

Índice de capítulos	VII
Índice de figuras	XIV
Índice de tablas	XVIII
Acrónimos	XX
Índice de capítulos	
1. Contexto multi-constelación actual de la Geodesia Espacial.	1
1.1. Coyuntura actual entre los sistemas de navegación por satélite y espectro de señales.	2
1.1.1. Situación actual del sistema NAVSTAR GPS	5
1.1.2. El sistema GLONASS	7
1.1.3. El programa europeo GALILEO	8
1.1.4. El sistema Beidou	13
1.1.5. Quasi Zenith Satellite System (QZSS)	15
1.1.6. Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS)	16
1.2. Sistemas de referencia convencionales.	17
1.2.1. Sistema de referencia y Marco de referencia terrestre internacional (ITRS/ITRF)	18
1.2.1.1 Definición de la siguiente materialización de ITRF2008	20
1.2.2. Sistema y Marco de Referencia Terrestre Europeo	21
1.3. Organismos, consorcios y redes GNSS de ámbito global o continental.	
1.3.1. El International GNSS Service.	22
1.3.2. La subcomisión Europea EUREF.	23
1.3.3. Los centros de análisis y centros de datos. Productos y servicios.	24
1.3.4. Las iniciativas MGEX y CONGO.	
1.3.4.1. El proyecto MGEX (Multi-GNSS EXperiment).	26
1.3.4.2. La red CONGO (Cooperative Network for GIOVE Observations).	27
2. Descripción de los términos a modelar en GNSS. El caso de la técnica Precise Point Positioning.	
2.1. Errores de reloj en GNSS.	30
2.1.1. Clasificación y caracterización de osciladores existentes.	31
2.1.2. Modelo polinomial de representación del error de reloj.	32
2.1.3. Efectos relativistas.	33
2.2. Determinación orbital precisa.	34

2.3. Efectos sobre la propagación de la señal en la atmósfera.	35
2.3.1. Retardo troposférico.	36
2.3.2. Retardo ionosférico.	38
2.4. Pérdida de ciclo y multipath	41
2.5. Efectos de sitio, cargas y mareas. Parámetros de orientación de la tierra.	
2.5.1. Mareas terrestres sólidas	41
2.5.2. Deformación de la rotación debido al movimiento del polo	42
2.5.3. Carga oceánica	42
2.5.4. Carga atmosférica	42
2.5.5. Parámetros de orientación de la tierra	42
2.6. Retardos y offsets dependientes de la antena	43
2.7. Polarización en la señales por la actitud del satélite: <i>Phase wind-up</i>	43
2.8. Retardos de señal no calibrados y <i>bias</i> entre observables.	44
2.8.1. <i>Bias</i> entre sistemas (ISB) y <i>bias</i> entre frecuencias (IFB)	44
2.8.2. Retardos de fase no calibrados (UPD)	45
2.8.3. Sesgos entre observables de código.	46
2.8.3.1. <i>Bias o sesgo (DCB)</i> entre los códigos C1 y P1	46
2.8.3.2. <i>Bias o sesgo (DCB)</i> entre los códigos P2 y C2	47
2.9. La técnica Precise Point Positioning.	47
2.9.1. Combinaciones de observables empleadas en PPP	49
2.9.2. Modelo lineal de observación en PPP	51
2.9.3. Métodos para la recuperación de ambigüedades enteras en PPP	53
2.9.3.1. Aproximación a través de la estimación del “bias” fracción de ciclo (Fractional Cycle Biases –FCB).	53
2.9.3.2. Aproximación a través de la determinación del estado del reloj y de la recuperación de su parte entera (Integer Recovery Clocks –IRC).	55
2.9.3.3. Otras aproximaciones para la obtención de ambigüedades enteras en PPP.	57
3. Modelos de distribución de errores para posicionamiento PPP en tiempo real	
3.1. Aproximación a través del concepto clásico “Observation Space Representation – OSR”	58
3.1.1. Materialización del concepto OSR en tiempo real a través de la solución de red GNSS.	59
3.2. Aproximación a través del concepto “State Space Representation -SSR”	61

3.2.1.	Composición del vector de estado en la aproximación por SSR	62
3.2.1.1.	Correcciones a la órbita del satélite	62
3.2.1.2.	Correcciones de reloj de los satélites y términos para correcciones de alto ratio	64
3.2.1.3.	Mensajes para la especificación del marco de referencia	64
3.2.1.4.	Mensaje SSR con el <i>bias</i> del observable de código del satélite y para la transmisión del <i>bias</i> de fase.	65
3.2.1.5.	Consistencia temporal y frecuencia de actualización de los mensajes SSR	65
3.2.2.	Encapsulación y transmisión de los modelos estandarizados RTCM-SSR de correcciones CLKxx en tiempo real	66
3.2.3.	Perspectivas futuras en el desarrollo del estándar SSR.	71
3.2.3.1.	Estandarización de las componentes del mensaje SSR para la constelación GALILEO.	73
3.2.3.2.	Estandarización de las componentes del mensaje SSR para el modelado ionosférico y troposférico.	73
3.3.	Encapsulación y transmisión de los modelos estandarizados RTCM-MSM de observaciones multi-constelación.	73
3.4.	Discusión sobre las aproximaciones SSR y OSR	76
4.	Revisión de los procesos y alternativas de generación en tiempo real de modelos del vector de estado	
4.1.	Aproximación a nivel de centros de análisis y herramientas científicas	78
4.1.1.	Modelos de reloj para posicionamiento PPP-estándar con medidas de fase en RTNET	78
4.1.1.1.	Estimación del <i>bias</i> de fase para PPP -RTK	80
4.1.2.	Sistema RETICLE de estimación en tiempo real de estados de reloj	81
4.1.3.	Algoritmo RTIGSMR	83
4.1.4.	Sistema RETINA	85
4.1.5.	El sistema PPP-WIZARD	85
4.2.	Implementación del filtro Kalman en los centros de análisis.	87
4.2.1.	Predicción de valores	88
4.2.2.	Fase de actualización y corrección del filtro Kalman	88
4.3.	Generación de productos combinados en el IGS y distribución a través del servicio RTS.	90
4.3.1.	Proceso de combinación de productos	91
4.3.1.1.	Combinación de productos individuales época a época	91
4.3.1.2.	Generación de productos combinados GPS a través de Filtros Kalman	92
4.3.1.3.	Filtrado Kalman para la combinación de modelos GPS+GLONASS	93
4.3.1.4.	Mecanismos de distribución robusta	93

4.4. Generación de modelos en tiempo real para marcos regionales	94
4.4.1. Estrategias de transformación de productos	95
5. Herramientas existentes para posicionamiento PPP en tiempo real y software desarrollado	
5.1. Herramientas existentes para posicionamiento PPP en tiempo real	98
5.1.1. Librerías de G-Nut/GEB	98
5.1.2. EPOS –RT	99
5.1.3. BKG Ntrip Client	99
5.1.4. RTKLIB	100
5.1.5. GINPOS	100
5.1.6. PPP-Wizard	101
5.1.7. GMV MAGIC-PPP	101
5.1.8. GNSS-WARP	101
5.2. Programación de nuevas rutinas de cálculo en lenguaje <i>Python</i>	101
5.2.1. Llamada a librerías de cálculo científico	103
5.2.2. Programación de módulos avanzados de cálculo	104
5.2.2.1. Librería GeoCalc.	104
5.2.2.2. Rutinas individuales	111
5.3. Diagrama de la unidad de control	112
6. Análisis del escenario multi-constelación existente para PPP.	
6.1. Estado del arte en la estimación de productos multi-constelación para post-procesamiento	114
6.1.1. Análisis de modelos actuales para la constelación GALILEO	115
6.2. Impacto de la presencia de GALILEO en la solución PPP en tiempo real	122
6.2.1. Convergencia en el posicionamiento PPP empleando solución de navegación con GALILEO	123
6.2.2. Monitorización de productos de la red de rastreo GALILEO (CONGO)	124
6.3. Influencia de la constelación GLONASS en la solución PPP en tiempo real	129
6.3.1. Discusión de Outliers en la determinación de modelos SSR de órbitas GLONASS	132
6.4. Sesiones multi-constelación simultáneas	134
6.5. Aportaciones del escenario y mejoras futuras	143

7. Impacto de la recuperación del número entero de ambigüedades en tiempo real.	
7.1. Desarrollo del método	148
7.2. Modelos utilizados para la resolución de ambigüedades enteras en tiempo real.	
7.2.1. Análisis del prototipo basado en la combinación de observables Resultados del análisis	150
7.2.2. Aplicación del modelo estandarizado	159
7.3. Conclusiones y discusión.	164
8. Alternativas y mejoras a los modelos combinados finales del IGS	168
8.1. Implementación de la combinación de productos para post-procesamiento en tiempo quasi-real	171
8.1.1. Combinación época a época CLK91+CLK11 para post-procesamiento PPP	172
8.1.2. Post-procesamiento PPP con la implementación de la triple combinación época a época CLK91+CLK11+CLKA1	174
8.1.3. Implementación del producto combinado mediante la media ponderada época a época	180
8.1.4. Productos combinados con detección de <i>outliers</i>	183
8.2. Estrategias de combinación de productos en tiempo real	
8.2.1. Combinación época a época frente a combinación por filtros Kalman	187
8.2.2. Creación de nuevos productos en tiempo real mediante la combinación por Filtros Kalman	189
8.2.2.1. Rendimiento de la combinación de soluciones CLK11+CLKA1	191
8.2.2.2. Rendimiento de la combinación de soluciones CLK11+CLK91	195
8.2.2.3. Rendimiento de la combinación de modelos CLK91+CLKA1	201
8.2.2.4. Combinación de modelos CLK91+CLKA1 frente a combinación CLK91+CLK11	205
8.2.3. Discusión sobre la creación de productos combinados en tiempo real y post-proceso	210
9. Análisis de estrategias de obtención de productos regionales para PPP en tiempo real.	
9.1. Descripción de los modelos existentes	216
9.2. Propuesta de transformación implementada en tiempo real	218
9.2.1. Rendimiento de la transformación en tiempo real aplicando la técnica PPP frente a productos de marcos regionales	219
9.2.1.1. Modelo en el marco regional frente a transformación al vuelo sobre el modelo CLK91	220
9.2.1.2. Modelo EUREFO2 frente a transformación al vuelo con el modelo CLK91	226
9.2.1.3. Modelo en el marco regional frente a modelos globales transformados al vuelo	234

9.2.2. Discusión de los escenarios	239
10. Diseño de la interface de monitorización global en tiempo real para PPP	
10.1. Diagrama de despliegue del sistema de monitorización	242
10.2. Infraestructura global monitorizada	244
10.3. Distribución de resultados	245
10.4. Respuesta a nivel global de los modelos de correcciones para PPP en tiempo real	246
10.4.1. Contrastación de distintos modelos de osciladores y órbitas a nivel global	251
10.5. Discusión de la técnica para distintas aplicaciones	254
11. Respuesta de la técnica PPP en tiempo real en desplazamientos naturales o inducidos.	257
11.1. Diseño de la unidad de control de desplazamientos	257
11.2. Desplazamiento horizontal inducido.	
11.2.1. Ensamblaje del dispositivo	259
11.2.2. Sesión DOY 107/2013	260
11.2.3. Sesión DOY 142/2013	264
11.2.4. Sesión DOY 135/2014	267
11.3. Desplazamiento vertical inducido	270
11.3.1. Sesión DOY 142/2013	270
11.3.2. Sesión DOY 84/2014	274
11.3.3. Sesión DOY 80/2014	276
11.4. Discusión de la técnica: Disponibilidad y precisión de la solución	278
11.4.1. Determinación del desplazamiento con PPP en tiempo real frente a la determinación por dobles diferencias con productos de alto-ratio.	282
12. Conclusiones, discusión y perspectivas futuras	286
13. Anexo I	290
1. Próximos lanzamientos de satélites GNSS 2015 y estado actual de las constelaciones	
Desglose actual de satélites GPS	
Desglose actual de satélites GLONASS	
Desglose actual de satélites Beidou	

- 
2. Descripción del formato RTCM
 3. Descripción del protocolo NTRIP
 4. Descripción del estándar NMEA

14. Bibliografía	298
15. Otras aportaciones relacionadas a revistas, congresos y workshops	313

Índice de figuras

- Figura 1.1: Sputnik 1 -1957
Figura 1.2: 1.Satélite GPS generación GPS III. 2-3. Satélites GALILEO-FOC¹
Figura 1.3: Órbita del sistema QZSS y satélite IRNSS
Figura 1.4: Localización frecuencias banda L y servicios SAR,² ARNS³ y RNSS⁴ para las distintas constelaciones de posicionamiento y navegación.
Figura 1.5: Horizonte de satélites GPS+GLONASS rastreado en la red GNSS de Valencia. Doy 165/2013.
Figura 1.6: Agentes en la Arquitectura de Galileo
Figura 1.7: Integración de GALILEO (5-6) para la lanzadera
Figura 1.8: Componentes de satélites IOV-Galileo
Figura 1.9: Servicios de Galileo
Figura 1.10: Horizonte global previsto de satélites GNSS
Figura 1.11: Simulación PPP estático con GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU
Figura 1.12: QZSS-1
Figura 1.13: Vista esquemática del funcionamiento de QZSS
Figura 1.14: Cobertura de los satélites de IRNSS
Figura 1.15: Estaciones que forman el marco ITRF
Figura 1.16: Representación de estaciones IGS en Europa junto con otras técnicas de geodesia espacial
Figura 1.17: Estaciones ITRF para el cambio de marco ITRF2008.
Figura 1.18: Densificación preliminar Europea
Figura 1.19: Estaciones GNSS pertenecientes al IGS
Figura 1.20: Red de Estaciones GNSS de EUREF
Figura 1.21: Centros de análisis de EUREF
Figura 1.22: Estado de la iniciativa MGEX en el año 2014
Figura 1.23: Red MGEX (Multi-GNSS EXperiment) y Red CONGO
Figura 1.24: Procesamiento y flujo de trabajo de la red CONGO
- Figura 2.1. Estabilidad de distintos tipos de relojes obtenidos de productos finales del IGS
Figura 2.2: Capas atmosféricas
Figura 2.3. Gráfico de la trayectoria de la señal y ángulo z.
Figura 2.4: Efecto “wind-up”.
Figura 2.5: Constelación GLONASS
- Figura 3.1: Generación de una estación de referencia virtual próxima al rover
Figura 3.2: Master Auxiliary Concept
Figura 3.3: Diagrama SSR-OSR
Figura 3.4: Componentes de la órbita del satélite
Figura 3.5: Mensajes RTCM SSR- Ejemplo de frecuencia de actualización
Figura 3.6: Mensajes, constelaciones, códigos y frecuencias incluidos en el estándar RTCM-MSM
- Figura 4.1: Diagrama del sistema RTNET
Figura 4.2: Esquema del filtro recursivo Kalman de estimación en tiempo real
Figura 4.3: Secuencia de operaciones de generación de modelos con el sistema RTIGSMR
Figura 4.4: Sistema PPP-Wizard.
Figura 4.5: Parámetros determinados en el sistema PPP-Wizard.
Figura 4.6: Red del Real Time Service-IGS
Figura 4.7: Diagrama de combinación de productos del IGS
Figura 4.8: Gráfico pseudodistancia
Figura 4.9: Rotación y traslación simulada sobre la distancia geométrica al satélite
Figura 4.10: Cambio de escala sobre la distancia geométrica al satélite
- Figura 5.1: Conexión con el caster products.igs-ip.net del IGS mediante el BNC.
Figura 5.2: Programa RTKLIB
Figura 5.3: Librerías utilizadas de Python
Figura 5.4: Módulos generados
Figura 5.5: Aproximación a través de diagrama basado en el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) del esquema de librerías
Figura 5.6: Diagrama UML con la implementación propia en *Python* del paquete Geodesia

¹ *Full Operational Capability - Galileo Mission*

² *Galileo Search and Rescue*

³ *Aeronautical Radio Navigation Services*

⁴ *Radio Navigation Satellite Service*

- Figura 5.7: Gráficos de salida de las librerías
 Figura 5.8: Representación por UML de las llamadas realizadas desde el paquete procesos
 Figura 5.9: Página inicial interface web
 Figura 5.10: Cinemático PPP en tiempo real Estación Conz (Chile). Doy 95/2014.
 Figura 5.11: Diagrama de entrada de datos, operaciones y procesos de salida implementados para posicionamiento PPP en tiempo real
 Figura 5.12: Esquema de Unidades de control/monitorización para PPP en tiempo real.
 Figura 5.13: Diagrama de la solución PPP en tiempo real.
- Figura 6.1: Constelaciones rastreadas, (2013).
 Figura 6.2: Diferencias ESA-TUM en la componente radial, longitudinal y transversal, para satélites GALILEO E11, E12, E19 y E20.
 Figura 6.3: σ 3D respecto al promedio época a época para las órbitas GALILEO
 Figura 6.4: Diferencias ESA-COM y ESA-GFZ para productos de reloj GALILEO
 Figura 6.5: Diferencias ESA-GFZ para el reloj de GALILEO E20
 Figura 6.6: σ de cada centro de análisis con respecto a la combinación época a época, para las GPSWEEK 1755-1757, 1783-1784
 Figura 6.7. Esquema de la unidad de control para tiempo Real.
 Figura 6.8: Sesgo X,Y,h y constelación rastreada GPS+GLONASS+GALILEO frente GPS+GLONASS
 Figura 6.9: Representación época a época GPS+GLONASS+GALILEO frente GPS+GLONASS
 Figura 6.10-6.13: Doy358-361/2012. Sesgo X,Y,h,representación época a época y rastreo CLK91 frente a productos CONGO
 Figura 6.14: Doy 113 -116/2014. Influencia de la presencia de GLONASS en la solución PPP en tiempo real
 Figura 6.15: Pérdidas de convergencia en 24 horas y porcentaje de tiempo para un determinado rango, GPS y GPS+GLONASS
 Figura 6.16: Anomalías en productos CLK en órbitas GLONASS
 Figura 6.17: Influencia *outlier* en GLONASS. Doy 119/ 2014
 Figura 6.18-6.24: Doy 085,086,091,092,322,324,326 /2013. Escenario con productos GPS,frente doble constelación y productos CONGO
 Figura 6.25: Tiempo en alcanzar convergencia y pérdidas.
 Figura 6.26: % de observaciones para cada nivel de sesgo en la solución PPP en tiempo real
 Figura 6.27: Tiempo promedio en recuperar la convergencia en dirección h en PPP tiempo real. GPS vs GPS+GLONASS
 Figura 6.28: Valores en rango de 20 cm para varios escenarios.
 Figura 6.29: Estadísticos globales. Valores Promedio y Desviación Estándar por constelaciones rastreadas
 Figura 6.30: Resumen de precisiones diarias PPP en tiempo real frente a PPP en post-proceso para varios escenarios multi-constelación.
 Figura 6.31: Resumen precisiones totales por producto y constelación
- Figura 7.1: Sesgo N,E para las soluciones PPP-AR y PPP-estándar. Doy 151,156,161,163,168,171,1741,177/ 2014.
 Figura 7.2: Constelación rastreada para las soluciones PPP-AR y PPP-estándar
 Figura 7.3: Representación cinemática de PPP con resolución de ambigüedades y PPP estándar
 Figura 7.4: Impacto de la solución en tiempo real con ambigüedades enteras para PPP en la cantidad de pérdidas de convergencia > 10 cm, dirección N, E, h
 Figura 7.5: Impacto de la solución en tiempo real con ambigüedades enteras para PPP en la cantidad de pérdidas de convergencia > 5 cm, dirección N, E, h
 Figura 7.6: Sesgo N,E de la solución PPP-AR frente a la solución estándar con la aproximación estandarizada. Doy 316, 320, 325, 331/2014
 Figura 7.7: Resultados en cinemático N,E,h de la solución PPP-AR frente a la solución estándar con la aproximación estandarizada.
 Figura 7.8: Pérdidas de convergencia por encima de los 10 cm de la solución PPP-AR frente a la solución estándar con la aproximación estandarizada
 Figura 7.9: Pérdidas de convergencia por encima de los 5 cm de la solución PPP-AR frente a la solución estándar con la aproximación estandarizada
 Figura 7.10: Máximos, mínimos, media y desviación estándar con ambigüedades enteras (prototipo experimental)
 Figura 7.11: Máximos, mínimos, media y desviación estándar con ambigüedades flotantes
 Figura 7.12: Máximos, mínimos, media y desviación estándar con ambigüedades enteras (modelo estandarizado)
 Figura 7.13: Máximos, mínimos, media y desviación estándar con ambigüedades flotantes
- Figura 8.1: Opciones para la generación de modelos combinados
 Figura 8.2: Modelo combinado IGS02 frente a modelo individual. Constelación GPS. Doy 280,283/2012
 Figura 8.3: Modelo combinado IGS03 frente a modelo individual. Constelación GPS y GLONASS. Doy 045,064/2012
 Figura 8.4: Contenido del modelo IGS frente a alternativa implementada de modelo combinado
 Figura 8.5: Combinación propia época a época frente a modelo individual y modelo IGS. Doy 061/2013

Figura 8.6: Combinación propia época a época frente a modelo individual y modelo IGS. Doy 063/2013
 Figura 8.7: Combinación propia época a época frente a modelo individual y modelo IGS. Doy 101 /2013
 Figuras 8.8 - 8.12: Triple combinación propia época a época frente a modelo individual, doble combinación y modelo IGS. Doy 012/2014, 060/2014, 061/2014, 063/2014, 104/2013
 Figura 8.13: Representación de la estabilidad del bias PRN 10 y PRN 20
 Figura 8.14: Media ponderada época a época de los modelos con triple combinación Doy 012,060,061,063/2014 y Doy 102,104/2013
 Figura 8.15: Diferencias época a época entre las correcciones a las componentes orbitales radial, longitudinal y transversal época a época. PRN 18
 Figura 8.16: Outlier en las correcciones a las componentes orbitales GLONASS R03.
 Figura 8.17: Control de outliers época a época para generación de un producto combinado. Doy 102/2013, Doy 103/2013, Doy 063/2014, Doy 344/2014
 Figura 8.18: Sesgo X,Y,h de la combinación con control de outliers. Doy 102/2013
 Figura 8.19: *Streams* de modelos de osciladores y órbitas para participar en la combinación
 Figura 8.20: Combinación época a época en tiempo real frente a combinación por filtros Kalman.
 Figura 8.21: Cómputo de horas/día con convergencia en la combinación en tiempo real
 Figura 8.22: Solución PPP tiempo real época a época. Modelo CLK91 frente a la combinación CLK91+CLK80, CLK91+CLK80+CLK11 -Doy 043,042/2013
 Figura 8.23-8.25: Combinación CLK11+CLKA1 frente a producto individual y modelo IGS. Doy 046/2013, Doy 047/2013, Doy 048/2013
 Figura 8.26-8.29: Combinación CLK91+CLK11 frente a producto individual y modelo IGS. Doy 056/2013, Doy 060/2013, Doy 061/2013, Doy 063/2013.
 Figura 8.30-8.32: Combinación CLK91+CLKA1 frente a producto individual y modelo IGS. Doy 081/2013, Doy 104/2013, Doy 062 /2014
 Figura 8.33: Ejemplo del efecto de *outliers* del modelo IGS03 en PPP tiempo real. Doy 60/2014
 Figuras 8.34-8.37: Combinación CLK91 +CLK11 y CLK91+CLKA1 frente a producto individual y modelo IGS. Doy 101 /2013, Doy 102 /2013, Doy 013/2014, Doy 063/2014
 Figura 8.38: Efecto de outlier del modelo IGS03 en posicionamiento PPP en tiempo real. Doy 105 – 15/04/2013
 Figura 8.39: Estadísticos globales. –Valores en rango de 20 cm.
 Figura 8.40: Estadísticos globales. –Valores Promedio y Desviación Estándar
 Figura 8.41: Combinaciones de productos individuales. –Offsets Promedio y desviaciones estándar
 Figura 8.42: Sesgo X,Y y desviación época a época con PPP en tiempo real de la combinación CLK91-CLK11-CLK21-CLK80 frente a la combinación CLK11+CLK91.
 Figura 8.43: Sesgo X,Y y desviación época a época con PPP en tiempo real de la combinación CLK91-CLK11-CLK21 frente a la combinación CLK11+CLK91.

Figura 9.1: Aproximaciones ETRF/ITRF

Figura 9.2: Diagrama UML transformación de Marco ITRF con la implementación propia en *Python*

Figura 9.3-9.7: Offset X,Y,h y constelación utilizada con el modelo CLK41 frente al modelo CLK91. Doy 294/2012, Doy 297/2012, Doy 298/2012, Doy 300/2012, Doy 301/2012

Figura 9.8: Diferencias con PPP en cinemático tiempo real en X,Y,h de la transformación al vuelo frente al modelo regional.

Figuras 9.9-9.12: Offset X,Y,h del producto regional frente a la transformación al vuelo. Doy 342/2012, Doy 343/2012, Doy 347/2012, Doy 349/2012, Doy 350/2012, Doy 351/2012, Doy 352/2012

Figuras 9.13-9.16: PPP cinemático tiempo real con las soluciones global-regional. Doy 346 /2012, Doy 347/2012, Doy 348 /2012, Doy 349 /2012, Doy 350/2012, Doy 351/2012, Doy 352/2012

Figuras 9.17-9.21: Offset X,Y,h y posiciones cinemáticas época a época con PPP con soluciones regionales frente a regionales. Doy 298/2013, Doy 299/2013, Doy 300/2013, Doy 302/2013, Doy 303/2013

Figura 9.22: Disponibilidad de las muestras

Figura 9.23: Estadísticos globales. Valores en rango para los marcos ITRF2008 y ETRF2000

Figura 9.24: Estadísticos globales. Valores promedio y desviación estándar para los marcos ITRF2008 y ETRF2000

Figura 10.1: Diagrama de despliegue UML

Figura 10.2: Interface de inicio alojada en el servidor web

Figura 10.3: Distribución global de estaciones integradas en el ejemplo de sistema de monitorización PPP en tiempo real.

Figura 10.4: App de *google maps* embebida en la interface web

Figura 10.5: Distribución de los resultados del cálculo PPP en tiempo real

Figura 10.6: Acceso a las carpetas de resultados

Figura 10.7: Visualización de resultados a través de la interface web

Figura 10.8: Sesgo X,Y de los resultados con PPP en tiempo real con el modelo CLK91 sobre estaciones distribuidas globalmente

Figura 10.9: Máximos, mínimos, media y desviación estándar con PPP en tiempo real con el modelo CLK91 sobre estaciones distribuidas globalmente.

- Figura 10.10: Máximos, mínimos, media y desviación estándar con PPP en tiempo real con el modelo CLK91 sobre estaciones distribuidas globalmente. Doy 147-178.
- Figura 10.11-10.12: Máximos, mínimos, media y desviación estándar con PPP en tiempo real y en post-proceso con el modelo CLK91 sobre estaciones distribuidas globalmente frente al modelo IGS03.
- Figura 10.13: Episodios de movimiento sísmico
- Figura 10.14: Deformación detectada en tiempo real tras el terremoto de Chile, 14-15/11/2007 con la técnica PPP
- Figura 10.15: Deslizamiento detectado con PPP post-procesado con ambigüedades enteras para un gran periodo de tiempo
-
- Figura 11.1: Esquema de flujo de la observación en Tiempo Real en la unidad de control
- Figura 11.2: Situación de la base de calibración de la UPV
- Figura 11.3: Croquis de la guía utilizada y de las piezas para el ensamblado
- Figura 11.4: Montaje de la antena GNSS sujeta a la guía
- Figura 11.5: Antena GNSS en la posición inicial con la varilla milimétrica acoplada.
- Figura 11.6: PPP tiempo real época a época -componente planimétrica. Doy 107/2013
- Figura 11.7: Satélites rastreados. Doy 107/2013. Duración de la medición: 40 minutos.
- Figura 11.8: Desplazamiento inicial en planimetría. -Doy 107 /2013
- Figura 11.9: Desplazamiento final en planimetría -Doy 107/2013
- Figura 11.10: Post-procesamiento quasi-real PPP de la sesión con desplazamiento inducido. Doy 107/2013
- Figura 11.11: Antena GNSS en la posición final tras el desplazamiento
- Figura 11.12: Observación planimétrica. Doy 142/2013 .
- Figura 11.13: Constelación rastreada
- Figura 11.14: Comportamiento de la componente altimétrica durante la sesión. Doy 142/2013
- Figura 11.15: Post-procesamiento quasi-real PPP de la sesión con desplazamiento inducido. Doy 142/2013
- Figura 11.16: Cinemático PPP tiempo real y rastreo. Doy 135/2014
- Figura 11.17: Desplazamientos inducidos detectados en PPP –Tiempo real dirección N-S. Doy 135/2014
- Figura 11.18: Post-procesamiento quasi-real PPP con GPS+GLONASS y sin GLONASS. Doy 135/2014
- Figura 11.19: Aplomado del jalón para inducción del desplazamiento
- Figura 11.20: Representación en dirección N,E,h, y NE de las posiciones cinemáticas con PPP en tiempo real y rastreo. Doy 142/2013. Sesión 2.
- Figura 11.21: Observación altimétrica. Doy 142/2013. Sesión 2.
- Figura 11.22: Desplazamiento en altimetría. Doy 142/2013. Sesión 2.
- Figura 11.23: Instante del desplazamiento inducido en altimetría. Doy 142/2013.Sesión2.
- Figura 11.24: Post-procesamiento quasi-real PPP con GPS+GLONASS y sin GLONASS. Doy 142/2013.Sesión2
- Figura 11.25: Representación época a época de la solución PPP en tiempo real, sesgo X,Y y rastreo. Doy 84/2014.
- Figura 11.26: Desplazamientos detectados con PPP en tiempo real. Doy 84/2014
- Figura 11.27: Post-procesamiento quasi-real PPP con GPS+GLONASS y sin GLONASS. Doy 84/2014
- Figura 11.28: Sesión PPP en tiempo real GPS. Doy 80/2014
- Figura 11.29: Visualización del desplazamiento vertical con Post-procesamiento quasi-real PPP GPS+GLONASS
- Figura 11.30: Visualización del desplazamiento vertical con Post-procesamiento quasi-real PPP GPS
- Figura 11.31: Estadísticos globales. Campañas de campo –Valores en rango de 20 cm.
- Figura 11.32: Representación X, Y, XY, h y número de satélites. Doy 142 / 2013
- Figura 11.33: PPP tiempo real con la estación de VALE, diferencias X, Y, h en cinemático y rastreo. Doy 142 /2013.
- Figura 11.34: Representación X, Y, XY, h y número de satélites. Doy 107/ 2013.
- Figura 11.35: Comparativa entre observación en campo y gabinete, para las sesiones con desplazamiento horizontal. Valores Promedio y Desviación Estándar
- Figura 11.36: Comparativa entre observación en campo y gabinete para las sesiones con desplazamiento vertical Valores Promedio y Desviación Estándar
- Figura 11.37: Desplazamientos detectados con dobles diferencias en dirección E, y en dirección N,E. Doy107/2013, Doy142/2013.
-
- Figura 12.1: Ejemplo de observación cinemática

Índice de tablas

Tabla 1.1: Estado de las constelaciones a fecha Marzo 2014. <http://igs.org/mgex/>

Tabla 1.2: Tablas de frecuencia para señales GPS.

Tabla 1.3: Características de la constelación COMPASS

Tabla 1.4: Frecuencias emitidas en las portadoras en la constelación Beidou

Tabla 1.5: Parámetros de la transformación en la época 2005 y sus tasas de ITRF2005 a ITRF2008

Tabla 1.6: Centros de análisis del IGS, www.igs.org, 2014

Tabla 1.7: Opciones de procesamiento para productos multi-constelación en el TUM

Tabla 2.1: Orbitas y relojes del IGS: Precisión (RMS), latencia y muestreo

Tabla 3.1: Mensajes RTCM 3.1 definidos para la encapsulación de solución de red

Tabla 3.2: Estandarización de retardos de fase no calibrados para RTCM-SSR

Tabla 3.3: Modelos emitidos en streaming para PPP en tiempo real de distintos centros

Tabla 3.4: Indicadores asociados a cada bias según observable

Tabla 3.5: Rango de mensajes reservados al bias.

Tabla 3.6: Estandarización del vector de estado para satélites Galileo en RTCM-SSR

Tabla 3.7: Mensajes RTCM-SSR para modelado ionosférico

Tabla 3.8: Rangos de mensajes para el formato RTCM-MSM.

Tabla 3.9: Desglose de mensajes multi-constelación. RTCM SC-104, (2013)

Tabla 3.10: Diferencias con el estándar RTCM 3.0 y RTCM MSM

Tabla 4.1: Aportación de los distintos centros de análisis al servicio RTS.

Tabla 4.2: Cambio de marco entre ITR08 y cada marco regional.

Tabla 6.1: Productos multi-constelación

Tabla 6.2: Efemérides broadcast ASCII

Tabla 6.3: Offsets máximos/mínimos en componentes orbitales por CA respecto a la ESA

Tabla 6.4: Offsets máximos/mínimos respecto al promedio

Tabla 6.5: Modelos empleados en el análisis multi-constelación

Tabla 6.6.: Estadísticos obtenidos, modelo CLK91 frente CLKA1

Tabla 6.7: Estadísticos obtenidos de la solución PPP con y sin presencia de GLONASS.

Tabla 6.8: Estadísticos obtenidos en la solución PPP de GPS frente a doble-triple constelación

Tabla 6.9: Tiempo en alcanzar el rango dentro de un determinado umbral

Tabla 6.10: Estadísticos globales. Porcentaje de disponibilidad de la solución durante 1 mes.

Tabla 7.1: Aproximación estándar para la emisión del *bias* del observable código

Tabla 7.2: Aproximación experimental para la emisión del *bias* de fase

Tabla 7.3: Contenido de los modelos con *bias* de fase.

Tabla 7.4: Estadísticos de PPP –AR y PPP estándar con el prototipo experimental de mensajes con bias de fase

Tabla 7.5: Estadísticos de PPP –AR y PPP estándar los mensajes estandarizados de bias de fase

Tabla 8.1: Estadísticos obtenidos para las GPSWEEK 1656-1657.CLK10-IGS02.

Tabla 8.2: Estadísticos obtenidos para las GPSWEEK 1727 -1730.CLK11-IGS03

Tabla 8.3: Biases entre observables de código emitidos por distintos centros de análisis

Tabla 8.4: Estadísticos con el modelo implementado, combinación época a época CLK91+CLKA1+CLK11

Tabla 8.5: Estadísticos para la solución de un centro de análisis individual: Modelo CLK91

Tabla 8.6: Estadísticos para la solución combinada del lado del servidor del IGS: Modelo IGS03

Tabla 8.7: Tablas de estadísticos producto combinado promediado

Tabla 8.8: Estadísticos obtenidos. CLK91 frente a la combinación de los productos CLK91+CLK80, CLK91+CLK80+CLK11

Tabla 8.9: Estadísticos obtenidos. CLK11 frente a la combinación de los productos CLK11+CLKA1 e IGS03.

Tabla 8.10: Tiempos de convergencia para umbrales de 20 y 5 cm.

Tabla 8.11: Estadísticos obtenidos. CLK91 frente a la combinación de los productos CLK91+CLK11 e IGS03.

Tabla 8.12: Estadísticos obtenidos. CLK91 frente a la combinación de los productos CLK91+CLKA1 e IGS03.

Tabla 8.13: Estadísticos obtenidos. CLK91 frente a la combinación de los productos CLK91+CLK11, CLK91+CLKA1 e IGS03.

Tabla 8.14: Estadísticos globales. Disponibilidad de los modelos en el total de las sesiones

Tabla 9.1: Productos en el marco regional

Tabla 9.2: Mensajes RTCM-SSR empleados en los escenarios

Tabla 9.3: Resumen de estadísticos obtenidos –CLK91 y CLK41

Tabla 9.4: Estadísticos promedio de las soluciones acumulativas diarias para PPP-Tiempo real con el modelo regional frente al global



Tabla 9.5: Estadísticos del escenario simultáneo de modelos globales frente al modelo regional

Tabla 9.6: Disponibilidad de las muestras para un total de 15 días

Tabla 10.1: Características principales de estaciones monitorizadas

Tabla 10.2: Estadísticos de la técnica PPP en tiempo real con el modelo CLK91 sobre estaciones distribuidas globalmente.

Tabla 10.3: Réplicas del terremoto de Iquique de Abril de 2014

Tabla 11.1: Convergencia en planimetría durante la ventana de tiempo antes del desplazamiento. -Doy 107

Tabla 11.2: Estadísticos. Desplazamiento inicial en planimetría. -Doy 107

Tabla 11.3: Desplazamiento detectado en PPP tiempo real y con post-procesamiento PPP.

Tabla 11.4: Estadísticos. Desplazamiento-convergencia en planimetría. -Doy 142

Tabla 11.5: Estadísticos. Convergencia en altimetría. -Doy 142

Tabla 11.6: Desplazamientos detectados en PPP tiempo real y en post-procesamiento PPP ultra-rápido. Doy 142/2013

Tabla 11.7: Desplazamientos detectados en PPP tiempo real y con post-procesamiento PPP ultra-rápido. Doy 135/014

Tabla 11.8: Estadísticos. Convergencia en planimetría. -Doy 142/2013

Tabla 11.9: Estadísticos. Convergencia en altimetría. -Doy 142/2013

Tabla 11.10: Desplazamiento en altimetría. -Doy 142/2013

Tabla 11.11: Desplazamiento detectado con PPP. Doy 142/2013. Sesión 2

Tabla 11.12: Estadísticos en planimetría en PPP tiempo real. Doy 84/2014

Tabla 11.13: Desplazamiento detectado con PPP. Doy 84/2014

Tabla 11.14: Desplazamiento detectado con PPP. Doy 80/2014

Tabla 11.15: Estadísticos de las series de datos del desplazamiento inducido horizontal

Tabla 11.16: Estadísticos de las series de datos del desplazamiento inducido vertical

Tabla 11.17: Estadísticos de los desplazamientos medidos con dobles diferencias con productos de alto-ratio. Componente horizontal.

Tabla 11.18: Estadísticos de los desplazamientos medidos con dobles diferencias con productos de alto-ratio. Componente vertical.

Acrónimos

AIUB	<i>Astronomical Institute of Berne</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ARNS	<i>Aeronautical Radio Navigation Services</i>
BIH	<i>Bureau International de l'Heure</i>
BKG	<i>Bundesamt Für Kartographie Und Geodäsie</i>
BNC	<i>BKG Ntrip Client</i>
BOC	<i>Binary Offset Carrier</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Key</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CNAV	<i>Civil Navigation</i>
CNES	<i>Centre National d'Etude Spatiales</i>
CODE	<i>Center for Orbit Determination in Europe</i>
CONGO	<i>COoperative Network for GIOVE Observation</i>
CS	<i>Comercial Service</i>
CTP	<i>Conventional Terrestrial Pole</i>
CWAAS	<i>Canada Wide Area Augmentation System</i>
DCB	<i>Differential Code Bias</i>
DGPS/DGNSS	<i>Differential GPS/ Differential GNSS</i>
DLR	<i>Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt</i>
DORIS	<i>Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite</i>
DOY	<i>Day of Year</i>
E-GVAP	<i>EUMETNET GPS water vapour</i>
ESA	<i>Agencia Espacial Europea</i>
ETRF	<i>European Terrestrial Reference Frame</i>
ETRS	<i>European Terrestrial Reference System</i>
EUREF	<i>European Reference Frame</i>
FCB	<i>Fractional Cycle Bias</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FOC	<i>Full Operational Capability</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GEO	<i>Órbita geoestacionaria</i>
GFZ	<i>Geo-forschungs zentrum Potsdam</i>
GIOVE	<i>Galileo in Orbit Validation Element</i>
GLONASS	<i>GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GNSS ICD	<i>GNSS Interface Control Document</i>
GPS Week	<i>Semana GPS</i>
GRS80	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
GSA	<i>European GNSS Supervisor Authority</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IAG	<i>International Association of Geodesy</i>
IAPG	<i>Institute for Astronomical and Physical Geodesy</i>
ICDs/ISs	<i>Interface Control Documents / Interface Specifications</i>
IERS	<i>International Earth Rotation Service</i>
IFB	<i>Inter-frequency Bias</i>
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IOD	<i>Issue Of Data</i>
IODE	<i>Issue Of Data Ephemerids</i>
IONEX	<i>Ionosphere Map EXchange Format</i>
IOV	<i>In-Orbit Validation</i>
IRC	<i>Integer Recovery Clocks</i>
IRM	<i>IERS Reference Meridian</i>
IRNSS	<i>Indian Navigation Satellite Systems</i>
IRP	<i>IERS Reference Pole</i>
ISB	<i>Inter-system Bias</i>
ISRO	<i>Indian Space Research Organization</i>
ITRF	<i>Internacional Terrestrial Reference Frame</i>
ITRS	<i>Internacional Terrestrial Reference system</i>
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>

LAMBDA	<i>Least-squares AMBiguity De-correlation Adjustment</i>
MAC	<i>Master Auxiliary Concept</i>
MEO	<i>Medium Earth Orbit</i>
MGEX	<i>Multi-GNSS EXperiment</i>
MSAS	<i>Multifunctional Satellite Augmentation System</i>
NAGU	<i>Notice Advisory to GLONASS Users</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NGAA	<i>Nordic Geodetic Commission of Sweden</i>
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NTRIP	<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i>
OS	<i>Open Service</i>
PCO	<i>Phase Center Offsets</i>
PCV	<i>Phase Center Values</i>
PID	<i>Provider ID</i>
PPP	<i>Precise Point Positioning</i>
PPP-AR	<i>Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution</i>
PRS	<i>Public Regulated Service</i>
PRN	<i>Pseudo Random Noise</i>
QZSS	<i>Quasi-Zenith Satellite System</i>
RINEX	<i>Receiver Independent EXchange Format</i>
RNSS	<i>Radio Navigation Satellite Service</i>
RTCM	<i>Radio Technical Commission for Maritime Services</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
RT-PPP	<i>Real Time Precise Point Positioning</i>
RTS	<i>Real Time Service</i>
SAR	<i>Galileo Search and Rescue</i>
SAR	<i>Search and Rescue</i>
SBAS	<i>Satellite Based Augmentation System</i>
SID	<i>Solution ID</i>
SLR	<i>Satellite laser ranging</i>
SOL	<i>Safety of Live Service</i>
SP3	<i>Standard Product (Orbit Format) 3</i>
SSR	<i>State Space Representation</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TEC	<i>Total electron content</i>
TUM	<i>Technical University of Munich</i>
UCD	<i>Uncalibrated code delays</i>
UE	<i>Unión Europea</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UPD	<i>Uncalibrated Phase Delays</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VLBI	<i>Very-long-baseline interferometry</i>
VRS	<i>Virtual Reference Station</i>
WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i>
WGS84	<i>World Geodetic System 84</i>
ZPD	<i>Zenith Path Delay</i>
ZTD	<i>Zenith Tropospheric Delay</i>