

## Tabla de contenidos

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1 Sistemas de referencia de la Geodesia actual</b>	<b>6</b>
<i>1.1 Introducción</i>	6
<i>1.2 El marco conceptual</i>	8
1.2.1 El sistema de referencia ideal	9
1.2.2 El sistema de referencia convencional	9
1.2.3 El marco de referencia	10
1.2.4 Densificación del marco de referencia	10
<i>1.3 Sistemas de referencia celestes y terrestres</i>	11
1.3.1 Sistemas celestes	11
1.3.2 Sistemas terrestres	12
1.3.3 Sistemas intermediarios	13
1.3.4 El enfoque relativista	14
1.3.5 La referencia temporal	14
1.3.6 Constantes fundamentales	16
1.3.7 Cooperación internacional para establecer el sistema de referencia global	16
<i>1.4 Las técnicas de observación</i>	18
1.4.1 VLBI	18
1.4.2 LLR	19
1.4.3 SLR	20
1.4.4 GPS	22
1.4.5 DORIS	23
<i>1.5 El Sistema de convenciones del IERS de 1996</i>	24
1.5.1 El Sistema de Referencia Celeste Convencional	24
1.5.2 El Sistema de Referencia Terrestre Convencional	26
1.5.3 Transformaciones entre sistemas celestes y terrestres	29
1.5.4 Modelo de geopotencial	31
1.5.5 Efectos que producen desplazamientos en los sitios de observación	33
<i>1.6 Materializaciones del ITRS</i>	36
<i>1.7 Densificación del marco ITRF en América del Sur</i>	37
<i>1.8 Otros marcos de referencia globales</i>	38
<b>Capítulo 2 El Sistema de Posicionamiento Global</b>	<b>40</b>
<i>2.1 Introducción</i>	40
<i>2.2 Conceptos básicos del posicionamiento con GPS</i>	41
2.2.1 Las señales	41
2.2.2 La observación de fase	44
2.2.3 El método diferencial	45
2.2.4 El posicionamiento con fases	49
<i>2.3 Problemas particulares del posicionamiento de alta precisión</i>	58
2.3.1 Errores orbitales y de las coordenadas de la estación de referencia	58

2.3.2 Multicamino y dispersión de la señal	61
2.3.3 Variación de la posición de los centros de fase de las antenas receptoras	62
2.3.4 Efecto de las protecciones de las antenas o radomes	64
2.3.5 El retardo ionosférico	64
2.3.6 El retardo troposférico	66
<b>Capítulo 3 Metodología y herramientas de cálculo</b>	<b>72</b>
3.1 <i>Introducción</i>	72
3.2 <i>Descripción general</i>	72
3.3 <i>Procesamiento previo</i>	74
3.3.1 Preparación de las observaciones	74
3.3.2 Pre-procesamiento de las observaciones de códigos	75
3.3.3 Utilización de efemérides precisas	76
3.3.4 Pre-procesamiento de las observaciones de fase	76
3.4 <i>Cálculo de las sesiones</i>	82
3.4.1 Características más relevantes del procesamiento de fases	82
3.4.2 Estructura del programa principal de estimación de parámetros del BSW	85
3.4.3 Resultados por sesión	89
3.5 <i>El ajuste multisesión</i>	90
3.5.1 La introducción de las coordenadas de control en el ajuste	90
3.5.2 Acerca de la exactitud de la solución combinada	91
3.5.3 Densificación de ITRF	92
<b>Capítulo 4 El marco de referencia POSGAR'98</b>	<b>93</b>
4.1 <i>Introducción</i>	93
4.2 <i>Desarrollo histórico del marco de referencia nacional</i>	95
4.3 <i>POSGAR'94</i>	101
4.3.1 Las observaciones	101
4.3.2 El cálculo	102
4.3.3 Los resultados	103
4.3.4 POSGAR'94 y SIRGAS	103
4.4 <i>La transición entre el sistema Inchauspe'69 y POSGAR'94</i>	105
4.4.1 Parámetros de transformación entre CAI69 y POSGAR'94	105
4.5 <i>El marco de referencia POSGAR'98</i>	107
4.5.1 La integración de La Argentina en el marco SIRGAS	107
4.5.2 Las observaciones	108
4.5.3 El cálculo	110
4.5.4 Introducción del sistema de referencia	113
4.5.5 Resultados	115
4.5.6 POSGAR'94 - POSGAR'98, una transición notoria en ciertos casos prácticos	120
4.6 <i>Conclusiones</i>	122
<b>Capítulo 5 Análisis de residuos de observaciones GPS</b>	<b>125</b>

5.1	<i>Introducción</i>	125
5.2	<i>Análisis de residuos de observaciones GPS</i>	127
5.2.1	Las observaciones	127
5.2.2	Metodología	128
5.2.3	Aplicación de la inversión de los residuos al análisis de una red GPS local	133
5.2.4	Aplicación del método al análisis de redes geodésicas de extensión regional	138
5.2.5	Eliminación de los efectos dependientes de las antenas	140
5.2.6	Aplicación de las herramientas de análisis a la campaña SIRGAS'95	143
5.3	<i>Conclusiones del capítulo</i>	144
<b>Capítulo 6 Conclusiones y trabajos futuros</b>		<b>146</b>
6.1	<i>El marco de referencia Posgar'98</i>	146
6.2	<i>Análisis de residuos de observaciones GPS</i>	147
6.3	<i>El futuro del marco de referencia terrestre en Argentina</i>	149
<b>Referencias citadas en el texto</b>		<b>151</b>
<b>Anexo I</b>	<b>El marco de referencia POSGAR'98</b>	<b>158</b>
<b>Anexo II</b>	<b>Tabla de ocupación de las campañas POSGAR</b>	<b>165</b>
<b>Anexo III</b>	<b>Las estaciones que conforman el marco POSGAR'98</b>	<b>167</b>
<b>Anexo IV</b>	<b>Información relativa al cálculo de POSGAR'98</b>	<b>169</b>
<b>Anexo V</b>	<b>Posiciones de los centros de fase de las antenas utilizadas en el procesamiento de POSGAR'98</b>	<b>170</b>
<b>Anexo VI</b>	<b>Residuos de cero diferencias en Wettzell</b>	<b>171</b>
<b>Anexo VII</b>	<b>Residuos de cero diferencias en Wettzell (valores medios extraídos)</b>	<b>177</b>

## Lista de figuras

Figura 1.1: Red de estaciones VLBI que participan en el IVS	19
Figura 1.2: Red global de estaciones SLR participantes del ILRS	21
Figura 1.3: Red de rastreo GPS permanente del IGS	22
Figura 1.4: Red global de balizas DORIS	23
Figura 2.1: Escalas relevantes para el posicionamiento diferencial	46
Figura 2.2: Ciclos perdidos en dobles diferencias de $L_1$	49
Figura 2.3: Soluciones posibles con ambigüedades enteras de $L_1$ a partir de una posición a priori de exactitud métrica	52
Figura 2.4: Soluciones posibles con ambigüedades enteras de $L_0$	53
Figura 2.5: Ventaja de la solución de ambigüedades enteras en función de la longitud de la sesión	57
Figura 3.1: Esquema del flujo de procesamiento del Bernese GPS software V 4.0	78
Figura 4.1: Vinculaciones por punto	103
Figura 4.2: Nro. de ocupaciones por punto	103
Figura 4.3: Vectores calculados en POSGAR'98	109
Figura 4.4: Establecimiento del sistema de referencia en el cálculo de POSGAR'98	114
Figura 4.5: Repetibilidad de las coordenadas de POSGAR'98 a través de las desviaciones estándar de los residuos en las direcciones Norte, Este y Altura	115
Figura 4.6: Desviaciones estándar de transformaciones de tres parámetros entre las soluciones por sesión y la que resulta de la combinación de todas. Se discrimina por sesión y por componente	116
Figura 4.7: Residuos de una transformación de 7 parámetros entre solución libre de POSGAR'98 y otra obtenida de fijar todos los puntos de control disponibles	117
Figura 4.8: Diferencias entre coordenadas POSGAR'94 y POSGAR'98	120
Figura 5.1: Dependencia de los residuos de dobles diferencias con la elevación en un vector corto	129
Figura 5.2: Dependencia de los residuos de dobles diferencias con la elevación en un vector corto	129
Figura 5.3: Autocorrelación para series de residuos en vectores cortos	130
Figura 5.4: Autocorrelación para series de residuos en vectores largos	130
Figura 5.5: Residuos de dobles diferencias entre TR14532.00 y LEI-INT, satélites 5 y 9	131
Figura 5.6: Residuos de cero diferencias para el satélite 5 en TRM14532.00	134
Figura 5.7: Residuos de cero diferencias para el satélite 27 en TRM14532.00	134

Figura 5.8: Residuos de cero diferencias respecto en AOAD/M_T para el satélite 5	135
Figura 5.9: Residuos de cero diferencias respecto en AOAD/M_T para el satélite 27	135
Figura 5.10: Residuos de cero diferencias respecto de la distancia cenital en TRM14532.00 para el satélite 27	136
Figura 5.11: Residuos de cero diferencias respecto de la distancia cenital en AOAD/M_T para el satélite 27	136
Figura 5.12: Residuos de cero diferencias respecto de la distancia cenital en TRM14532.00 para el satélite 5	137
Figura 5.13: Residuos de cero diferencias respecto de la distancia cenital en TRM14532.00 para el satélite 5	137
Figura 5.14: Residuos de cero diferencias (valores medios diarios sustraídos) para las estaciones TRM20220.00+GP+RD y AOAD/M_T en Wettzell para el día 140	141
Figura 5.15: Residuos de cero diferencias (valores medios diarios sustraídos) para las estaciones TRM20220.00+GP+RD y AOAD/M_T en Wettzell para el día 136	142
Figura 5.16: Residuos medios de cero diferencias para la estación AOAD/M_T en Wettzell	142
Figura 5.17: Residuos medios de cero diferencias para la estación TRM20220.00+GP+RD en Wettzell	143
Día 134. Fig. VI-1 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VI-2 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	172
Día 136. Fig. VI-3 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VI-4 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	173
Día 138. Fig. VI-5 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VI-6 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	174
Día 139. Fig. VI-7 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VI-8 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	175
Día 140. Fig. VI-9 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VI-10 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	176
Día 134. Fig. VII-1 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VII-2 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	178
Día 136. Fig. VII-3 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VII-4 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	179
Día 138. Fig. VII-5 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VII-6 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	180
Día 139. Fig. VII-7 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VII-8 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	181
Día 140. Fig. VII-9 (arriba): AOAD/M_T, Fig. VII-10 (abajo): TRM20220.00+GP+RD	182

## Lista de tablas

Tabla 2.1: Características relevantes de las combinaciones más usadas	55
Tabla 4.1: Diferencias de coordenadas absolutas y distancias entre POSGAR'94 y SIRGAS	104
Tabla 4.2: Residuos de una transformación de 7 parámetros entre la solución libre de POSGAR'98 y trece puntos de control	118
Tabla 4.3: Residuos de una transformación de 7 parámetros entre la solución libre de POSGAR'98 y la solución libre de la red de control	119
Tabla 4.4: Residuos de una transformación de tres parámetros entre la solución libre de la red local y la solución libre de POSGAR'98	119
Tabla 4.5: POSGAR'94 y POSGAR'98 como control de redes extensas y precisas	121
Tabla 5.1: Descripción de las campañas GPS utilizadas	127
Tabla 5.2: Antenas y receptores utilizados en las campañas calculadas	128