

RESULTADOS DE LA CAMPAÑA ARGENTINA DE RASTREO SATELITARIO  
POSICIONAMIENTO SIMPLE

Raul A. Perdomo y Daniel Del Cogliano  
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas  
Universidad Nacional de La Plata

Consejo Nacional de Investigaciones  
Científicas y Técnicas

RESUMEN

En mayo de 1984 se realizó la primera campaña argentina de rastreo intensivo de satélites del sistema TRANSIT. Siete estaciones adecuadamente distribuidas en el territorio nacional fueron equipadas con posicionadores Doppler.

En este trabajo se presentan los resultados finales de posición para cinco de las estaciones. Las observaciones fueron procesadas con la técnica de posicionamiento simple utilizando "software" desarrollado por los autores.

Se realiza una descripción general de los programas utilizados y se discuten los resultados obtenidos. Se estima que el error en las coordenadas obtenidas está por debajo de los tres metros en todos los casos.

ABSTRACT

During may, 1984 the first intensive Transit satellite tracking campaign was carried out in Argentina. Seven stations well distributed all over the national territory were equipped with Doppler receivers.

In this work, the final results for five stations are presented. The accuracy of the final station coordinates is better than three meters.

Observations were processed in simple positioning mode using the authors' own software. A description of this software as well as a general discussion of the results are also included in this paper.

## 1. INTRODUCCION

En mayo de 1984, en coincidencia con la campaña internacional MERIT/COTES, se realizó la primera campaña argentina de rastreo intensivo de satélites TRANSIT.

Fueron ocupadas siete estaciones con posicionadores satelitarios: Punta Indio (Pcia. de Buenos Aires), San Martín (Pcia. de Buenos Aires), Tartagal (Pcia. de Salta), Córdoba (Pcia. de Córdoba), San Juan (Pcia. de San Juan), El Maitén (Pcia. de Chubut) y Río Grande (Tierra del Fuego).

Los objetivos de esta campaña son diversos. Este trabajo está relacionado directamente con tres de ellos: formación de recursos humanos en Geodesia Satelitaria, elaboración de "software" propio para el tratamiento de la información, y obtención de resultados precisos en los puntos ocupados.

Los autores son parte del Grupo de Geodesia Satelitaria de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.

## 2. PROGRAMAS DE PROCESAMIENTO

El primer problema que enfrenta el realizador de un programa de tratamiento de datos observacionales Doppler es el diferente formato de grabación de los posicionadores de distinto tipo. En esta campaña se utilizaron equipos de tres marcas distintas (Perdomo, Rodríguez, 1985).

Por otra parte, la información grabada contiene datos orbitales codificados, cuentas Doppler, intervalos de integración, etc., que es necesario pretratar para que puedan ser utilizados por un programa de cálculo.

Para ello se elaboró un primer programa de tratamiento que realiza las siguientes tareas: a. decodifica los parámetros orbitales transmitidos por el satélite; b. para receptores JMR y Motorola, construye los intervalos de integración de 4.6 seg.; c. para receptores Magnavox y Motorola construye cuentas Doppler corregidas por propagación ionosférica en función de las cuentas Doppler en dos frecuencias; d. construye un archivo de datos con formato simple de interpretar e independiente de la marca del posicionador (Del Cogliano, 1987).

A partir de este archivo de datos se desarrolló un programa de cálculo propiamente dicho, cuyas principales características se mencionan a continuación.

El algoritmo utilizado para la construcción de las ecuaciones de observación es clásico (Ashkenazi et al., 1977).

La secuencia de cálculo es la siguiente: a. lectura del archivo de datos y construcción de nuevas cuentas Doppler, integradas sobre intervalos de longitud opcional, normalmente se integran 6 y 7 intervalos de 4.6 seg.; b. en base a la fecha de comienzo del pasaje y a los intervalos de integración, se calculan los instantes para los cuales hay que conocer la posición del satélite; c. se construyen funciones interpolantes para los parámetros orbitales variables; d. con estas funciones y los parámetros orbitales medios se calculan las coordenadas terrestres rectangulares del satélite para los instantes deseados; e. se calculan las coordenadas locales del paso (acimut y altura para los instantes extremos de cada cuenta Doppler) utilizando la posición aproximada de la estación; f. a partir de las circunstancias locales se eliminan cuentas observadas por debajo de una altura indicada (típicamente  $10^\circ$ ), como también se elimina el paso completo si su altura máxima no alcanza un valor estipulado (generalmente  $15^\circ$ ); g. a continuación se corrigen las

cuentas Doppler por efecto de la propagación troposférica usando el modelo simplificado de Hopfield (Black, 1976); h. se transforman todas las coordenadas al plano de Guler (definido por el vector satélite-estación y el vector velocidad del satélite en el instante de la máxima aproximación) y se realiza una compensación para tres incógnitas en dicho plano (dos incógnitas de posición y una de frecuencia), esta solución se utiliza para eliminar cuentas malas (simplemente se eliminan todas aquellas cuentas que dejan un residuo mayor que 2.5 veces del error medio cuadrático de la solución), y para eliminar todo el paso si las correcciones en posición y frecuencia superan límites típicos (100 m en las coordenadas); i. se construyen las ecuaciones de observación en el sistema geocéntrico con cuatro incógnitas (tres de posición y una de frecuencia) y se integran en una matriz normal en la que se acumulan las ecuaciones de todos los pasos; j. se resuelve esta matriz y se calculan todos los residuos de cada cuenta respecto de esta solución acumulada, lo cual permite revisar nuevamente el acuerdo entre los distintos pasos y eventualmente eliminar pasos anómalos. Este proceso ha contribuido de manera importante para mejorar el acuerdo entre resultados de distintos períodos de observación.

### 3. ESTADISTICA DE LA CAMPAÑA

La tabla I muestra los datos estadísticos salientes de la campaña como se deducen del análisis de la información procesada con los programas descritos anteriormente. Es importante destacar que solo se han considerado los pasos aceptados en el procesamiento.

Para cada estación y para cada satélite se muestra el número de pasos que se iniciaron al norte (N) o al sur (S) del primer vertical así como al este (E) o al oeste (O) del meridiano local. A la derecha, el número total de pasos de cada satélite (TOT), y en la última fila, el número total de pasos por cuadrante. Las cuatro columnas de la derecha (que solo son significativas en la estación Córdoba) muestran que porcentaje de las cuentas usadas en el procesamiento, se registraron antes o después de la máxima aproximación, para pasos que se iniciaron por el sur (SA y SD) o por el norte (NA y ND). Es importante notar que la presencia de obstáculos que contribuyan a la asimetría de los pasos, afectan de igual manera a los pasos norte o sur, pero si en el primer caso, por ejemplo, representan una disminución de las cuentas registradas antes de la máxima aproximación, en el segundo caso producirán una disminución de las cuentas después de la máxima aproximación.

Los detalles más significativos de esta tabla han sido subrayados. En la estación Córdoba, por ejemplo, es notable la preponderancia del satélite 30480 (seguido del 30200), mientras que en Tartagal y Río Grande los pasos del 30480 son relativamente pocos.

Otro detalle saliente lo constituye la asimetría en el número total de pasos este-oeste de Córdoba. Esta estación también muestra una marcada asimetría en las cuentas registradas antes y después de la máxima proximidad. Nótese que en ningún caso esta proporción es menor que 25 % pues el programa elimina todos aquellos pasos que tengan menos del 25% de cuentas hacia cualquiera de los lados de la máxima aproximación.

Debe notarse también, que en ninguna de las otras estaciones las asimetrías son importantes. Por esa razón no se incluye una estadística detallada.

#### 4. PRIMEROS RESULTADOS

La Tabla II muestra los resultados obtenidos en las distintas estaciones procesando por períodos que incluyen entre 50 y 70 pasos. Las coordenadas rectangulares geocéntricas X,Y,Z, están expresadas en metros, NP indica el número de pasos considerado, y entre paréntesis se indica el número de pasos eliminados por acuerdo externo con el proceso descrito en el ítem j del punto 2 de este trabajo, EMC es el error medio cuadrático de la solución global del período y está expresado en cm.

Estos resultados muestran un excelente acuerdo en Río Grande y Tartagal, y algunas particularidades en las demás estaciones que se analizan más detalladamente a continuación. Sin embargo, cabe destacar que en todos los casos el acuerdo entre los resultados obtenidos en X,Y,Z para distintos períodos en una misma estación presentan desviaciones típicas (respecto de la media aritmética) generalmente menores que tres metros.

Para completar este cuadro de resultados generales, se muestran algunos valores obtenidos en las estaciones Río Grande y San Martín procesando solamente un satélite por vez (Tabla III). Como puede notarse, el satélite 30480 presenta el apartamiento más fuerte respecto de los resultados generales. El satélite 30200 también arroja algunos resultados poco satisfactorios.

#### 5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

a. en frecuencia: con el fin de agregar elementos de juicio, se realizó un estudio completo de la incógnita de frecuencia a lo largo del tiempo, por estación y por satélite. Obviamente, las irregularidades en esta incógnita que son comunes a todos los satélites se deben al oscilador local, mientras que, al estudiar un satélite determinado, en distintas estaciones, se puede deducir el comportamiento del oscilador en el satélite.

Dos conclusiones saltan a la vista del análisis de las curvas, algunas de las cuales se muestran en la figura 1: la primera, que el oscilador del satélite 30200 es el más irregular. La segunda, que el oscilador de la estación San Martín presenta una deriva bastante importante, sobre todo en los primeros días de la campaña. Esto condujo a eliminar los dos primeros días de esta estación en el procesamiento final. Obviamente la estabilidad de los osciladores, tanto del receptor como del satélite, es condición fundamental para poder interpretar las variaciones de la frecuencia batida como debidas exclusivamente al movimiento relativo (efecto Doppler).

El satélite 30480 presenta el mejor comportamiento en esta variable, lo que es natural si se piensa que es el más moderno de los satélites del sistema (fig 1).

b. en el plano de Guier: algunos pasos del satélite 30480 arrojan soluciones poco congruentes con la solución general. El análisis por paso en el plano de Guier muestra importantes errores sistemáticos en el sentido del movimiento del satélite que justifican las diferencias expuestas en la tabla III.

c. el proceso de revisión de todos los pasos respecto de la solución de un período determinado (descrito en el ítem j del punto 2.) contribuyó de manera importante a minimizar el efecto perturbador de estos pasos.

d. estadística: como se puede apreciar en la tabla II, la estación Córdoba presenta el peor acuerdo en los resultados de distintos períodos. Dos son las razones fundamentales: primero, la preponderancia en el número de pasos de los satélites más irregulares, segundo, la presencia de importantes asimetrías dentro de cada paso y también en el número total de pasos salientes por distintos cuadrantes.

e. sobre las correcciones introducidas en las observaciones por efectos de propagación en la atmósfera: para el cálculo de la refracción troposférica se utilizaron los siguientes parámetros  $T=285$  °K.,  $P=1$  atm. y  $K_w=0.20$  salvo para la estación Río Grande para la que se adoptó  $K_w=0.10$  en función de su situación geográfica (clima frío).  $K_w$  es el factor de la expresión que permite calcular la componente húmeda de la contribución troposférica a la longitud de la trayectoria.

Las correcciones ionosféricas de las cuentas de la estación Córdoba fueron calculadas en IGN (Francia) en el momento de transferir la información a cinta magnética. En muchos pasos, los valores de esta corrección sufren importantes variaciones lo que sugiere un mal funcionamiento de alguno de los canales del receptor.

El procesamiento convencional agrupando las cuentas de 4.6 seg. en intervalos de 6 y 7 veces este valor primario, conducía sistemáticamente a la eliminación de un gran número de pasos porque en el proceso de filtrado de cuentas se perdía la mayoría de ellas. Esto condujo a procesar esta estación con cuentas integradas en grupos de 3 y 4.

f. procesamiento final: en base al análisis detallado de toda la información, se adoptaron finalmente los resultados expuestos en la tabla IV. Los mismos se obtuvieron de un análisis minucioso de los residuos de cada paso respecto de la solución general de cada período. Típicamente, el error medio cuadrático calculado a partir de los residuos individuales de todas las cuentas del período procesado es del orden de 50 a 70 cm. Se eliminaron aquellos pasos cuyo desvío medio estaba por encima de 150 cm. Este criterio es discutible, sin embargo es el resultado del estudio de cada paso y su contribución a la solución final del período considerado.

## 6. SOBRE SISTEMAS DE REFERENCIA:

Los resultados presentados corresponden al procesamiento realizado empleando efemérides transmitidas por los propios satélites. En consecuencia, el sistema de referencia queda definido por el sistema de "las efemérides transmitidas".

Si suponemos que el sistema de las efemérides transmitidas coincide con el sistema de las efemérides precisas, a las coordenadas de la tabla IV habría que aplicarles la transformación de Anderle (1976) y podrían considerarse en WGS72, como se describe en un importante trabajo de Meade (1982).

Por el momento, no puede afirmarse tal cosa. Como se dispone de efemérides precisas, se proyecta repetir el cálculo en las mismas estaciones y obtener los parámetros de transformación "transmitidas - precisas" aplicables en nuestro país.

## 7 BIBLIOGRAFIA

Perdomo R. y Rodríguez R., 1985: "Contribución Argentina al proyecto internacional MERIT/COTES". GEOACTA, vol 13, nro 1, pag 1

a 11.

Del Cogliano D.,1987: "Geodesia Espacial. Tratamiento de la información observacional". Práctica de la Especialidad. Fac. de Ciencias Astron. y Geof. (UNLP).

Ashkenazi V., Gough R. y Sykes R.,1977: "Determinación de Posiciones Geodésicas por medio de satélites Doppler" Seminario sobre el sistema Doppler y su aplicación en la determinación de estaciones de control geodésico. Buenos Aires,julio de 1977.

Black, 1976: "Position determination using the TRANSIT system". Proc. of the first Int. Geodetic Symp. on satellite Doppler Positioning, Las Cruces, New Mexico.

Anderle, R. J., 1976: "Point Positioning Concept Using Precise Ephemeris". Proceedings of the First International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, Las Cruces, New Mexico.

Meade, B. K.,1982:"NWL-10f versus WGS72 Doppler results and Broadcast versus Precise Ephemeris coordinates". Proceedings of the third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, New Mexico.

TABLA I

SAT	N	S	E	W	TOT	SA	SD	NA	ND
<b>TARTAGAL</b>									
30110	16	17	18	15	33				
30130	20	22	20	22	42				
30190	15	22	17	20	37				
30200	22	16	21	17	38				
30480	3	2	3	2	<u>5</u>				
	76	79	79	76	155	50	50	50	50
<b>PUNTA INDIO</b>									
30110	29	26	24	31	55				
30130	26	27	26	27	53				
30190	14	29	22	21	43				
30200	23	20	23	20	43				
30480	28	23	25	26	51				
	120	125	120	125	245	50	50	50	50
<b>CORDOBA</b>									
30110	14	8	13	9	22	67	33	28	72
30130	12	20	21	11	32	33	67	48	52
30190	15	20	22	13	35	38	62	50	50
30200	15	20	22	13	35	43	57	58	42
30480	27	22	27	22	<u>49</u>	57	43	44	56
	76	80	<u>95</u>	<u>61</u>	156				
<b>SAN MARTIN</b>									
30110	40	26	34	32	66				
30130	30	34	33	31	64				
30190	27	43	42	28	70				
30200	33	33	36	32	68				
30480	45	36	42	39	81				
	177	172	187	162	349	50	50	50	50
<b>RIO GRANDE</b>									
30110	51	47	55	43	98				
30130	46	50	36	60	96				
30190	50	64	62	52	114				
30200	50	50	51	49	100				
30480	38	28	36	30	<u>66</u>				
	235	239	240	234	474	50	50	50	50

Estadística general de la campaña

TABLA II

PERIODO (día anual)	X(m)	Y(m)	Z(m)	NP	EMC (cm)
<b>TARTAGAL</b>					
	2603	-5290	-2424		
122.67 - 128.99	261.8	677.6	807.5	52(0)	76
128.99 - 138.40	262.8	676.6	809.0	49(3)	60
138.40 - 150.44	258.1	677.8	806.6	51(3)	62
<b>PUNTA INDIO</b>					
	2814	-4382	-3669		
133.39 - 140.95	845.8	320.5	103.2	64(2)	74
140.95 - 147.84	847.3	320.2	103.7	62(1)	70
147.84 - 154.99	846.8	319.9	102.8	61(2)	66
154.87 - 160.54	844.3	318.2	104.6	54(2)	70
<b>CORDOBA</b>					
	2372	-4911	-3295		
122.51 - 128.94	718.6	369.2	897.7	50(0)	78
128.94 - 135.97	722.5	370.4	896.5	50(0)	70
135.97 - 143.38	724.4	369.3	899.8	54(4)	68
<b>SAN MARTIN</b>					
	2745	-4483	-3599		
125.57 - 130.11	486.8	600.1	100.9	63(1)	78
130.29 - 135.11	485.4	599.4	101.9	67(2)	69
135.34 - 140.11	487.4	602.3	100.8	60(3)	72
140.31 - 156.92	485.6	600.0	102.3	61(1)	73
156.99 - 161.37	484.3	601.4	101.0	58(6)	91
<b>R. GRANDE</b>					
	1429	-3495	-5122		
122.97 - 126.89	889.8	350.2	711.4	61(5)	66
126.91 - 130.36	891.8	349.4	711.5	64(0)	68
130.38 - 133.69	889.2	348.4	714.2	63(1)	69
133.83 - 137.68	888.7	350.1	710.4	66(0)	62
137.77 - 142.00	888.8	347.4	712.6	68(2)	68
142.07 - 147.32	888.2	346.4	713.0	69(0)	59
147.36 - 152.97	891.4	348.5	712.5	69(0)	59

Resultados preliminares procesando entre  
50 y 70 pasos satelitarios en cada estación



TABLA III

PERIODO	X(m)	Y(m)	Z(m)	EMC(cm)	SATELITE
<b>SAN MARTIN</b>					
	2745	-4483	-3599		
123.94 - 143.38	487.7	599.1	097.6	71	30110
123.56 - 156.46	490.2	597.8	100.0	71	30130
123.81 - 145.29	483.4	596.6	94.7	76	30190
124.92 - 144.91	491.6	606.2	99.5	79	30200
123.55 - 140.03	483.6	598.8	115.8	74	30480
<b>R. GRANDE</b>					
	1429	-3495	-5122		
122.97 - 139.91	890.2	349.5	710.6	45	30110
123.06 - 139.17	888.2	345.8	712.2	59	30130
123.31 - 138.81	889.5	347.9	707.7	57	30190
123.43 - 140.35	888.4	344.7	712.3	72	30200
123.08 - 150.03	889.9	353.2	719.1	111	30480

Resultados en dos estaciones procesando  
observaciones de un satélite por vez.

TABLA IV

ESTACION	X(m)	Y(m)	Z(m)
TARTAGAL	2603260.9	-5290677.3	-2424807.7
P. INDIO	2814846.0	-4382319.7	-3669103.6
CORDOBA	2372721.8	-4911369.6	-3295898.0
S. MARTIN	2745485.9	-4483600.6	-3599101.4
R. GRANDE	1429889.7	-3495348.6	-5122712.2

Resultados finales adoptados

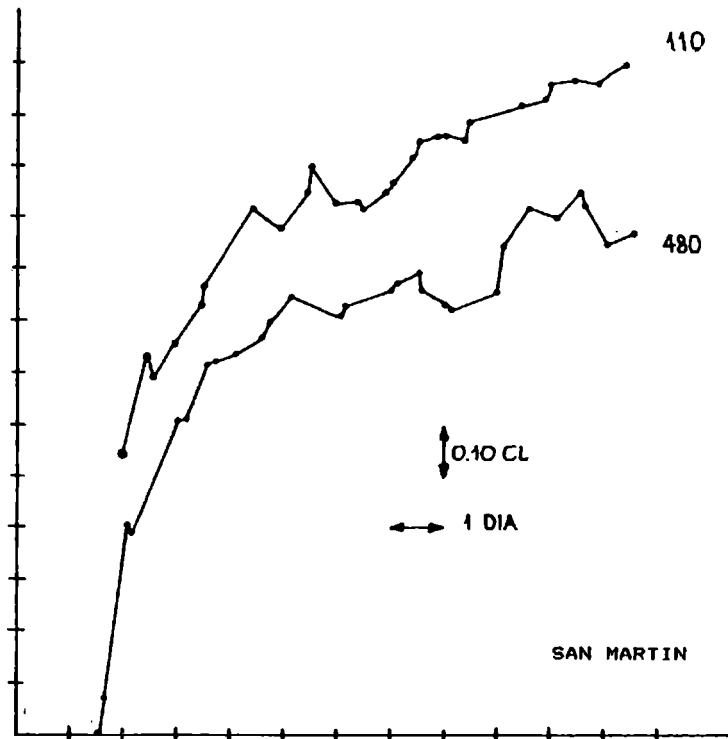


fig. 1a: comportamiento de la frecuencia del receptor en la estación San Martín para los satélites 30110 y 30480 .

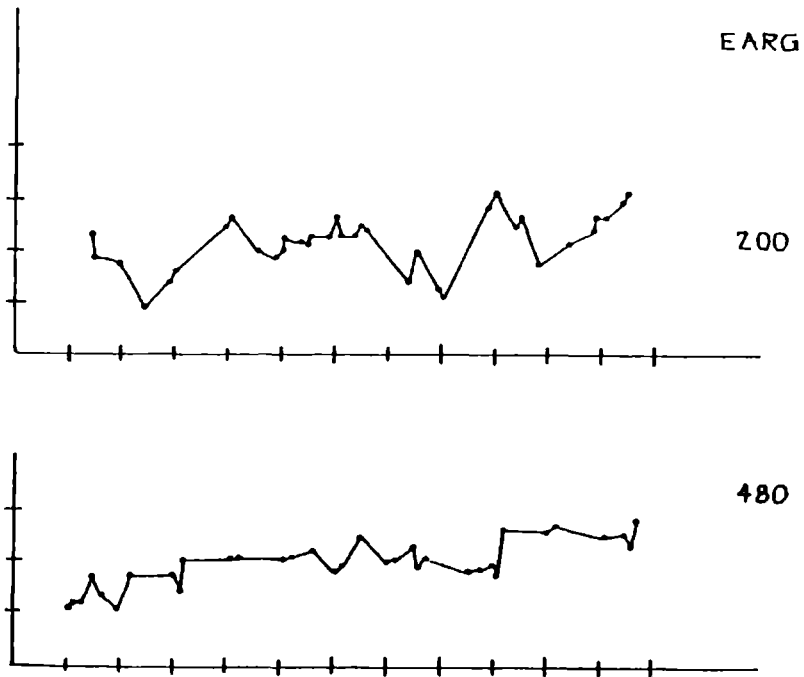


fig. 1b : comportamiento de la frecuencia de los satelites 30200 y 30480 en la estacion Río Grande (EARG)