Perdomo
Prof. José Luis Hormaechea

Procesamiento de la información

Lic. Daniel Del Cogliano

Colaboradores

Lic. Claudio Brunini
Sr. Darío Canosa
Prof. César Mondinalli
Ing. Juan Carlos Usandivaras
Sr. Luis Héctor Barbero
Sr. Gerardo Connon

Por la Dirección de Geodesia de la Provincia

Responsable

Agr. Carlos Zampatti

Colaboradores

Lilian Riebel
Juan Manuel Gras
Roberto Ceballos
Claudio Stafieri
Roberto Agüero

Contenidos

1. Introducción y descripción gral. del trabajo realizado.
2. Metodología empleada en el trabajo de campo
3. Metodología empleada en la reducción de las observaciones
4. Presentación y explicación detallada de los resultados

1. Introducción y descripción general. del trabajo realizado

Este informe se refiere a las dos últimas etapas del trabajo. Son ellas la medición de la red previamente diseñada y materializada y el procesamiento de la información observacional.

La red de puntos fue medida con tres receptores GPS geodésicos marca TRIMBLE 4000 SSE de doble frecuencia y código P. Estos receptores fueron cedidos en préstamo por el GeoForschungZentrum de Potsdam (Alemania) y puede afirmarse que están entre los más precisos existentes en la actualidad.

Los trabajos de campo se llevaron a cabo entre el 18 de noviembre y mediados de diciembre. El procesamiento llevó alrededor de un mes.

2. Metodología empleada en el trabajo de campo

Se utilizó una metodología muy simple de comprender cuyas principales líneas son las siguientes:

- se operó con los tres equipos recibiendo simultáneamente,
- se observaron dos sesiones diarias, típicamente la primera se desarrollaba desde media mañana hasta mediodía y la segunda desde la media tarde en adelante,
- se procuró tener simultaneidad en las observaciones de los tres equipos durante al menos dos horas en cada sesión,
- cada sesión implicó la medición de tres puntos vértices de un triángulo determinado, la siguiente sesión solamente agregaba un punto nuevo repitiendo dos de la sesión inmediata anterior.

Para ejemplificar esta forma de trabajo tómense como ejemplo los cuatro puntos más al norte de la red: partiendo tres grupos de Río Grande por la mañana temprano se instalaron respectivamente en Cerro Redondo, Ea. Cullen e Hito 1. El tiempo programado de comienzo de trabajo fue igual al estimado necesario para que el grupo que viajaba más lejos (Hito 1) llegara e instalara el receptor con tranquilidad. Observada la primera sesión, el grupo de Hito 1 se movió a Chorrillos donde se instaló para realizar la sesión de la tarde. Los grupos de Ea. Cullen y Co. Redondo permanecieron fijos.

De manera que al cabo del primer día se ocuparon cuatro puntos y se midieron seis bases con una repetida (es decir, cinco bases distintas): Hito 1 - Ea. Cullen, Ea. Cullen - Co. Redondo (repetida), Co. Redondo - Hito 1, Ea. Cullen - Chorrillos, Chorrillos - Co. Redondo.

Al día siguiente se volvieron a ocupar Co. Redondo y Chorrillos con un punto nuevo (Ea. Salvador). Para la segunda sesión se movió Co. Redondo permaneciendo fijos los otros dos.

Esta manera de trabajo implica que cada base se midió dos veces excepto las de borde que solo se midieron una vez (por ejemplo, Co. Redondo - Hito 1, Ea. Cullen - Hito 1).

En cuanto a la puesta en estación, las antenas se instalaron en trípodes y la centración se realizó con plomada tradicional en casi todos los puntos. Esto condujo a estimar los siguientes errores: 0.007 m en la centración y 0.025 m en la altura. Estos errores a priori se agregaron como datos en el ajuste de la red.

Las estaciones EARG, CADIC y EOLO disponen de marcas que posibilitan la centración forzada puesto que las antenas se enroscan directamente en las marcas.

3. Metodología empleada en la reducción de las observaciones

3.1 Origen de la red:

La E.A.R.G. dispone de resultados de numerosas campanas realizadas con diferentes técnicas satelitarias: con el sistema TRANSIT en 1984 y 1987, con GPS en 1989, 1990 y 1991, y con la baliza DORIS desde 1989.

Sin pretender profundizar el análisis de la precisión de cada determinación, resulta claro que todas ellas coinciden satisfactoriamente dentro de la precisión esperada en cada caso.

Las coordenadas finalmente adoptadas para el punto EARG GPS1 (pilar principal de GPS) fueron obtenidas durante la prolongada campana TRANSIT de 1984 y transformadas al sistema WGS84 con los parámetros de transformación determinados por el Departamento de Defensa de los EEUU. Son ellas:

Latitud: $-53^{\circ} 47' 07''.566$

Longitud: $-67^{\circ} 45' 05''.417$

Altura elipsóidica: 24.6 m

precisión estimada (1σ) ± 3 m

Las coordenadas más precisas disponibles en EARG hasta la fecha corresponden a la baliza DORIS cuya precisión se estima en 10 cm. Sin embargo los parámetros de transformación entre DORIS y WGS84 no se conocen con la misma precisión. Por esta razón no se utilizaron las coordenadas de DORIS en este trabajo.

Es posible que en un futuro cercano se pueda mejorar la calidad del origen de la red, pero por el momento debe resultar claro que todas las coordenadas de la red están referidas al punto EARG GPS1 cuyas coordenadas adoptadas son las escritas arriba.

3.2 Cálculo de los vectores:

Para el cálculo de los vectores en modo estático se utilizó el programa GPSURVEY. Los parámetros más indicativos de la calidad del procesamiento y de los resultados finales de cada base considerada aisladamente fueron básicamente tres: La varianza de referencia (VR), el error medio de una observación aislada (RMS) y el parámetro "RATIO" que permite evaluar que tan bien se resuelven las ambigüedades:

VR: En función de las precisiones típicas del sistema GPS y de la performance de los equipos es posible estimar una varianza teórica. La relación entre la real y la teórica debiera estar próxima a 1. Valores mayores que 1 en este parámetro indican que los errores reales han sido más altos que los esperados. En la mayoría de las bases procesadas VR se mantuvo próximo a 1. Excepcionalmente alcanzó el valor 2 y en un caso llegó a 6. Estas bases fueron especialmente analizadas en cuanto al cierre de figuras que las involucraban. En ningún caso este test resultó descalificador como para eliminar alguna base.

RMS: Error Medio Cuadrático de una observación aislada se mantuvo siempre por debajo de 0.02 ciclos (4 mm).

RATIO: relación de los errores de las determinaciones de ambigüedades. Este número indica que tan bien han resultado determinadas las ambigüedades. En este, caso se trabajó siempre con * ocientes por encima de 100. Esto quiere decir que la ambigüedad adoptada es

100 veces mejor que la siguiente opción. Si este número fuera del orden de 1. sería dudosa la adopción de un valor de ambigüedad.

3.3 Control de cierre:

Más allá del análisis anterior que permitió analizar cada base separadamente, la metodología de observación estuvo especialmente pensada para "cerrar" figuras.

El hecho sencillo de observar simultáneamente en los vértices de un triángulo no significa que se pueda hacer un control de cierre porque las medidas de las tres bases no son independientes. Es decir que podrían determinarse las observaciones para el cálculo de una base a partir de la combinación de las usadas para las dos bases restantes del triángulo.

Sin embargo, en este caso, cada triángulo puede cerrarse con una base independiente medida en otra sesión. Por ejemplo, Hito 1 - Ea. Cullen, Hito 1 - Co. Redondo se procesaron con las observaciones realizadas en la sesión de la mañana. Pero el cierre del triángulo se calculó con la base Ea. Cullen - Co. Redondo observada por la tarde.

De esta manera se procedió a avanzar en el cálculo obteniendo cada base separadamente y cuidando de cerrar cada triángulo con una base independiente de las anteriores. Típicamente los perímetros de estos triángulos son del orden de los 150 km y los errores de cierre nunca excedieron 0.5 ppm sobre esta distancia. Generalmente fueron del orden de 0.3 ppm. Los errores de cierre en componentes eran del orden de 1 cm en latitud y longitud y algo más en altura (en el peor de los casos 4 cm).

Este procedimiento permitió llevar un cálculo controlado sin ningún tipo de ajuste que eventualmente pudiera enmascarar los errores presentes en las bases consideradas independientemente.

3.4 Resultados finales del ajuste de la red:

Los resultados del cálculo individual de todas las bases, los errores estimados para ellas, y las coordenadas del punto fijo utilizado como origen se ingresaron como datos en una compensación general realizada con el programa TRIMNET que permite compensar todos los resultados en base a todos los vectores que hayan sido medidos más de una vez, y especialmente a las condiciones de cierre.

Es decir que la compensación permite adoptar el mejor vector (en sentido estadístico) y las mejores coordenadas, en función de la medición reiterada y de las condiciones de cierre de figuras. Y permite también reestimar los errores en forma más realista.

Un simple razonamiento permite suponer que la combinación de todos los posibles resultados sobre un punto determinado tiene que reducir los errores de cada determinación aislada. En efecto, en este caso el ajuste no modificó demasiado los valores sin ajustar y permitió estimar un error para las coordenadas de cada punto. Como puede verse en la Tabla "Resumen del Ajuste de Coordenadas" estos errores son típicamente del orden de 1 cm en latitud y longitud y entre 2 y 3 cm en altura.

Esta precisión parece exagerada pero no se contradice con los resultados parciales de cierres que permitieron estimar los errores de la red en estos mismos valores.

4. Presentación y explicación detallada de los resultados

- La tabla "Resumen del Ajuste de Coordenadas"

Esta tabla es la salida que produce el programa de ajuste utilizado. Su explicación es importante para mostrar cuantitativamente y con todo detalle lo dicho hasta el momento»

La primera cuestión interesante se refiere a los llamados "network adjustment constraints": son las condiciones impuestas al ajuste, en este caso, tres coordenadas fijas (no se modifican con el ajuste). Por supuesto que son las coordenadas adoptadas como origen (EARG).

- la primera columna, "punto", es solamente un índice para numerar las estaciones.
- la segunda columna, "Nomb", indica el nombre con el cual se designó al punto a todos los efectos de esta campana;
- la tercera columna, "COORD INIC", y de arriba hacia abajo, muestra las tres coordenadas de cada estación antes del ajuste. En este caso, aquellas que resultaron del procesamiento base por base con el procedimiento que se explicó anteriormente.
- la cuarta columna, "AJUSTE", indica en cuanto fueron modificados por el ajuste los valores de la tercera columna. En definitiva, que tanto actuó el programa de ajuste. Se puede ver que los valores más altos son 0.05 m para la altura de Ea. Cullen y en latitud y longitud algunos valores que rondan los 0.002" (0.06 m)
- la quinta columna, "COOR FINAL51 f!" son las coordenadas finales que resultan del ajuste (la suma de los valores en la tercera y cuarta columna).
- finalmente la sexta columna, " 1.00σ ", son los errores estimados para las coordenadas finales de la quinta columna. Nótese que las unidades son metros en todos los casos. Los valores más grandes son 0.042 m para la altura, 0.012 m para la latitud y 0.012 m para la longitud de Hito 1.

Entre los muchos resultados interesantes cabe resaltar que aquellas estaciones que se encuentran hacia el centro de la red tales como Despedida, Flamencos, Guazú-cue y Río Claro presentan los errores más pequeños (2 cm en altura y 6 mm en las otras coordenadas).

Dos aclaraciones finales:

- los errores del punto EARG no aparecen calculados porque es la estación fija de la red.
- las coordenadas ajustadas son latitud, longitud y altura elipsóidicas en el Datum WGS84. Nótese que las alturas ortométricas ("AL ORTOM") no se conocen y por esa razón los valores correspondientes en la tabla son ceros.

Para mayor claridad se agrega una tabla con los valores finales de las coordenadas únicamente: "Red Geodésica de Tierra del Fuego - 1993 - Coordenadas Finales Ajustadas".

Agradecimientos:

A la Lic. Maria Elena Berni y a la Sra. Mirta Molina, personal de la Estación Astronómica, quienes colaboraron en todo momento con la campaña a pesar de la invasión que sufrieron en sus lugares de trabajo.

Al Prof. Ch. Reigber y al Dr. Jorg Reinking del GeoForschung Zentrum de P'otsdam quienes posibilitaron que el instrumental imprescindible para este trabajo estuviera en Argentina por el tiempo necesario.

A Lilian Riebel y Juan Manuel Gras por su colaboración mas allá de lo que marcaban sus obligaciones.

RESUMEN DEL AJUSTE DE COORDENADAS

Datum = WGS-84

Coordenadas = Geográficas

<i>Punto</i>	<i>Nombre</i>	<i>Coord Inic</i>	<i>Ajuste</i>	<i>Coord Final</i>	<i>1.00σ</i>
M4	ALMANZA				
	LAT=	54 52' 13.439346"	+0.000737"	54 52' 13.438609"	0.010094m
	LON=	67 33' 51.891836"	+0.001016"	67 33' 51.890819"	0.009982m
	AL ELL=	12.2855m	-0.0236m	12.2619m	0.035986m
	AL ORTOM=				
M2	CADIC				
	LAT=	54 49' 21.337518"	+0.000482"	54 49' 21.337036"	0.009270m
	LON=	68 19' 27.882173"	+0.001394"	68 19' 27.880779"	0.009163m
	AL ELL=	34.7670m	+0.0055m	34.7725m	0.033042m
	AL ORTOM=				
D2	CHORRILLOS				
	LAT=	53 19' 55.497192"	-0.000549"	53 19' 55.497741"	0.007031m
	LON=	68 15' 30.283847"	-0.000621"	68 15' 30.284468"	0.007050m
	AL ELL=	101.2031m	+0.0275m	101.2306m	0.025077m
	AL ORTOM=				
H2	DESPEDIDA				
	LAT=	53 57' 18.512656"	-0.000676"	53 57' 18.513332"	0.006358m
	LON=	68 15' 53.178043"	+0.001026"	68 15' 53.177018"	0.006346m
	AL ELL=	148.2413m	+0.0249m	148.2662m	0.022679m
	AL ORTOM=				
B1	EA CULLEN				
	LAT=	52 52' 52.003263"	+0.000243"	52 52' 52.003020"	0.009985m
	LON=	68 26' 49.034413"	-0.000329"	68 26' 49.034743"	0.010012m
	AL ELL=	59.3411m	+0.0515m	59.3926m	0.035541m
	AL ORTOM=				
G4	EARG				
	LAT=	53 47' 07.566000"	+0.000000"	53 47' 07.566000"	FIJA
	LON=	67 45' 05.417000"	+0.000000"	67 45' 05.417000"	FIJA
	AL ELL=	24.6000m	+0.0000m	24.6000m	FIJA
	AL ORTOM=				
K5	EOLO				
	LAT=	54 31' 41.373479"	-0.001863"	54 31' 41.375342"	0.008460m
	LON=	67 13' 50.386641"	+0.000876"	67 13' 50.385765"	0.008387m
	AL ELL=	33.6265m	+0.0205m	33.6469m	0.030159m
	AL ORTOM=				
F3	FLAMENCOS				
	LAT=	53 41' 13.966555"	-0.000606"	53 41' 13.967161"	0.006713m
	LON=	68 08' 03.808887"	+0.000488"	68 08' 03.808399"	0.006708m
	AL ELL=	64.5474m	+0.0380m	64.5854m	0.023954m
	AL ORTOM=				
I3	GUAZÚ-CUE				
	LAT=	54 07' 33.062654"	-0.000794"	54 07' 33.063448"	0.006670m
	LON=	68 04' 14.015076"	+0.001354"	68 04' 14.013722"	0.006655m
	AL ELL=	169.5514m	+0.0481m	169.5995m	0.023796m
	AL ORTOM=				

<i>Punto</i>	<i>Nombre</i>	<i>Coord Inic</i>	<i>Ajuste</i>	<i>Coord Final</i>	<i>1.00σ</i>
A1	HITO1				
	LAT=	52 39' 34.873306"	-0.000163"	52 39' 34.873469"	0.011930m
	LON=	68 36' 23.606971"	-0.000058"	68 36' 23.607029"	0.012000m
	AL ELL=	56.0673m	+0.0319m	56.0992m	0.042465m
	AL ORTOM=				
M7	MOAT				
	LAT=	54 58 * 31.219358"	-0.001814"	54 58* 31.221172"	0.010048m
	LON=	66 44 * 40.734577"	-0.000485"	66 44* 40.734092"	0.009908m
	AL ELL=	28.6847m	+0.0336m	28.7183m	0.035780m
	AL ORTOM=				
I5	P.JUSTICIA				
	LAT=	54 12* 46.840618"	-0.001423"	54 12* 46.842041"	0.008136m
	LON=	67 12* 55.363412"	+0.001423"	67 12* 55.361988"	0.008117m
	AL ELL=	41.3136m	+0.0295m	41.3431m	0.029020m
	AL ORTOM=				
H1	RADMAN				
	LAT=	54 00' 11.065113"	+0.000474"	54 00' 11.064639"	0.008529m
	LON=	68 35* 25.667070"	-0.002540"	68 35* 25.669610"	0.008503m
	AL ELL=	102.1854m	+0.0210m	102.2063m	0.030400m
	AL ORTOM=				
L3	RANCHO HAMBR				
	LAT=	54 44 26.894260"	-0.001945"	54 44' 26.896204"	0.008721m
	LON=	67 49' 45.842896"	+0.000117"	67 49* 45.842779"	0.008615m
	AL ELL=	163.9635m	+0.0240m	163.9875m	0.031077m
	AL ORTOM=				
D1	REDONDO				
	LAT=	53 08' 37.114225"	+0.000164"	53 08' 37.114060"	0.009366m
	LON=	68 32' 38.549807"	-0.000910"	68 32* 38.550717"	0.009308m
	AL ELL=	11.7509m	+0.0207m	11.7807m	0.033271m
	AL ORTOM=				
J2	RIO CLARO				
	LAT=	54 23' 24.330516"	-0.000321"	54 32' 24.330837"	0.007634m
	LON=	68 14' 31.671745"	+0.000831"	68 14' 31.670914"	0.007571m
	AL ELL=	294.1041m	+0.0212m	294.1252m	0.027172m
	AL ORTOM=				
F1	SALVADOR				
	LAT=	53 39' 29.335408"	-0.000163"	53 39' 29.335245"	0.007501m
	LON=	68 36' 05.666529"	-0.001663"	05.668192"	0.007487m
	AL ELL=	167.6258m	+0.0286m	167.6544m	0.026742m
	AL ORTOM=				
J7	SAN PABLO				
	LAT=	54 17' 34.743868"	-0.001655"	54 17' 34.745523"	0.008844m
	LON=	66 42' 35.402550"	+0.000826"	66 42' 35.401724"	0.008818m
	AL ELL=	29.1098m	+0.0440m	29.1538m	0.031531m
	AL ORTOM=				
H5	VIAMONTE				
	LAT=	53 59' 35.843654"	-0.000909"	53 59' 35.844563"	0.007466m
	LON=	67 24 * 50.651110"	+0.001503"	67 24' 50.649607"	0.007473m
	AL ELL=	15.7862m	+0.0397m	15.8260m	0.026642m
	AL ORTOM=				
J4	YEHUIN				
	LAT=	54 21 * 21.797711"	-0.001739"	54 21' 21.799450"	0.008172m
	LON=	67 -46* 18.164878"	+0.001149"	67 46' 18.163729"	0.008126m
	AL ELL=	109.0048m	+0.0164m	109.0213m	0.029131m
	AL ORTOM=				

RED GEODÉSICA DE TIERRA DEL FUEGO

1993

COORDENADAS FINALES AJUSTADAS

ESTACION	LATITUD				LONGITUD				ALTURA (m)	
M4	ALMANZA	54	52	13,4400	S	67	33	51,8908	W	12,262
M2	CADIG	54	49	21,3370	S	68	19	27,8808	W	34,773
D2	CHORRILLO	53	19	55,4977	S	68	15	30,2845	W	101,231
H2	DESPEDIDA	53	57	18,5133	S	68	15	53,1770	W	148,266
BI	EA CULLEN	52	52	52,0030	S	68	26	4,0347	W	59,393
G4	EARG	53	47	7,5660	S	67	45	5,4170	W	24,600
K5	EOLO	54	31	41,3753	S	67	13	50,3858	W	33,647
F3	FLAMENCOS	53	41	13,9672	S	68	8	3,8084	W	64,585
I3	GUAZU-CUE	54	7	33,0634	S	68	4	14,0137	W	169,600
A1	HITO 1	52	39	34,8735	S	68	36	23,6070	W	56,099
M7	MOAT	54	58	31,2212	S	66	44	40,7341	W	28,718
I5	P. JUSTICIA	54	12	46,8420	S	67	12	55,8620	W	41,343
HI	RADMAN	54	0	11,0646	S	68	35	25,6696	W	102,206
L3	RANCHO HAMBRE	54	44	26,8962	S	67	49	45,8428	W	163,987
D1	REDONDO	53	8	37,1141	S	68	32	38,5507	W	11,781
J2	RIO CLARO	54	23	24,3308	S	68	14	31,6709	W	294,125
F1	SALVADOR	53	39	29,3352	S	68	36	5,6682	W	167,654
J7	SAN PABLO	54	17	34,7455	S	66	42	35,4017	W	29,154
H5	VIAMONTE	53	59	35,8446	S	67	24	50,6496	W	15,826
J4	YEHUIN	54	21	21,7994	S	67	46	18,1637	W	109,021