

Tabla de contenidos

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1 Sistemas de referencia de la Geodesia actual | 6 |
| <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 |
| Capítulo 2 El Sistema de Posicionamiento Global | 40 |
| <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 |
| Capítulo 3 Metodología y herramientas de cálculo | 72 |
| 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 |
| Capítulo 4 El marco de referencia POSGAR'98 | 93 |
| 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 |
| Capítulo 5 Análisis de residuos de observaciones GPS | 125 |

| | |
|--|------------|
| <i>5.1 Introducción</i> | 125 |
| <i>5.2 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 |
| <i>5.3 Conclusiones del capítulo</i> | 144 |
| Capítulo 6 Conclusiones y trabajos futuros | 146 |
| 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 |
| Referencias citadas en el texto | 151 |
| Anexo I El marco de referencia POSGAR'98 | 158 |
| Anexo II Tabla de ocupación de las campañas POSGAR | 165 |
| Anexo III Las estaciones que conforman el marco POSGAR'98 | 167 |
| Anexo IV Información relativa al cálculo de POSGAR'98 | 169 |
| Anexo V Posiciones de los centros de fase de las antenas utilizadas en el procesamiento de POSGAR'98 | 170 |
| Anexo VI Residuos de cero diferencias en Wettzell | 171 |
| Anexo VII Residuos de cero diferencias en Wettzell (valores medios extraídos) | 177 |

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 |