



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Desarrollo y análisis de un sistema para la determinación de la dinámica del movimiento más general de la azotea de un edificio de gran altura y su evolución en el tiempo

Septiembre de 2015

Nieves Quesada Olmo

Índice general

Resumen	III
Índice general	IX
1 Introducción	1
1.1 Estado del arte.	5
1.2 Marco arquitectónico.	11
1.2.1 Por qué construimos	11
1.2.2 El síndrome del rascacielos	17
1.3 Estructura formal de la Tesis	29
2 Método de los Ajustes Coordinados	33
2.1 Caso General.	35
2.2 Aplicaciones prácticas de uso más frecuente	76
2.2.1 Adición de variables o parámetros que también presentan la condición de observables	78
2.2.2 Adición de funciones de variables o parámetros.	93
2.2.3 Supresión de observables	103
3 El control microgeodésico de deformaciones. Definición teórica del umbral de precisión o sensibilidad	105
3.1 Antecedentes	105
3.2 Desarrollo general.	108

3.3 Interpretación estadística de resultados	115
3.3.1 Formulación básica a partir del método general de Ajustes Coordinados . .	116
3.3.2 Test estadísticos de control	124
3.4 Test Específico de control Microgeodésico de deformaciones J/Q-Test	135
3.4.1 Sobre la sensibilidad de redes	141
3.4.2 Estimación de la sensibilidad teórica a partir del W-Test de Baarda	143
3.4.3 Una cuestión complementaria: la sensibilidad específica	145
4 Aplicación práctica para la determinación del umbral de precisión o sensibilidad	151
4.1 Introducción: el J/Q Test	151
4.2 Definición del sistema de formas lineales	153
4.3 Sensibilidad PRÁCTICA	160
4.4 Sensibilidad TEÓRICA según Baarda	164
4.4.1 Fiabilidad interna de la red	164
4.4.2 Fiabilidad externa de la red: comprobación de los observables	166
4.5 Valores más probables de sensibilidad TEÓRICA Y PRÁCTICA Red de Prueba UPV	170
4.5.1 Sensibilidad PRÁCTICA más probable	170
4.5.2 Sensibilidad TEÓRICA más probable	174
5 Propuesta metodológica para analizar la dinámica más general: ensayos experimentales preliminares	177
5.1 Introducción	177
5.2 El modelo matemático de ajuste y su resolución general	178
5.2.1 Implementación del Método de Incrementos de Coordenadas al control de deformaciones.	181
5.2.2 Matriz de diseño A_1 , matriz de A_2 de condiciones y vectores de términos independientes K_1 y K_2	183
5.3 Resolución del ajuste	189
5.3.1 Solución determinista con variable d y adición de ecuaciones de condición .	193
5.3.2 Solución determinista con variable d sin ecuaciones de condición	196
5.4 Solución de red libre	196

6	Aplicación a un edificio de gran altura: Torre Espacio	199
6.1	La Torre	199
6.2	Planteamiento básico: físico, matemático y probabilístico	221
6.3	Preparando la base de observación.	227
6.4	Valores más probables de sensibilidad PRÁCTICA Y TEÓRICA en Torre Espacio	248
6.4.1	Aplicación del F-Test de Fisher-Snedecor Generalizado.	255
6.4.2	Comprobación del umbral de sensibilidad definido.	259
6.4.3	Sobre el umbral de sensibilidad y el filtrado de observables	261
6.4.4	Resultados y conclusiones.	275
6.5	Validación de la metodología en Torre Espacio	277
7	Conclusiones y futuras líneas de investigación	295
	Bibliografía	299

Índice de figuras

1.1. Maqueta de distintas perspectivas del “Shanghai World Financial Center”	7
1.2. Iglesia de la Colonia Güell de A. Gaudí	13
1.3. Azotea de la Casa Milà de A. Gaudí	14
1.4. Auditorio y Palacio de Congresos de Castellón de C. Ferrater	15
1.5. Estatua de La Libertad y horizonte de Manhattan desde la Isla de Ellis	18
1.6. Vista de las Torres Gemelas desde la plaza del World Trade Center	19
1.7. Vista de la City londinense desde la otra orilla del Támesis	20
1.8. “Milleniun Tower” a orillas del Danubio en Viena	21
1.9. Hotel de siete estrellas Burj Al Arab “La Torre de los Árabes” en Dubai	22
1.10. “Dongbu Financial Center” en Corea del Sur	23
1.11. Edificio residencial “Highcliff” en la bahía de Hong Kong	25
1.12. “Taipei 101” en Taiwan	26
1.13. Panorámica del distrito financiero de Pudong en Shanghai	27
1.14. “Burj Khalifa” en Dubai	28
3.1. Ejemplo de distribución χ_8^2 y $\chi_{8,20}^{\prime 2}$	137
3.2. Distribución $\chi_{n,\lambda}^{\prime 2}$ con diversos parámetros de traslación λ	139

4.1. Curvas de distribución χ_8^2 y $\chi_{8,20}'^2$	154
4.2. Diversas curvas de distribución χ_n^2 y $\chi_{n,\lambda}'^2$	161
5.1. Localización de la Red de Prueba formada por los vértices $V1$, $V2$, $V3$ y $V4$	178
5.2. Croquis de la red	179
5.3. Posible desplazamiento del vértice $V4$	195
5.4. Posible desplazamiento del vértice $V1$	195
6.1. Torre Espacio	200
6.2. Torre Espacio: fachada Este	202
6.3. Planta 6, de base totalmente cuadrada	203
6.4. Planta 26, evolución según la curva coseno desplazada	204
6.5. Planta 33, evolución según la curva coseno desplazada	205
6.6. Planta 52, intersección de dos arcos de circunferencia de 90°	206
6.7. Definición del diseño en planta de Torre Espacio	207
6.8. Definición diseño fachadas Sur y Este de Torre Espacio	208
6.9. Distribución de los ascensores en el núcleo principal de comunicaciones	211
6.10. Sistema de climatización por “aire frío”	217
6.11. Cuadrilátero testigo indeformable $V1V2V3V4$	222
6.12. Situación de los vértices $V1V2V3V4$ en la planta coronación de Torre Espacio	223
6.13. Esquema representativo del desplazamiento plano de la azotea	224
6.14. Dos posiciones genéricas distintas del vértice $V3$	226
6.15. Panorámica de la zona central diáfana cubierta por el entramado metálico en la azotea	229
6.16. Parte útil de la azotea ocupada por el carril de la góndola de limpieza de fachadas	230

6.17. Disposición definitiva de las antenas GNSS en Torre Espacio	231
6.18. Detalle de la base nivelante que permite el estacionamiento en los pilares de la azotea de Torre Espacio	231
6.19. Observación con Estación Total robotizada sobre el vértice 2 en Torre Espacio	232
6.20. Observación clásica, situación del prisma en el vértice 4	233
6.21. Antena GNSS 1 sobre pilar metálico en la azotea de Torre Espacio	234
6.22. Antena GNSS 2 sobre pilar metálico en la azotea de Torre Espacio	235
6.23. Antena GNSS 3 sobre pilar metálico en la azotea de Torre Espacio	235
6.24. Antena GNSS 4 sobre pilar metálico en la azotea de Torre Espacio	236
6.25. Detalle de los 4 receptores GM10 de Leica situados en la planta 55 de Torre Espacio	237
6.26. Sala técnica que alberga el “rack de comunicaciones” en la planta 55 de Torre Espacio	238
6.27. Menú “View” del software Leica GNSS Spider	240
6.28. Menú “Tools” del software Leica GNSS Spider	241
6.29. Opción Edit Site del software Leica GNSS Spider	242
6.30. Verificación de recepción de datos con Software Leica GNSS Spider	243
6.31. Configuración de ficheros Rinex, “File Products”, con software Leica GNSS Spider	244
6.32. Configuración del posicionamiento en Tiempo Real, “RT Positioning”, con software Leica GNSS Spider	245
6.33. Configuración del posicionamiento en postproceso, “PP Positioning”, con software Leica GNSS Spider	246
6.34. Inicialización de cálculo con el software Leica GNSS Spider	247
6.35. Antena GNSS 1 sobre pilar metálico en la azotea de Torre Espacio	249
6.36. Antena GNSS 2 sobre pilar metálico en la azotea de Torre Espacio	249
6.37. Curvas F y F' de Snedecor con $\alpha = 8,085 \cdot 10^{-5}$ y $\beta = 0,9542$. .	257
6.38. Curvas F y F' de Snedecor con $\alpha = 0,0045$ y $\beta = 0,8929$	258

6.39. Vista de la planta de coronación de Torre Espacio con la posición del cuadrilátero formado por las antenas	278
6.40. Localización vértice fijo IGNE y vértices libres de Torre Espacio . .	279
6.41. Condicionado de obligado cumplimiento de Torre Espacio	281
6.42. Probabilidad simultánea de las 4 antenas GNSS	284
6.43. Muestra de la precisión instantánea de las antenas GNSS	285
6.44. Desplazamiento en tiempo real, precisión instantánea y desplazamiento de los últimos 5 minutos de la antena 1	286
6.45. Desplazamiento en tiempo real, precisión instantánea y desplazamiento de los últimos 5 minutos de la antena 2	287
6.46. Desplazamiento en tiempo real, precisión instantánea y desplazamiento de los últimos 5 minutos de la antena 4	288
6.47. Sistema de alerta mediante SMS desarrollado en la App	289
6.48. Gráfica mensual de envíos de SMS	290
6.49. Mástil de la bandera junto al vértice 2	291
6.50. Día 23 de Febrero de 2015: desplazamiento de los últimos 5 minutos de las antenas 1 y 2	293
6.51. Día 23 de Febrero de 2015: desplazamiento de los últimos 5 minutos de las antenas 3 y 4	294

Índice de tablas

4.1. Matriz de diseño A_d	157
4.2. Vector de términos independientes K_d	158
4.3. Coordenadas cartesianas geocéntricas del vértice fijo Valencia2 . .	159
4.4. Fiabilidad externa de la red	167
4.5. Sensibilidades teóricas λ_T y prácticas λ_P de los momentos 1-8, 1-5 y 1-6	170
4.6. Vector d_P , variable estadística λ_P , nivel de significación α y potencia del test β	171
4.7. Vector d_T , variable estadística λ_T , nivel de significación α y potencia del test β	174
5.1. Diferencias entre las distancias GNSS y distanciométricas	189
5.2. Incrementos de coordenadas Valencia2 - vértice V1	192
5.3. Incrementos de coordenadas entre los vértices libres de la red de prueba	193
5.4. Desplazamientos de los vértices del cuadrilátero de la primera solu- ción determinista	194
5.5. Correcciones x_1 y x_2 de los vértices del cuadrilátero de la primera solución determinista	194
5.6. Desplazamientos $d_{x'}$, $d_{y'}$ de los vértices del cuadrilátero de la pri- mera solución determinista	195

5.7. Desplazamientos de los vértices del cuadrilátero de la segunda solución determinista	196
5.8. Desplazamientos de los vértices del cuadrilátero de la solución libre	197
6.1. Parámetros que definen la sensibilidad práctica con momentos clase A, B, C, D y E	251
6.2. Parámetros que definen la sensibilidad teórica con momentos clase A, B, C, D y E	252
6.3. Parámetros de sensibilidad práctica y teórica del ajuste con momento de clase C	254
6.4. Cálculo del círculo de error y valor más probable de sensibilidad práctica con momentos clase C y D	255
6.5. Parámetros de sensibilidad práctica con momento de clase C	260
6.6. Cálculo del vector deformación d_{mp} con momentos de clase C, C' y C''	262
6.7. Parámetros de sensibilidad práctica con momentos de clase C, C' y C''	264
6.8. Parámetros de sensibilidad teórica con momentos de clase C, C' y C''	265
6.9. Cálculo del vector deformación d_{mp} con momentos de clase D, D' y D''	267
6.10. Parámetros de sensibilidad práctica con momentos de clase D, D' y D''	268
6.11. Parámetros de sensibilidad teórica con momentos de clase D, D' y D''	269
6.12. Cálculo del vector deformación d_{mp} con momentos de clase C, C_{sf} , D y D_{sf}	271
6.13. Parámetros de sensibilidad práctica con momentos de clase C, C_{sf} , D y D_{sf}	272
6.14. Parámetros de sensibilidad teórica con momentos de clase C, C_{sf} , D y D_{sf}	273
6.15. Cálculo del círculo de error y valor más probable de sensibilidad práctica del momento de clase C	275

6.16. Parámetros de sensibilidad práctica y teórica y valores del nivel de significación α y potencia del test β del ajuste con momento de clase C276