

**VNiVERSiDAD DE SALAMANCA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
CARTOGRÁFICA Y DEL TERRENO**

**TESIS DOCTORAL**



**ANÁLISIS DE LA MÉTRICA EN LOS SISTEMAS DE MEDIDA  
LÁSER ESCÁNER 3D DE MEDIO Y LARGO ALCANCE**

**FCO. JAVIER HERNÁNDEZ GONZÁLEZ**

**DIRECTOR:**

**DR. MANUEL PÉREZ GUTIÉRREZ**

**ÁVILA, OCTUBRE DE 2011**





Conforme al R.D. 778/1998, de 30 de abril, por el que se regula el Tercer Ciclo de Estudios Universitarios, la obtención y expedición del Título de Doctor y otros estudios de Postgrado, en su artículo 8.1, *Admisión a trámite de lectura de la tesis doctoral*, el Director de la Tesis autoriza su presentación.

Manuel Pérez Gutiérrez





UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA Y DEL TERRENO

ANÁLISIS DE LA MÉTRICA EN LOS SISTEMAS DE MEDIDA LÁSER  
ESCÁNER 3D DE MEDIO Y LARGO ALCANCE.

---

A Mónica, Miguel y Lucía,





## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi Director de Tesis Dr. D. Manuel Pérez Gutiérrez, por su apoyo incondicional a lo largo de todo el trabajo y por su ayuda en las diferentes fases, desde el sufrido campo hasta el satisfactorio momento de concluir el producto. Igualmente debo agradecerle el ánimo que me dio en los comienzos de esta etapa profesional, sin el cual, tal vez no la hubiese llevado a cabo.

También quiero agradecer a los profesores, pero sobre todo compañeros, Teresa, Celestino, Enrique y Julio por estar siempre ahí, dispuestos a echar una mano.

Y por supuesto a mi familia: por su comprensión; por su paciencia; por estar siempre conmigo a pesar de que en muchas ocasiones me encontrase abstraído; por esa deuda contraída en tiempo, que espero subsanar con intereses.

Javier Hernández







## **RESUMEN**

La instrumentación topográfica ha experimentado, en los últimos años, avances dirigidos hacia el automatismo en la toma de datos, así como al registro continuo y muy detallado de los objetos. Mediante los escáneres láser se realiza una captura masiva de información, al tiempo que se produce una visualización inmediata y realista de la exploración efectuada, sin poner en duda las prestaciones y precisiones facilitadas por sus fabricantes.

La investigación que se realiza en esta Tesis, tiene como objetivo determinar las precisiones efectivas que se alcanzan trabajando con escáner láser en un entorno real y exterior, en unas condiciones de observación normales, pero utilizando un marco de referencia controlado que permita realizar su contraste. Para ello se utilizan dos modelos distintos de escáneres, que emplean diferentes sistemas de medición.

## **ABSTRACT**

In the last years, the surveying instruments have experimented evolutions to automation in data registration as well as very detailed and continuous record of objects. By the laser scanners the maximum amount of information is obtained and immediate and realistic vision is produced, without questioning the performance and precision announced by the manufacturers.

The objective of this Thesis is to determine the effective precisions that are reached for a job in an outside and open space, real but controlled. Two different scanners are used, each one with a different measure system.



# ÍNDICE





## ÍNDICE TEMÁTICO

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos .....	vii
Resumen / Abstract .....	ix
Índice.....	xi
Índice de Figuras.....	xviii
Índice de Tablas .....	xx
1. Introducción .....	3
1.1. Estructura de la tesis.....	4
2. Entorno de referencia.....	9
2.1. Objetivos planteados .....	10
2.2. Instrumentación .....	12
2.2.1. Escáner Láser Trimble GX .....	12
2.2.2. Escáner Láser Faro Photon 80 .....	15
2.2.3. Estación Total Leica TCA-2003.....	17
2.2.4. GPS Leica System 1200.....	19
2.2.5. Estación de Referencia Leica GRX1200 .....	20
2.3. Planteamiento Metodológico .....	22
2.4. Estado de la cuestión .....	23
3. Proceso de Trabajo .....	31
3.1. Entorno.....	31
3.2. Planificación.....	37
3.3. Observación por Topografía Clásica.....	40
3.3.1. Trabajo de Campo .....	44
3.3.2. Trabajo de Gabinete .....	48
3.3.2.1. Cálculo de la Red de Apoyo .....	48
3.3.2.2. Cálculo de la Red de Puntos de Control .....	64
3.4. Observación con Escáneres Láser 3D .....	68
3.4.1. Escáner Láser Trimble GX .....	73
3.4.1.1. Trabajo de Campo .....	75
3.4.1.2. Trabajo de Gabinete.....	82
3.4.2. Escáner Láser Faro Photon 80 .....	86
3.4.2.1. Trabajo de Campo.....	87



ÍNDICE

---

3.4.2.2. Trabajo de Gabinete .....	94
4. Análisis Métrico .....	103
4.1. Análisis Métrico: Estación Total TCA-2003 .....	103
4.2. Análisis Métrico: Escáner Láser Trimble GX .....	114
4.3. Análisis Métrico: Escáner Trimble frente a Estación TCA-2003 .....	122
4.4. Análisis Métrico: Escáner Láser Faro Photon 80 .....	130
4.5. Análisis Métrico: Escáner Faro frente a Estación TCA-2003 .....	135
5. Conclusiones .....	147
5.1. Conclusiones: Marco de Referencia .....	147
5.2. Conclusiones: Escáner Trimble GX .....	151
5.3. Conclusiones: Escáner Faro Photon 80 .....	159
5.4. Conclusiones Generales .....	167
6. Bibliografía y Documentación .....	173
6.1. Libros .....	173
6.2. Artículos .....	174
7. Anexos .....	183
Anexo 1. Coordenadas Sistema Topocéntrico Horizontal. Topografía clásica .....	183
Anexo 2. Diferencias entre campañas. Coordenadas topocéntricas Topografía clásica .....	184
Anexo 3. Diferencias entre bases de la red de apoyo .....	185
Anexo 4. Diferencias entre bases de la red de apoyo con esferas pequeñas .....	186
Anexo 5. Diferencias entre bases de la red de apoyo con esferas grandes .....	187
Anexo 6. Visuales desde B-1000 (señales de puntería) .....	188
Anexo 7. Diferencias en visuales desde B-1000 (señales de puntería) .....	189
Anexo 8. Visuales desde B-2000 (señales de puntería) .....	190
Anexo 9. Diferencias en visuales desde B-2000 (señales de puntería) .....	191
Anexo 10. Visuales desde B-3000 (señales de puntería) .....	192
Anexo 11. Diferencias en visuales desde B-3000 (señales de puntería) .....	193
Anexo 12. Visuales desde B-4000 (señales de puntería) .....	194
Anexo 13. Diferencias en visuales desde B-4000 (señales de puntería) .....	195
Anexo 14. Vectores entre señales de puntería (por grupos) .....	196
Anexo 15. Diferencias entre vectores (señales de puntería por grupos) .....	197
Anexo 16. Vectores entre placas de puntería con fondo verde .....	198
Anexo 17. Diferencias entre vectores (placas de puntería fondo verde) .....	199
Anexo 18. Vectores entre placas de puntería con fondo negro .....	200
Anexo 19. Diferencias entre vectores (placas de puntería fondo negro) .....	201



Anexo 20. Vectores entre esferas de puntería.....	202
Anexo 21. Diferencias entre vectores (esferas de puntería).....	203
Anexo 22. Trimble. Estación B-4000: Coordenadas. Diferencias entre campañas.....	204
Anexo 23. Trimble. Estación B-2000: Coordenadas. Diferencias entre campañas.....	205
Anexo 24. Trimble. Diferencias entre coordenadas por estaciones.....	206
Anexo 25. Trimble (B-4000). Bases red de apoyo con esferas pequeñas.....	207
Anexo 26. Trimble (B-4000). Bases red de apoyo con esferas grandes.....	208
Anexo 27. Trimble (B-2000). Bases red de apoyo con esferas pequeñas.....	209
Anexo 28. Trimble (B-2000). Bases red de apoyo con esferas grandes.....	210
Anexo 29. Trimble. Escaneo desde B-4000 (señales de puntería).....	211
Anexo 30. Trimble. Diferencias Escaneo B-4000 (señales de puntería).....	212
Anexo 31. Trimble. Escaneo desde B-2000 (señales de puntería).....	213
Anexo 32. Trimble. Diferencias Escaneo B-2000 (señales de puntería).....	214
Anexo 33. Trimble. Vectores entre señales de puntería por grupos (B-4000).....	215
Anexo 34. Trimble. Diferencias entre vectores (señales por grupos. B-4000).....	216
Anexo 35. Trimble. Vectores entre señales de puntería por grupos (B-2000).....	217
Anexo 36. Trimble. Diferencias entre vectores (señales por grupos. B-2000).....	218
Anexo 37. Trimble. Diferencias entre vectores por campañas (grupos de señales).....	219
Anexo 38. Trimble. Vectores entre placas de puntería fondo verde (B-4000).....	220
Anexo 39. Trimble. Diferencias entre vectores (placas fondo verde. B-4000).....	221
Anexo 40. Trimble. Vectores entre placas de puntería fondo verde (B-2000).....	222
Anexo 41. Trimble. Diferencias entre vectores (placas fondo verde. B-2000).....	223
Anexo 42. Trimble. Vectores entre placas de puntería fondo negro (B-4000).....	224
Anexo 43. Trimble. Diferencias entre vectores (placas fondo negro. B-4000).....	225
Anexo 44. Trimble. Vectores entre placas de puntería fondo negro (B-2000).....	226
Anexo 45. Trimble. Diferencias entre vectores (placas fondo negro. B-2000).....	227
Anexo 46. Trimble. Vectores entre esferas de puntería (B-4000).....	228
Anexo 47. Trimble. Diferencias entre vectores (esferas de puntería. B-4000).....	229
Anexo 48. Trimble. Vectores entre esferas de puntería (B-2000).....	230
Anexo 49. Trimble. Diferencias entre vectores (esferas de puntería. B-2000).....	231
Anexo 50. Comparativa entre centros de placas (B-4000).....	232
Anexo 51. Comparativa entre centros de placas (B-2000).....	233
Anexo 52. Clásica/Trimble: Comparativa coordenadas Red de Apoyo.....	234
Anexo 53. Clásica/Trimble: Comparativa bases Red de Apoyo (esf. peq. 1ª camp).....	235
Anexo 54. Clásica/Trimble: Comparativa bases Red de Apoyo (esf. peq. 2ª camp).....	236



Anexo 55. Clásica/Trimble: Comparativa bases Red de Apoyo (esf. peq. 3ª camp) .....	237
Anexo 56. Clásica/Trimble: Comparativa bases Red de Apoyo (esf. gr. 1ª camp) .....	238
Anexo 57. Clásica/Trimble: Comparativa bases Red de Apoyo (esf. gr. 2ª camp).....	239
Anexo 58. Clásica/Trimble: Comparativa bases Red de Apoyo (esf. gr. 3ª camp).....	240
Anexo 59. Clásica/Trimble: Componentes vectores error Red de Apoyo (B-4000).....	241
Anexo 60. Clásica/Trimble: Componentes vectores error Red de Apoyo (B-2000).....	242
Anexo 61. Clásica/Trimble: Comparativa coordenadas Red de Control 1ª camp.....	243
Anexo 62. Clásica/Trimble: Comparativa coordenadas Red de Control 2ª camp. ....	244
Anexo 63. Clásica/Trimble: Comparativa coordenadas Red de Control 3ª camp. ....	245
Anexo 64. Clásica/Trimble: Componentes vectores error 1ª campaña B-4000.....	246
Anexo 65. Clásica/Trimble: Componentes vectores error 1ª campaña B-2000.....	246
Anexo 66. Clásica/Trimble: Componentes vectores error 2ª campaña B-4000.....	247
Anexo 67. Clásica/Trimble: Componentes vectores error 2ª campaña B-2000.....	247
Anexo 68. Clásica/Trimble: Componentes vectores error 3ª campaña B-4000.....	248
Anexo 69. Clásica/Trimble: Componentes vectores error 3ª campaña B-2000.....	248
Anexo 70. Faro. Estación B-4000: Coordenadas. Diferencias entre campañas.....	249
Anexo 71. Faro. Estación B-2000: Coordenadas. Diferencias entre campañas. ....	250
Anexo 72. Faro (B-4000). Bases Red de Apoyo con esferas pequeñas. ....	251
Anexo 73. Faro (B-4000). Bases Red de Apoyo con esferas grandes. ....	252
Anexo 74. Faro (B-2000). Bases Red de Apoyo con esferas pequeñas. ....	253
Anexo 75. Faro (B-2000). Bases Red de Apoyo con esferas grandes. ....	254
Anexo 76. Faro. Escaneo desde B-4000 (señales de puntería) .....	255
Anexo 77. Faro. Diferencias escaneo B-4000 (señales de puntería).....	256
Anexo 78. Faro. Escaneo desde B-2000 (señales de puntería) .....	257
Anexo 79. Faro. Diferencias escaneo B-2000 (señales de puntería).....	258
Anexo 80. Faro. Vectores entre señales de puntería por grupos (B-4000) .....	259
Anexo 81. Faro. Diferencias entre vectores (señales por grupos B-4000) .....	260
Anexo 82. Faro. Vectores entre señales de puntería por grupos (B-2000) .....	261
Anexo 83. Faro. Diferencias entre vectores (señales por grupos B-2000).....	262
Anexo 84. Faro. Vectores entre placas de puntería fondo verde (B-4000).....	263
Anexo 85. Faro. Diferencias entre vectores (placas fondo verde. B-4000).....	264
Anexo 86. Faro. Vectores entre placas de puntería fondo verde (B-2000).....	265
Anexo 87. Faro. Diferencias entre vectores (placas fondo verde. B-2000).....	266
Anexo 88. Faro. Vectores entre placas de puntería fondo negro (B-4000).....	267
Anexo 89. Faro. Diferencias entre vectores (placas fondo negro. B-4000).....	268





---

Anexo 90. Faro. Vectores entre placas de puntería fondo negro (B-2000).....	269
Anexo 91. Faro. Diferencias entre vectores (placas fondo negro. B-2000).....	270
Anexo 92. Faro. Vectores entre esferas de puntería (B-4000).....	271
Anexo 93. Faro. Diferencias entre vectores (esferas de puntería. B-4000).....	272
Anexo 94. Faro. Vectores entre esferas de puntería (B-2000).....	273
Anexo 95. Faro. Diferencias entre vectores (esferas de puntería. B-2000).....	274
Anexo 96. Clásica/Faro. Comparativa coordenadas Red de Apoyo.....	275
Anexo 97. Clásica/Faro. Comparativa bases Red de Apoyo (esf. peq. 1ª camp.).....	276
Anexo 98. Clásica/Faro. Comparativa bases Red de Apoyo (esf. peq. 2ª camp.).....	277
Anexo 99. Clásica/Faro. Comparativa bases Red de Apoyo (esf. peq. 3ª camp.).....	278
Anexo 100. Clásica/Faro. Comparativa bases Red de Apoyo (esf. gr. 1ª camp.).....	279
Anexo 101. Clásica/Faro. Comparativa bases Red de Apoyo (esf. gr. 2ª camp.).....	280
Anexo 102. Clásica/Faro. Comparativa bases Red de Apoyo (esf. gr. 3ª camp.).....	281
Anexo 103. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red de Apoyo (B-4000).....	282
Anexo 104. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red de Apoyo (B-2000).....	283
Anexo 105. Clásica/Faro. Comparativa coordenadas Red de Control 1ª camp. ....	284
Anexo 106. Clásica/Faro. Comparativa coordenadas Red de Control 2ª camp.....	285
Anexo 107. Clásica/Faro. Comparativa coordenadas Red de Control 3ª camp.....	286
Anexo 108. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red 1ª campaña B-4000 .....	287
Anexo 109. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red 1ª campaña B-2000 .....	287
Anexo 110. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red 2ª campaña B-4000.....	288
Anexo 111. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red 2ª campaña B-2000 .....	288
Anexo 112. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red 3ª campaña B-4000.....	289
Anexo 113. Clásica/Faro. Componentes vectores error Red 3ª campaña B-2000.....	289
Anexo 114. Formato Digital: Datos y Cálculos completos. ....	290



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Escáner Láser Trimble GX (Universidad de Salamanca).....	12
Figura 2.- Escáner Laser Faro Photon 80 (Universidad de Salamanca).....	15
Figura 3.- Estación Total Leica TCA-2003 (Universidad de Salamanca) .....	17
Figura 4.- Receptor GPS Leica System 1200 (Universidad de Salamanca) .....	20
Figura 5.- Antena AT504 de la Estación de Referencia (Universidad de Salamanca).....	21
Figura 6.- Estación de Referencia y ordenador para su control (Universidad de Salamanca) ...	21
Figura 7.- Trimble VX Spatial Station (tomada de catálogo Trimble).....	25
Figura 8.- Panorámica del entorno de trabajo .....	31
Figura 9.- Excavación para la cimentación de los pilares. ....	32
Figura 10.- Armado y encofrado de pilares. ....	33
Figura 11.- Hormigonado de pilares .....	33
Figura 12.- Placa de centrado forzado .....	34
Figura 13.- Pilar con centrado forzado .....	34
Figura 14.- Soportes de fijación .....	35
Figura 15.- Soportes, placas y bulones de centrado forzado.....	35
Figura 16.- Placas de puntería móviles sobre soportes fijos.....	36
Figura 17.- Centrado forzado de esferas .....	36
Figura 18.- Tipos de señales .....	37
Figura 19.- Grupo de señales de puntería.....	39
Figura 20.- Red de apoyo (sobre Image Digital Globe GeoLye) .....	41
Figura 21.- Autocolimación angular.....	42
Figura 22.- Prisma Leica de alta precisión. ....	43
Figura 23.- Esferas de medición Trimble y Faro. ....	43
Figura 24.- Croquis en perspectiva de la Red principal de apoyo.....	48
Figura 25.- Esquema genérico de intersección directa. ....	65
Figura 26.- Croquis en planta de la red completa .....	66
Figura 27.- Estacionamiento de escáneres .....	73
Figura 28.- Observación y fundamento: Escáner Láser Trimble GX. ....	74
Figura 29.- Estacionamiento del escáner láser Trimble GX.....	75
Figura 30.- Nivel electrónico con compensador automático (PointScape 4.0).....	76
Figura 31.- Sistema de referencia instrumental Trimble GX.....	77
Figura 32.- Propiedades generales de la estación de escáner (PointScape 4.0).....	77
Figura 33.- Vista previa de la zona de exploración (PointScape 4.0) .....	78
Figura 34.- Detalle con las dos fases de la exploración (PointScape 4.0) .....	79
Figura 35.- Barra de herramientas de PointScape 4.0 (detalle).....	79
Figura 36.- Geometrías identificadas por PointScape 4.0 (detalle de pantalla).....	80
Figura 37.- Propiedades de elementos identificados por PointScape 4.0.....	80
Figura 38.- Propiedades de elementos no identificados por PointScape 4.0. ....	81
Figura 39.- Detalle de exploración de esfera sobre pilar (PointScape 4.0).....	81
Figura 40.- Esfera importada por RealWorks 6.5. ....	83
Figura 41.- Placa de puntería importada por RealWorks 6.5.....	83
Figura 42.- Propiedades de los elementos identificados (RealWorks 6.5).....	84



---

Figura 43.- Proceso de generación de esferas (RealWorks 6.5) .....	84
Figura 44.- Proceso de generación de placas de puntería (RealWorks 6.5) .....	85
Figura 45.- Propiedades elementos asignados (RealWorks 6.5) .....	85
Figura 46.- Observación y fundamento: Escáner Láser Faro Photon 80 .....	86
Figura 47.- Estacionamiento del escáner láser Faro Photon 80. ....	87
Figura 48.- Sistemas de coordenadas polares y cartesianas (manual Faro Scene 4.6) .....	88
Figura 49.- Registro de coordenadas polares y cartesianas (Faro Scene 4.6) .....	89
Figura 50.- Introducción de los datos de la estación (Faro Scene 4.6) .....	89
Figura 51.- Exploración área completa (vista parcial con zonas de estudio) .....	90
Figura 52.- Datos para exploraciones: completa y zonal (Faro Scene 4.6) .....	91
Figura 53.- Parámetros de transformación determinados por el escáner .....	92
Figura 54.- Imagen registrada en campo (Faro Scene 4.6) .....	93
Figura 55.- Imagen de una exploración y de su ampliación (Faro Scene 4.6) .....	93
Figura 56.- Detalles de reflejos: diferentes esferas (Faro Scene 4.6) .....	93
Figura 57.- Selector de esferas (Faro Scene 4.6) .....	94
Figura 58.- Marcador de objetos (Faro Scene 4.6) .....	94
Figura 59.- Ajuste de esfera mediante "Selector de esferas" (Faro Scene 4.6) .....	95
Figura 60.- Ajuste de esfera mediante "Marcador de objetos" (Faro Scene 4.6) .....	95
Figura 61.- Coordenadas instrumentales: globales y no globales (Faro Scene 4.6) .....	99
Figura 62.- Gráficos de errores de la red de apoyo (Trimble GX) .....	153
Figura 63.- Gráficos de errores de la red de control (Trimble GX) .....	155
Figura 64.- Gráficos de errores de la red de apoyo (Faro Photon 80) .....	160
Figura 65.- Gráficos de errores de la red de control (Faro Photon 80) .....	164



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Libreta de registro de datos (tomada de Leica TCA2003).....	45
Tabla 2.- Cierre acimutal de las series.....	47
Tabla 3.- Registro meteorológico de las observaciones.....	47
Tabla 4.- Observación angular red de pilares (1ª Campaña/B-1000).....	49
Tabla 5.- Medida de distancia (1ª Campaña/B-1000).....	50
Tabla 6.- Coordenadas obtenidas con GPS (Microsearch GeoLab v.2001).....	58
Tabla 7.- Datos de partida para ajuste Red de Apoyo (Microsearch GeoLab v.2001).....	59
Tabla 8.- Coordenadas Cartesianas Geocéntricas (Microsearch GeoLab v.2001).....	61
Tabla 9.- Coordenadas Geográficas con altitud elipsoidal (Microsearch GeoLab v.2001).....	62
Tabla 10.- Coordenadas Geográficas con altitud ortométrica.....	62
Tabla 11.- Coordenadas Cartográficas UTM con altitud elipsoidal.....	63
Tabla 12.- Coordenadas Cartográficas UTM con altitud ortométrica.....	63
Tabla 13.- Desviación de la vertical y ondulación del geode (Microsearch GeoLab v.2001).....	64
Tabla 14.- Datos de partida para ajuste de Red de Control.....	67
Tabla 15.- Ajuste de geometrías (esfera sobre red de apoyo).....	96
Tabla 16.- Ajuste de geometrías (red de control) (1).....	97
Tabla 17.- Ajuste de geometrías (red de control) (2).....	98
Tabla 18.- Coordenadas ajustadas de los vértices (1ª campaña).....	104
Tabla 19.- Coordenadas ajustadas de la red completa (1ª campaña).....	105
Tabla 20.- Coordenadas Geocéntricas Ecuatoriales de los vértices.....	105
Tabla 21.- Diferencias en los vértices de estacionamiento.....	106
Tabla 22.- Diferencias para esferas sobre pilares.....	107
Tabla 23.- Diferencias para Placas y Esferas (red de control).....	108
Tabla 24.- Diferencias entre campañas (Red de apoyo).....	109
Tabla 25.- Distancias y valores angulares (bases red de apoyo).....	110
Tabla 26.- Diferencias longitudinales y angulares (entre campañas).....	111
Tabla 27.- Diferencias entre coordenadas de esferas.....	113
Tabla 28.- Comparativa coordenadas Trimble (por campañas).....	115
Tabla 29.- Comparativa coordenadas Trimble (por estaciones).....	116
Tabla 30.- Diferencias coordenadas Trimble respecto ET (Resumen).....	124
Tabla 31.- Comparativa coordenadas Faro (por campañas).....	131
Tabla 32.- Comparativa coordenadas Faro (por estaciones).....	131
Tabla 33.- Resumen diferencias entre coordenadas (Faro respecto ET).....	137
Tabla 34.- Desviaciones en coordenadas (Red de apoyo).....	148
Tabla 35.- Desviaciones en coordenadas (esferas sobre pilares).....	149
Tabla 36.- Desviaciones en coordenadas (Red de control).....	150
Tabla 37.- Errores y estadísticas de la red de apoyo (Trimble GX).....	154
Tabla 38.- Errores y estadísticas de la red de control (B-2000 Trimble GX).....	157
Tabla 39.- Errores y estadísticas de la red de control (B-4000 Trimble GX).....	158
Tabla 40.- Errores y estadísticas de la red de apoyo (Faro Photon 80).....	161
Tabla 41.- Resultados del ajuste de geometría para la esfera 302p.....	162
Tabla 42.- Errores y estadísticas de la red de control (B-4000 Faro Photon 80).....	165
Tabla 43.- Errores y estadísticas de la red de control (B-2000 Faro Photon 80).....	166

# 1.-INTRODUCCIÓN





## 1. INTRODUCCIÓN

La presente tesis doctoral se desarrolla dentro del programa de doctorado denominado "Ciencia y Tecnología de la Ingeniería Geodésica y Cartográfica", perteneciente a los estudios de Doctorado regulados por el RD 778/1998, y dentro del Área de Conocimiento "Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría"

Este Área tiene por cometido la formación de los profesionales vinculados al campo de la Ingeniería Topográfica y Geodésica, los cuales tienen como objetivo fundamental la obtención, el cálculo y la representación fiel de la geometría, así como su referenciación espacial, tanto de los objetos y elementos existentes en la naturaleza, como de los originados por la acción del ser humano, principalmente mediante proyectos y obras de Ingeniería y Arquitectura.

Para llevar a cabo el objetivo citado se hace necesaria la utilización de instrumentación específica y la aplicación de metodologías de trabajo adecuadas. Es evidente que ambos aspectos han evolucionado a lo largo de los años, incrementándose de una forma muy significativa en las últimas décadas, debido más a los avances producidos en el campo de la automatización e informatización que a los puramente técnico/científicos vinculados con esta rama del conocimiento.

Dentro de esta evolución nos encontramos con que los instrumentos necesarios para la toma de datos han experimentado grandes avances. Los aparatosos distanciómetros existentes hasta hace escasamente tres décadas han visto reducidos considerablemente su tamaño y peso, unificándose a su vez con el teodolito para constituir un instrumento compacto denominado Estación Total. Los estudios realizados sobre las diferentes bandas del espectro electromagnético, han permitido utilizar las más adecuadas de ellas, en cada caso, para medir distancias, en función de las longitudes y condiciones. Se ha llegado al punto de poder prescindir del elemento que devuelve la onda emitida sobre el propio emisor, dando origen a los instrumentos de medida electromagnética de distancias (MED) de reflexión directa, haciendo innecesaria la utilización de los prismas reflectores, eso sí, con algunas limitaciones en su precisión y en el rango de aplicación. Se ha implementado sobre estos distanciómetros el dispositivo láser que genera un haz controlado de luz, lo que permite, además de medir la distancia, visualizar el punto donde se está haciendo la colimación. Esto, unido a la robótica de las Estaciones Totales, ha promovido un gran desarrollo en la mecanización de los trabajos de toma de datos en Topografía, permitiendo realizar el levantamiento, no sólo de los puntos seleccionados que caracterizan la geometría del objeto, sino de puntos distribuidos según una secuencia temporal o espacial determinada, lo que proporciona una malla homogénea repartida sobre el objeto de estudio. Avanzando un paso más en estas técnicas de medida de distancias, los fabricantes de instrumentación han logrado optimizar al máximo el rendimiento, permitiendo intervalos muy pequeños para la toma de datos y una gran



## INTRODUCCIÓN

---

velocidad de registro; esto permite observaciones masivas, en cortos espacios de tiempo, de áreas preseleccionadas, facilitando así la información en forma de nube de puntos. Estos instrumentos realizan una exploración completa o barrido del objeto, por este motivo se denominan láser escáner terrestre o láser escáner 3D.

Los escáneres requieren, para la captura de datos y su posterior proceso de cálculo, depuración y modelizado, de la utilización de programas informáticos específicos. Suelen estar desarrollados por el propio fabricante, pues debido al gran volumen de información generado, resulta poco operativo trabajar sobre los sistemas de CAD estándar.

En el momento actual, existen estudios realizados sobre el láser escáner 3D enfocados hacia el comportamiento del mismo para diferentes tipos de objetos, colores, texturas, así como diferentes ángulos de incidencia del rayo láser sobre el objeto. Se han llevado a cabo tanto en interior como exterior, considerando las características técnicas facilitadas por el fabricante, que suelen estar obtenidas en condiciones propicias.

El objetivo de esta Tesis se centra en analizar la precisión real alcanzada en la métrica, por los sistemas láser escáner, en un entorno de trabajo exterior y para diferentes condiciones atmosféricas, en situaciones con iluminación natural.

El planteamiento de la misma ha sido posible al disponer, en la Escuela Politécnica Superior de Ávila, de dos equipos de escáner laser 3D, utilizando cada uno de ellos distinto método para la determinación de las distancias.

### 1.1. ESTRUCTURA DE LA TESIS

Fijado el motivo que ha provocado el interés para desarrollar la presente Tesis Doctoral, y en consecuencia con el mismo, se plantea la forma de estructurar el proceso de una forma lógica y adecuada a la finalidad que se persigue.

Para ello se procede a dividir en una serie de capítulos que describan cada una de las fases del trabajo, y en cada uno de ellos se irá tratando, de forma ordenada, los diferentes contenidos.

Se inicia la Tesis con este primer capítulo de introducción, en el que se centra, a grandes rasgos, la razón de la misma, vislumbrándose el objetivo que se persigue lograr, en base a lo cual se procede a estructurar el conjunto de la Tesis.

El capítulo segundo tiene como finalidad situar el entorno global del trabajo, para lo cual se hace necesario, en primer término, definir de forma concreta los objetivos que se pretenden alcanzar a lo largo del proceso completo de la Tesis.





Fijados los objetivos, y dado que con ellos se pretende la determinación de las precisiones alcanzadas en los procesos de medida realizados por cierto instrumental topográfico, se hace necesaria la descripción de dicho instrumental, definiendo sus características. En este mismo apartado se procederá a describir, igualmente, el instrumental que se va a utilizar para llevar a cabo la observación de la red que servirá como base de contrastación.

En otro apartado de este segundo capítulo, se procederá a exponer el planteamiento metodológico necesario para establecer el modelo de referencia que sirva como patrón para el proceso de contraste de resultados. Se dedicará otro apartado al estudio del estado actual en el que se encuentra el conocimiento en los aspectos relacionados con el tema tratado en la Tesis, con el fin de tener un punto de partida para determinar el aporte novedoso que supone el trabajo realizado.

En el capítulo tercero se describe detalladamente el proceso completo llevado a cabo en la Tesis, para la realización de las sucesivas fases del trabajo. La construcción de los vértices de la red e implantación de los puntos de control, así como los procedimientos de observación llevados a cabo con la finalidad de minimizar los errores. Los sistemas de cálculo efectuados para obtener los valores precisos, resultantes de todo el proceso.

Será en el capítulo cuarto donde se proceda a realizar los análisis métricos de los resultados obtenidos, los cuales permitirán determinar las conclusiones sobre las precisiones reales alcanzadas.

Estas conclusiones serán tratadas en el capítulo quinto, donde también se expondrán posibles líneas de investigación futura.

En el sexto capítulo, se presenta la bibliografía utilizada como referencia y consulta, a lo largo de todo el trabajo.

Para finalizar, se adjuntan una serie de anexos, consistentes en diversas tablas de cálculos, cuya finalidad es la de documentar y aclarar los procesos realizados en el análisis métrico del capítulo cuarto. Así como un disco compacto en formato digital, que contiene todos los datos y cálculos realizados.



## **2.-ENTORNO DE REFERENCIA**





## 2. ENTORNO DE REFERENCIA

El proceso de investigación, dependiendo de la finalidad que se persiga, podrá resultar de mayor o menor complejidad, variando la forma de proceder y los métodos a utilizar, estando fundamentado en los dos básicos: el método deductivo y el método inductivo.

La presente tesis doctoral la podemos situar dentro del entorno de la investigación denominado "Investigación Aplicada", en ocasiones también llamada "Investigación Tecnológica", cuya finalidad es la resolución y desarrollo de cuestiones técnicas con el objeto de optimizar los procesos y la instrumentación requerida para los mismos. En este modelo de investigación se pueden observar distintas modalidades conducentes a la obtención de nuevos productos, incluido nuevo instrumental, y nuevos procesos sobre los cuales se deben de desarrollar mecanismos para determinar su calidad.

La investigación tecnológica se suele llevar a cabo en las empresas, a través de sus departamentos de innovación y control; en algunas ocasiones con la colaboración y asistencia de la universidad, o de centros públicos o privados dedicados también a este tipo de investigación, especialmente cuando la magnitud del proyecto lo requiere.

Para el desarrollo de las nuevas tecnologías se suele requerir, por lo general, de la participación de varias ramas del conocimiento, con el fin de obtener resultados satisfactorios. Esto hace que deban de intervenir diferentes especialistas, lo que obliga a colaboraciones tal y como se ha citado en el párrafo anterior.

En los procesos tecnológicos, es preciso tener en consideración, además, las necesidades del mercado, tanto actuales como futuras, a fin de que los productos sean aceptados por la sociedad. Por otra parte, el factor tiempo es fundamental, pues la implantación de los procesos o productos en el mercado en unos determinados plazos, es determinante para el éxito o fracaso de los mismos. Esta premura suele ser contraproducente para la planificación de la investigación tecnológica, provocando generalmente incremento en sus costes, lo cual es otro factor a tener en consideración.

El campo de la Ingeniería, donde se ubica la presente tesis, se encuentra dentro del ámbito de las ciencias experimentales, en las cuales la actividad científica mantiene dos procesos recíprocos y por ello necesarios mutuamente:

- uno que conduce a la formación de teorías, conceptos, leyes, proyectos, entidades y construcciones.



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

- otro más pragmático, consistente en la comprobación experimental de las entidades y construcciones realizadas según las directrices del proceso anterior.

La investigación realizada en este trabajo, se centra en la determinación experimental de las precisiones alcanzadas por dos sistemas de escáner láser 3D, sobre la toma de datos que efectúan para realizar la definición geométrica de los objetos, en un entorno de trabajo real.

Para efectuar esta determinación experimental se utilizará el método científico, el cual pretende la validación del proceso mediante los pasos siguientes:

- propuesta de un modelo basado en observaciones y mediciones experimentales existentes previamente.
- verificación de las predicciones del modelo respecto de las observaciones anteriores.
- ajuste o sustitución del modelo en caso de no verificar las predicciones.
- contraste de las nuevas observaciones y mediciones con el modelo verificado.

Con esto se persigue la resolución satisfactoria del proceso, con la pretensión de obtener resultados con un alto grado de precisión y seguridad, evitando el olvido de alguna fase en el proceso.

### 2.1. OBJETIVOS PLANTEADOS

En el campo de la Topografía y la Geodesia, los avances que se están produciendo en las últimas décadas están originados por el desarrollo de nuevas tecnologías, que son incorporadas en los instrumentos de medida, así como de actualizaciones y mejoras en los programas informáticos, que los hacen más rápidos y con mayor capacidad de cálculo.

Esto ha ocasionado cambios significativos en los procesos de captura de datos, así como en su procesamiento y cálculo, que en algunos casos pueden considerarse revolucionarios.

Todo ello implica nuevas adaptaciones en determinados métodos de trabajo, aunque no en la metodología, pues los fundamentos básicos siguen vigentes y sin alteraciones esenciales.

Dentro de estos avances producidos en la última década, cabe destacar el desarrollo experimentado por los métodos basados en el levantamiento de objetos, mediante toma de datos de forma masiva, realizando su barrido completo con



instrumentos que determinan la medida de distancias utilizando emisores de rayo láser, lo cual genera nubes con un número muy elevado de puntos, que en procesos posteriores permiten, mediante aplicaciones informáticas más o menos laboriosas, discriminar los datos que resulten de interés.

Estos instrumentos que realizan el barrido completo del objeto se denominan Escáner Láser 3D o Escáner Láser Terrestre, y tal como se ha indicado en el párrafo anterior, han experimentado un auge en los últimos tiempos, limitado, eso sí, por su elevado coste, siendo utilizados para realizar levantamientos topográficos sobre elementos en cuya configuración predominan los planos verticales, en entornos a corta y media distancia. Actualmente, los campos en los que más se utiliza son la documentación patrimonial, la edificación y en algunos aspectos de la ingeniería.

El interés por conocer las precisiones alcanzadas por esta nueva instrumentación y el hecho de disponer en la Escuela Politécnica Superior de Ávila de dos equipos Escáner Láser 3D (Trimble GX; Faro Photon 80), hacen factible la realización de esta tesis. Por tanto el objetivo principal que se pretende es el de obtener las precisiones efectivas que se logran en observaciones realizadas, con los citados instrumentos, en unas condiciones de trabajo y un entorno reales, utilizando procedimientos que permitan determinar dicha precisión con garantías.

Para alcanzar dicho objetivo principal, será necesario conseguir previamente otro objetivo, consistente en establecer una red topográfica con la precisión necesaria, que permita realizar la contrastación de los citados escáneres. Para llevar a cabo este objetivo previo, se procederá a la elaboración de un modelo de observación y cálculo basado en instrumentación y métodos topográficos, denominados como clásicos, sobradamente contrastados, y con su consecuente verificación siguiendo el método científico.

En conclusión, los objetivos que se pretenden alcanzar con la presente tesis son dos:

- El primero, en orden cronológico, consiste en obtener el marco de referencia para realizar el proceso de contraste.
- El segundo, y objetivo fundamental, pretende determinar las precisiones efectivas alcanzadas por los dos escáneres láser mencionados previamente.

Será imprescindible obtener el primero de ellos con la precisión necesaria, para poder garantizar los resultados del segundo de forma solvente.



## 2.2. INSTRUMENTACIÓN

En este apartado se procede a realizar la descripción del instrumental topográfico que se va a utilizar a lo largo de todo el trabajo. Dado que el objetivo principal que se pretende es determinar la precisión efectiva alcanzada por dos modelos de escáner láser 3D (Trimble GX y Faro Photon 80), se comenzará refiriendo las características de cada uno de ellos.

Para poder llevar a cabo la determinación de la citada precisión, según se ha mencionado en el apartado anterior, será necesario establecer y observar una red de control utilizando instrumentación y metodología contrastadas, que permitan garantizar aquella. El instrumento utilizado para este proceso será la Estación Total Leica TCA 2003, que proporciona precisión suficiente para tal fin.

### 2.2.1. ESCÁNER LÁSER TRIMBLE GX

Según las indicaciones facilitadas por el fabricante, el escáner láser 3D Trimble GX (Figura 1) *es un avanzado sensor topográfico y de imagen espacial, que utiliza vídeo y láseres de alta velocidad para capturar coordenadas y datos de imágenes, ofreciendo grandes capacidades y un sistema compatible que incrementan su competitividad.*



Figura 1.- Escáner Láser Trimble GX (Universidad de Salamanca)

Conforme a sus especificaciones, *el Trimble SureScan adapta automáticamente sus parámetros de escaneo a la geometría del objeto levantado y*





*controla el movimiento del escáner para mantener constante el espaciado, entre los puntos 3D, definido por el usuario. Esta función única e innovadora mantiene una densidad de puntos idéntica, incluso para objetos donde las distancias a los puntos varían considerablemente. No será necesario que capture muchos puntos en distancias cortas y pocos puntos en distancias más grandes, tampoco tendrá que capturar medidas que no hacen falta. El sistema incluye el software Trimble PointScape para realizar la captura de datos en campo, y Trimble RealWorks para efectuar el procesado, en gabinete, sobre la toma realizada en campo.*

*El escáner láser Trimble GX, siempre según las indicaciones del fabricante, puede capturar millones de puntos en un solo escaneado, las distancias son determinadas mediante la utilización de un láser de espectro visible (de color verde) basado en un sistema de impulsos, también denominado de tiempo de vuelo. Su posterior procesado con RealWorks, permite convertir los datos originales de manera que puedan ser utilizables para sistemas de CAD, entregando un material listo para ser usado por el cliente. Incluye la tecnología Trimble VISION que permite la captura de imágenes digitales. Mediante estas imágenes digitales en la pantalla del controlador, se puede identificar rápidamente la zona de interés del levantamiento, seleccionando los objetos correspondientes.*

Las características técnicas del escáner láser Trimble GX, aportadas por el fabricante, son las siguientes:

- a) Rendimiento
  - Alcance típico, con condiciones estándar<sup>1</sup>
    - o 350m. en superficies con nivel de reflexión<sup>2</sup> del 90% (con OverScan).
    - o 200m. en superficies con nivel de reflexión del 35%.
    - o 155m. en superficies con nivel de reflexión del 18%.
  - Velocidad de escaneado: hasta 5000 puntos por segundo.
  - Desviación estándar<sup>3</sup>:
    - o 1,4 mm para  $\leq 50$  m.
    - o 2,5 mm para 100 m.
    - o 3,6 mm para 150 m.
    - o 6,5 mm para 200 m.
  - Precisión de punto único:
    - o Posición = 12 mm para 100 m.
    - o Distancia = 7 mm para 100 m.

<sup>1</sup> Visibilidad normal: sin neblina. Cielo cubierto o luz solar moderada con muy poco resplandor por calor. El alcance y la precisión dependen de las condiciones atmosféricas, el tamaño de los objetivos y la radiación de fondo.

<sup>2</sup> Kodak Gray Card, número de Catálogo E1527795.

<sup>3</sup> Las cifras entregadas (valores típicos a un albedo de 99%) corresponden a la captura de datos estándar de cuatro tomas, sobre medición de distancia.



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

- Ángulo horizontal = 12" (60  $\mu$  rad)
  - Ángulo vertical = 14" (70  $\mu$  rad)
  - Adquisición del objetivo: desviación típica <1 mm (con objetivos de Trimble).
  - Precisión de superficie modelada:  $\pm 2$  mm (según el método)
  - Error sistemático (después de compensaciones)  $\sim 6$  mm.
  - Incertidumbre estándar combinada  $U_c$ :
    - 6,7 mm para 50 m.
    - 7,2 mm para 100 m.
    - 8,5 mm para 150 m.
    - 11,7 mm para 200 m.
  - Resolución de luminancia: 8 bits.
  - Nivelación:
    - Nivel esférico en plataforma nivelante: 8'
    - Compensador de doble eje (seleccionable)
    - Resolución de 0,3" (1 cc)
    - Alcance operativo  $\pm 14'$
    - Compensación de nivelación automática en tiempo real.
  - Integridad de datos: calibración periódica de índice cero termocompensación en tiempo real.
  - Optimización de escaneado
    - Correcciones atmosféricas (definidas por el usuario)
    - Enfoque automático: controlado por el usuario o autoimplementado.
  - Resolución de escaneado:
    - Tamaño de área: 3 mm a 50 m.
    - Tamaño de área con enfoque automático:
      - 0,3 mm a 5 m.
      - 0,9 mm a 15 m.
      - 1,5 mm a 25 m.
    - Espaciamiento de puntos: hasta un mínimo de 3,2 mm a 100 m.
      - 1,6 mm verticales disponibles = 18 ptos/cm<sup>2</sup>.
      - Fila de escaneado (hz): 200.000 puntos.
      - Fila de escaneado (vt): 65.536 puntos.
- b) Especificaciones del Sistema
- Laser tipo 532 nm de impulsos, verde.
  - Campo visual 360° x 60° en un solo escaneado continuo.
  - Óptica: sistema óptico de escaneado patentado.
  - Transferencia de datos enlace USB para extensiones disponibles.
  - Imagen digital video a color integrado en tiempo real con zoom óptico de 5,5x.
  - Indicadores de estado: sistema listo, laser activado, estado com.



- c) Características físicas
  - Laser 3D con servocontrol.
  - Dimensiones: 323 prof. x 343 ancho x 404 alto (mm).
  - Peso: 13,0 kg (28,7 lb).
  - Consumo de alimentación: <100 W.
  - Fuente alimentación: CA 90 – 240 V, 50 – 60 Hz./CC 24 V.
  - Temperatura de funcionamiento: 0 °C a 40 °C.
  - Temperatura de almacenamiento: – 20 °C a 50 °C.
  - Completamente operativo en todo tipo de luz.
- d) Software de campo
  - Trimble Access.
  - PointScape.

### 2.2.2. ESCÁNER LÁSER FARO PHOTON 80

En base a las indicaciones facilitadas por el fabricante, el escáner láser Faro Photon 80 (Figura 2), es un equipo compacto que presenta avances tecnológicos considerables, entre los que destaca: la disminución del ruido en la imagen en un 300%, lo que permite obtener imágenes más claras y fieles; la disminución del error de paralaje en un 200%; mayor sensibilidad de escaneo; tomas más claras con una mejor localización de objetos distantes, áreas poco iluminadas e irregulares; alta calidad en la yuxtaposición del color, las tomas y el color registrados por el láser son más fieles con la realidad escaneada. El resultado se traduce en un escaneo de datos más detallado y extremadamente minucioso, para asegurar una recreación fiel de cualquier escenario u objeto.



Figura 2.- Escáner Laser Faro Photon 80 (Universidad de Salamanca)



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

*Diseñado para la captura masiva y rápida de datos, el Photon cuenta con un disco duro interno, una batería ligera y de fácil ensamblado (se monta directamente sobre el escáner) además de brindar la opción de operar vía iPod@touch en la mayoría de aparatos inalámbricos. Desarrollado para mediciones sencillas, remotas y precisas.*

Las especificaciones técnicas aportadas por el fabricante son las siguientes:

- a) Unidad de Rango:
  - Alcance: 0.6 m. - 76 m.<sup>4</sup>
  - Resolución: 0.6 mm - 17 alcance por punto.
  - Velocidad de medición: 120.000 puntos/seg.
  - Error sistemático de distancia<sup>5</sup>:  $\pm 2$  mm at 25 m.
  - Repetitividad (*Información neta*<sup>6</sup> / *Información bruta*):
    - o 10 m: 0.45/0.9 mm 90% refl. / 0.75/1.5 mm 10% refl.
    - o 25 m: 0.60/1.2 mm 90% refl. / 1.45/2.9 mm 10% refl.
  
- b) Unidad de Desviación:
  - Campo de visión vertical: 320°.
  - Campo de visión horizontal: 360°.
  - Resolución vertical: 0.009° (40.000 3D-Pixel en 360°)
  - Resolución horizontal: 0.00076° (470.000 3D-Píxeles en 360°)
  - Resolución angular (hor./vert.):  $\pm 0.009^\circ$ .
  - Velocidad máxima de escaneo vertical: 2880 rpm.
  
- c) Laser (Transmisor Óptico)
  - Capacidad del Láser (CW promedio): 20 mW (Laser Class 3R).
  - Longitud de Onda: 785 nm.
  - Desviación del Láser: 0.16 mrad (0.009°).
  
- d) Características Generales.
  - Fuente de Energía: 24 V DC (Batería o convertidor AC).
  - Consumo de energía: ~60 W.
  - Temperatura Ambiental: 5° - 40° C.
  - Humedad: no condensante.
  - Sensor de inclinación: opcional (precisión 0,1°; resolución 0,001°; rango  $\pm 15^\circ$ ).
  - Peso: 14,5 kg (35lb).

---

<sup>4</sup> *Depende de la luz ambiental presente en la medición. El rango total se alcanza en superficies blancas y 90% mate, iluminadas con luz ambiental moderada. La presencia de luz solar excesiva puede cortar el rango de escaneo en distancias menores.*

<sup>5</sup> *Medido en base a una referencia reflectiva promedio de papel estático, 90% ortogonal.*

<sup>6</sup> *Filtro Compresor de Ruido.*



### 2.2.3. ESTACIÓN TOTAL LEICA TCA-2003

La Estación Total de alta gama Leica TCA-2003 (Figura 3), es el instrumento que se utiliza para realizar, por métodos clásicos, la observación de la red de control implantada con el objeto de llevar a cabo la contrastación de los escáneres.

Se trata de un instrumento de alto rendimiento, diseñado para realizar observaciones de gran precisión alcanzando las máximas exigencias en la medición, lo que le hace idóneo para trabajos topográficos tales como: observación de redes, control de deformaciones, monitorización de presas de embalse, control de estructuras, medida de sobrecargas, replanteos de precisión y trabajos similares. Según el criterio del fabricante, *resulta un instrumento sumamente fiable al estar diseñado con tecnología contrastada y puesta a prueba a lo largo de los años de experiencia.*



Figura 3.- Estación Total Leica TCA-2003 (Universidad de Salamanca)

*Dispone de un sistema de puntería fina con reconocimiento automático del centro del prisma, que reduce al máximo dicho error. Está provisto de una completa colección de programas adecuados para múltiples tareas de medición. Dispone de un sistema de medición de ángulos especial que ofrece una precisión angular de 0.15mgon (0.5"). Para ello contribuyen también los precisos tornillos de movimiento y la cuádruple captación de los círculos. Está equipado igualmente con un preciso distanciómetro coaxial, dotado de componentes especialmente desarrollados por Leica que permiten alcanzar una precisión en la medida de distancias de 1mm + 1ppm.*



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

A continuación se muestran las especificaciones técnica facilitadas por el fabricante.

- a) Medición de ángulos.
  - Precisión<sup>7</sup>: 0.5" (0.15 mgon).
  - Resolución de pantalla: 0.1" (0.01 mgon).
  - Compensador:
    - o Rango de trabajo: 4' (0.07 gon).
    - o Precisión: 0.3" (0.1 mgon).
    - o Método: compensador electrónico de doble eje.
  
- b) Medición de distancias (IR)
  - Alcance<sup>8</sup>:
    - o Prisma circular (GPR1): 2500 m.
    - o Prisma 360° (GRZ4): 1300 m.
    - o Miniprisma (GMP101): 900 m.
    - o Diana reflectante (60 mm x 60 mm) 200 m.
  - Precisión / Tiempo de medición<sup>9</sup>:
    - o Modo Estándar: 1 mm + 1 ppm / 3.0 s
    - o Modo Rápido: 3 mm + 2 ppm / 1.5 s
    - o Modo Tracking: 5 mm + 2 ppm / 0.3 s
    - o Resolución de pantalla: 0.01 mm.
    - o Método: Medición de fase (coaxial, láser infrarrojo invisible).
  
- c) Datos generales
  - Anteojo:
    - o Aumento: 30x.
    - o Diámetro libre del objetivo: 42 mm.
    - o Campo visual: 1°33' (1.72 gon) / 2.7 m. a 100 m.
    - o Rango de enfoque: 1.7 m hasta infinito
  - Teclado y pantalla:
    - o Pantalla: 64\*210 píxeles, gráfica, iluminable.
    - o Teclado: 32 teclas (6 de función, 12 alfanuméricas, 6 directas).
    - o Visualización de ángulos: 360°, 360° decimal, 400<sup>gon</sup>, 6400 mil.
    - o Visualización de distancias: metro, pie int, pie/pulgada int. pie US.
    - o Posición: Teclado en las posiciones I y II (estándar).
  - Almacenamiento de los datos:
    - o Memoria interna: Tarjeta S-RAM (512 KB y 2 MB).

---

<sup>7</sup> Desviación típica ISO 17123-3.

<sup>8</sup> Condiciones atmosféricas medias.

<sup>9</sup> Desviación típica ISO 17123-4



- Número de grabaciones: ~4000 por MB.
- Interfaz: RS232
- Nivel esférico:
  - Sensibilidad: 4' / 2 m.
- Plomada láser:
  - Precisión de centrado: 1.0 mm a 1.5 m.
  - Diámetro del punto láser 2.5 mm a 1.5 m.
- Tornillos sin fin:
  - Número de tornillos: 2 horiz. / 1 vert.
- Batería (GEB187):
  - Tipo: NiMH, recargable.
  - Voltaje: 12 V.
  - Capacidad: 1.8 Ah.
  - Tiempo de trabajo: 400 mediciones de distancia.
- Peso:
  - Instrumento: 7.5 kg.
  - Batería: 0.3 kg.
  - Base nivelante: 0.9 kg.
- Condiciones ambientales:
  - Temperatura de trabajo: -20°C a +50°C.
  - Temperatura de almacenamiento: -40°C a +70°C.
  - Polvo / Agua (IEC 60529): IP54.
  - Humedad: 95%, sin condensación.

#### 2.2.4. GPS LEICA SYSTEM 1200

El receptor GPS<sup>10</sup> Leica 1200 es un instrumento de alta gama que ofrece una tecnología muy avanzada que se traduce en una rápida adquisición de satélites a la vez que proporciona mediciones de gran precisión. La pantalla táctil resulta muy intuitiva y junto con el teclado, facilita en gran medida su manejo, siendo un potente gestor de datos, rutinas y programas integrados, totalmente versátil, lo que le permite funcionar como referencia y móvil en cualquier modo operativo. Soporta todos los formatos y dispositivos de comunicación, uniendo a esto su pequeño tamaño y su ligereza, permite su utilización en cualquier situación: sobre bastón; minimochila; trípode; pilares; elementos en movimiento constante como maquinaria, automóviles, barcos, aviones, etc...

Dispone de Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS): canales GPS (14L<sub>1</sub>+14L<sub>2</sub>), GLONASS<sup>11</sup> (12L<sub>1</sub>+12L<sub>2</sub>) y 2 SBAS<sup>12</sup> que mejoran el posicionamiento del receptor, dando información sobre la calidad de las señales. Alcanza precisiones de

<sup>10</sup> Global Positioning System

<sup>11</sup> Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya System

<sup>12</sup> Satellite Based Augmentation System



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

10mm+1ppm para las determinaciones horizontales y de 20mm+1ppm para las verticales en modo cinemática, elevándose a 5mm+0,5ppm para las horizontales y 10mm+0,5ppm para las verticales en modo estático<sup>13</sup>, con una fiabilidad del 99,99% para líneas base de hasta 30 km.



Figura 4.- Receptor GPS Leica System 1200 (Universidad de Salamanca)

### 2.2.5. ESTACIÓN DE REFERENCIA LEICA GRX1200

La Estación de Referencia permanente ubicada en la Escuela Politécnica Superior de Ávila cumple una doble finalidad: además de las labores propias de la docencia y la investigación, se encuentra integrada en la red geodésica virtual de Castilla y León, gestionada por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL). Está incorporada, como estación permanente GPS que constituye la densificación de la red EPN<sup>14</sup>, dentro del marco EUREF<sup>15</sup>, lo que provee a nuestro país de un marco estable, preciso y actualizable en coordenadas ETRS89<sup>16</sup>. Permite suministrar datos GPS a los usuarios de la Geodesia y la Topografía, y al público en general, para poder realizar mediciones con gran precisión.

Esta Estación de Referencia pertenece a la serie de alto rendimiento Leica GRX1200 que incorpora tecnología SmartTrack, la cual permite obtener mejor rendimiento, captando en segundos todos los satélites visibles, ofreciendo unas excelentes relaciones señal-ruido lo que permite medidas de código y fase limpias y de gran precisión, garantiza un seguimiento fiable incluso para bajas elevaciones. Dispone de doble frecuencia con 12 canales por cada una de ellas (12L1+12L2 20Hz), captando todos los satélites visibles en tan solo 30 segundos desde proceder a su encendido, así como recuperar la pérdida de alguno de ellos en tan solo 1 segundo. Tiene una sensibilidad muy alta que le permite adquirir más del 99% de todas las

---

<sup>13</sup> Normativa ISO 17123-8

<sup>14</sup> European Permanent Network

<sup>15</sup> European Reference Frame

<sup>16</sup> European Terrestrial Reference System 1989





señales de los satélites que se encuentren por encima de  $10^\circ$  de elevación, pudiendo realizar mediciones independientes en código y fase en L1 y L2, alcanzando un error medio cuadrático de 20mm en las mediciones realizadas mediante código, llegando a los 0.2 mm para determinaciones mediante fase de onda, lo que permite llegar a obtener precisiones, con post proceso utilizando el programa Leica Geo Office, de  $3\text{mm}+0,5\text{ppm}$  en determinaciones horizontales y  $6\text{mm}+0,5\text{ppm}$  para las verticales, en modo estático con medida de fase y largos periodos de observación.



Figura 5.- Antena AT504 de la Estación de Referencia (Universidad de Salamanca)

La Estación de Referencia es controlada y manejada desde un ordenador que dispone del programa avanzado Leica GPS Spider, software diseñado para tal finalidad.



Figura 6.- Estación de Referencia y ordenador para su control (Universidad de Salamanca)



### 2.3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

Para poder alcanzar los objetivos que se persiguen en el desarrollo de esta Tesis, es necesario plantear una metodología de trabajo que garantice, no sólo su obtención, sino que los resultados son fiables. Tal como se ha indicado, se trata de obtener valores verdaderos de la precisión alcanzada en las medidas efectuadas por los escáneres laser en unas condiciones de trabajo encuadradas en un entorno real, al aire libre y con condiciones climáticas diferentes, emulando una situación análoga a la de su utilización en el desarrollo de labores profesionales o de investigación.

Para llevar a cabo este trabajo de contrastación instrumental, se hace necesario crear un marco que lo garantice y que sea verificable. Para ello se plantea la construcción de una red compuesta por cuatro pilares con centrado forzado, de características análogas a los utilizados en trabajos de control de deformaciones en obras de ingeniería. Esto permitirá disponer en la zona de trabajo de una red de alta precisión, observada con la Estación Total Leica TCA-2003 siguiendo una metodología que garantice la precisión necesaria, tal y como se verá en el apartado 3.3. Observación por Topografía Clásica.

Además de los pilares citados, se sitúan una serie de placas de puntería fijas, convenientemente repartidas sobre elementos estables del entorno, que serán objeto de levantamientos topográficos con los diferentes instrumentos. Los resultados obtenidos en cada caso, servirán para realizar las comparativas correspondientes y, en consecuencia, determinar las diferencias que permitirán realizar las labores de contrastación de las observaciones y, como consecuencia, de los instrumentos.

Este conjunto de placas de puntería fijas va a constituir la red de puntos de control de las observaciones, debiendo ser introducida en el modelo de cálculo, para que cumpla también las garantías exigidas y permita la verificación de los resultados obtenidos.

Por tal motivo, una vez observada y calculada la red de pilares, se procede a la observación, desde ésta, de los puntos de control, siguiendo igualmente un método de trabajo adecuado, lo cual permitirá el cálculo de esta red formada por las placas de puntería a partir de la red básica de los pilares, haciendo posible la fusión de ambas en una única red topográfica de control de observaciones.

La observación inicial de esta red topográfica de control, se llevará a cabo por métodos topográficos clásicos utilizando la Estación Total citada, cuya precisión y efectividad están sobradamente demostradas tras años de experiencia y que quedarán contrastadas, igualmente, mediante el procedimiento que se utilizará en la observación, que permite asignar las correspondientes elipses de error a los puntos de control, para garantizar su precisión.



Seguidamente se procede a realizar la toma de datos con los dos escáneres, obteniendo valores resultantes para todos y cada uno de los puntos de control, que una vez efectuadas las comparaciones pertinentes, permiten deducir las conclusiones adecuadas en cada caso.

Este proceso se repetirá en su totalidad en varias campañas, realizadas en distintas épocas del año, para estudiar los comportamientos en condiciones climáticas diferentes.

#### 2.4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En el momento actual nos encontramos en una situación que, en lo relativo a la metodología para llevar a cabo los procesos de medición en el ámbito de la Topografía y la Geodesia, podemos considerar ampliamente desarrollada, experimentando variaciones casi imperceptibles, por no decir nulas.

Donde se están produciendo cambios significativos, desde hace varias décadas, es en la instrumentación utilizada para realizar las mediciones, así como en los procesos de cálculo, realizados con ordenadores y programas cada día más rápidos y precisos. Esto origina cambios en los métodos utilizados para efectuar los levantamientos topográficos y su procesado en gabinete, pero son cambios basados y en la estructura metodológica conocida y experimentada, que no alteran la misma, sino que la complementan.

Este proceso de constante innovación en el campo de la instrumentación está motivado por la creciente necesidad de adquirir la información de forma rápida y precisa con el fin de reducir costes. Esta misma finalidad es el que mueve a la fabricación de computadoras con procesadores de cálculo más rápido y programas informáticos más ágiles, versátiles y de fácil utilización, lo que puede llevar a su utilización por personal cada vez menos cualificado.

En este punto, no se entrará a tratar los temas metodológicos fundamentales, por considerar que su estado actual no ha sufrido variaciones considerables en las últimas décadas, además de ser ampliamente conocidos por todos los Técnicos en la materia. Sí que se procederá a exponer el estado en el que se encuentra las materias que se consideran novedosas en el desarrollo de la Tesis.

A finales de la última década del siglo pasado se comienza a desarrollar una nueva tecnología que, partiendo de las Estaciones Totales dotadas de dispositivos de medida directa de distancias sin necesidad de utilizar prisma receptor, permita realizar dichas medidas de forma continua. Este dispositivo de medida directa de distancias se fundamenta en la determinación del tiempo transcurrido desde la emisión de una señal láser y la detección de su regreso, tras ser devuelta por la propia superficie del objeto.



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

LASER es el acrónimo de su definición en inglés "Light Amplification Simulated Emission of Radiation" (Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación), cuyo descubrimiento revolucionó todos los sistemas de medición de distancias. Las primeras aplicaciones del láser en astronomía y geodesia son en LAsER GEODynamics Satellite (LAGEOS), satélites geodésicos utilizados desde hace más de 30 años, y un poco más recientemente, hace unos 20 años, en técnicas SLR (Satellite Laser Ranging) y en LLR (Lunar Laser Ranging).

De los estudios realizados surge el escáner láser terrestre tridimensional (Escáner Láser 3D), siendo a partir del año 2000 cuando empiezan a utilizarse, en principio de modo experimental para, poco a poco, ser introducido en trabajos de topografía, en levantamiento de objetos predominantemente verticales, desplazando en cierta medida a los métodos de fotogrametría terrestre.

El Escáner Láser modifica el concepto del levantamiento topográfico que se venía realizando con las Estaciones Totales, pues mientras que con éstas se procede a la toma selectiva de los puntos representativos del objeto que permiten una representación precisa de su geometría, con los Escáner el método varía, procediendo a realizar un barrido completo del objeto, registrando un número muy elevado de puntos, configurando la nube que define completamente el objeto, y todo ello en un corto espacio de tiempo.

Esta forma de proceder, realizando una toma masiva de puntos, permite una actuación más pasiva en campo, pero por el contrario, debido a la gran cantidad de puntos tomados se generan ficheros de datos de gran tamaño, que requieren de software específico para su tratamiento con eficacia, y de un elevado tiempo de gabinete para eliminar puntos innecesarios.

Nos encontramos que los dispositivos para la medida de distancias utilizando el láser pueden utilizar dos tecnologías diferentes:

- a) Tiempo de vuelo o láser de impulsos: alcanzan mayores longitudes y toleran mejor las interrupciones de la línea.
- b) Diferencia de fase o cambio de fase: son más rápidos, alcanzan mayores precisiones, el ruido de la señal depende de la distancia y de las condiciones de iluminación.

En España, los nuevos equipos Escáner Láser para aplicaciones topográficas son presentados a comienzos del año 2003, siendo el equipo Cyrax 2500 uno de los primeros, comercializado por la empresa Leica Geosystem.

Debido, fundamentalmente, al alto coste de los equipos Escáner Láser, su expansión no ha sido revolucionaria, produciéndose una lenta entrada en el mercado desde hace, aproximadamente, cinco años. En el momento actual, una nueva generación de Escáner Láser (Figura 7) de menor tamaño y con mayor versatilidad,



con opciones de captura tanto de forma selectiva como de forma indiscriminada, aunando en definitiva las funciones de una Estación Total y de un Escáner Láser, y con precios algo más asequibles, intentan introducirse en el mercado.



Figura 7.- Trimble VX Spatial Station (tomada de catálogo Trimble)

A comienzos del año 2009, surge la posibilidad de realizar la Tesis Doctoral sobre la determinación de las precisiones efectivas alcanzadas por los nuevos instrumentos de medición Escáner Láser, por este motivo se inicia el trabajo de investigación con el fin de determinar la situación en que se encuentra este campo.

Las primeras publicaciones científicas relacionadas con los Escáneres Láser, se datan entrada la primera década del 2000, siendo más abundantes las que tratan sobre su utilización y aplicaciones que las relativas a su comportamiento y precisión. A continuación se resaltan algunos datos de interés.

En el año 2003, Claude E. Borg<sup>17</sup> realiza estudios sobre el planteamiento de la "metodología híbrida", consistente en apoyar el trabajo realizado por medio de Estaciones Totales, con la utilización de Escáner Láser. Desarrolla la actividad sobre elementos del Patrimonio, intentando obtener lo mejor de cada método. Las conclusiones de este trabajo podrían ser uno de los inicios para la configuración de los láseres escáner de última generación, mencionados anteriormente.

F. Gielsdorf, A. Rietdorf y L. Gruendig<sup>18</sup>, partiendo del modelo de errores instrumentales típicos de los escáneres láser, introducen un nuevo concepto para su calibración, creando un modelo funcional más potente para la determinación de los parámetros mediante un proceso automático de ajuste realizado en base a observaciones efectuadas sobre una serie de planos adecuadamente dispuestos en

<sup>17</sup> Assistant Director responsible for the Documentation División. Malta Center for Restoration.

<sup>18</sup> Miembros los tres de la Universidad Técnica de Berlín.



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

diferentes posiciones espaciales. Las mediciones se realizaron en el laboratorio del campo de pruebas de la Universidad Técnica de Berlín.

Omar-Pierre Soubra<sup>19</sup> y Alfredo Lorenzo<sup>20</sup>, en el año 2004 realizan estudios sobre la aplicación del Escáner Láser en derrumbes, hundimientos, terremotos, accidentes de circulación y aéreos, criminología, aplicaciones en la industria. Con el fin de determinar, documentar y reconstruir objetos y situaciones, sin profundizar en el tema de las precisiones. Estos trabajos han servido de orientación para muchas de las aplicaciones que se realizan actualmente con los Escáneres Láser.

Thomas A. Wunderlich<sup>21</sup>, ese mismo año, realiza estudios sobre sus posibilidades en el campo de la construcción: escáneres más adecuados; tratamiento en sistemas CAD y los problemas que se generan para manejar el gran número de puntos almacenados; modelos productivos para lograr rapidez, eficacia y economía.

J. Clark y S. Robson<sup>22</sup>, utilizando el Escáner Láser Cyrax 2500 de Leica, efectúan trabajos con el fin de determinar la exactitud en las medidas realizadas sobre superficies con diferentes colores y con variación en los ángulos de incidencia. Trabajan en laboratorio, con el escáner estacionado sobre trípode y con distancias que no superan los 10 metros. Su objetivo no es la determinación de precisiones, sino el comportamiento del láser en función de los cambios cromáticos y de la forma de incidir el rayo.

En las Jornadas de la FIG<sup>23</sup> celebradas en mayo de 2004, Derek D. Lichti<sup>24</sup> y Stuart J. Gordon<sup>25</sup> expusieron los estudios realizados sobre la propagación de los errores en la georreferenciación directa de los puntos en los trabajos realizados con escáner laser, para el registro de datos patrimoniales. Comienzan poniendo de manifiesto que, hasta la fecha, se ha prestado insuficiente atención a las fuentes de error que contribuyen sobre la incertidumbre del conjunto de puntos obtenidos con el escáner. Partiendo de este principio, acometen el estudio teórico para determinar los errores máximos que se pueden alcanzar. Para ello estudian los componentes físicos del haz láser, el ruido producido en la observación, las precisiones en el estacionamiento y nivelado del escáner, en la determinación de los ángulos horizontal y de elevación del rayo. Como conclusión, ponen de manifiesto que el estudio sobre la propagación de errores ha sido una víctima de la aparición, muy impresionante, de la tecnología Escáner Láser Terrestre, siendo el objetivo de este trabajo el retomar el estudio de la propagación de los errores, específicamente en los Escáner Láser, para que los usuarios se planteen expectativas realistas. Con este fin, determinaron

---

<sup>19</sup> Trimble.

<sup>20</sup> Trimble Europa.

<sup>21</sup> Prof. Dr. Ingeniero. Universidad Técnica de Múnich.

<sup>22</sup> Ambos miembros del Department of Geomatic Engineering. University College London.

<sup>23</sup> Federación Internacional de Geómetras.

<sup>24</sup> Department of Geomatics Engineering. The University of Newcastle, Australia.

<sup>25</sup> The University of Newcastle, Australia.



nuevos modelos probabilísticos para definir las incertidumbres en función de las fuentes de error.

Jaako Santala<sup>26</sup> y Vahur Joala<sup>27</sup>, realizan la calibración de un escáner láser terrestre modelo Cyrax 2500, con la finalidad de determinar la precisión e incertidumbres del sistema. El proceso se realizó en laboratorio, realizando las medidas sobre nueve marcas de control situadas en una pantalla con posibilidad de giro acimutal y desplazamiento en horizontal, lo que permite tomas con diferentes distancias y ángulos de incidencia. Para determinar las coordenadas de las marcas de control utilizaron dos teodolitos Wild T2000, en base a sus observaciones realizaron la referenciación de las obtenidas con el escáner láser.

En el año 2005, M<sup>a</sup>. A. Núñez Andrés, F. Buill Pozuelo<sup>28</sup> y F. Muñoz Salinas<sup>29</sup> realizaron estudios con el fin de determinar el comportamiento de los escáneres láser sobre objetos de diferente material, textura, color y con diferentes ángulos de incidencia, trabajando en exterior y en condiciones meteorológicas favorables y controladas. Dichos estudios los llevan a cabo con los escáneres láser Cyrax 2500<sup>30</sup> y LMS-Z420i<sup>31</sup>.

T. Kersten, H. Sternberg y E. Stierner<sup>32</sup> realizan las primeras experiencias con escáner láser terrestre aplicado en interiores para elementos del patrimonio. La técnica utilizada consiste en realizar el trabajo con dos instrumentos diferentes (GS100<sup>33</sup> e Imager 5003<sup>34</sup>), analizando los resultados obtenidos y realizando estudios comparativos.

T. Kersten, H. Sternberg y K. Mechelke<sup>35</sup> realizan investigaciones con el objetivo de determinar la precisión alcanzada por el escáner láser GS100<sup>36</sup>, para ello proceden a contrastar medidas realizadas sobre esferas y placas de puntería distribuidas en un campo de pruebas establecido en el hall de la facultad, las cuales fueron referenciadas mediante observación con una estación total Leica TDA 5005. Procedieron igualmente a contrastar el comportamiento sobre superficies de diferentes colores y materiales.

---

<sup>26</sup> Instituto de Geodesia. Universidad Tecnológica de Helsinki.

<sup>27</sup> Leica Nilomark Oy (Finlandia).

<sup>28</sup> Ambos miembros del Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña.

<sup>29</sup> Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

<sup>30</sup> Escáner Láser de la casa Leica.

<sup>31</sup> Escáner Láser de la casa Riegl.

<sup>32</sup> Miembros los tres del: Department of Geomatics. Hamburg University of Applied Sciences. Germany.

<sup>33</sup> Escáner Láser de la casa Mensi.

<sup>34</sup> Escáner Láser de la casa Zoller and Fröhlich.

<sup>35</sup> Miembros los tres del: Department of Geomatics. Hamburg University of Applied Sciences. Germany.

<sup>36</sup> Escáner Láser de la casa Mensi.



## ENTORNO DE REFERENCIA

---

Derek D. Lichti<sup>37</sup>, en el año 2006, procede a realizar estudios de análisis y calibración sobre el modelo de escáner láser Faro 880, elaborando los modelos matemáticos de error. El trabajo es desarrollado en laboratorio, observando sobre placas de puntería colocadas en paredes, suelo y techo y con una temperatura controlada entre 22°C y 23°C.

En el año 2007, H. Sternberg y T. Kersten<sup>38</sup> realizan estudios comparativos y análisis de resultados utilizando cuatro sistemas de escaneo diferentes, dos de ellos miden las distancias por el método de tiempo de vuelo (GS 101 de Trimble y HDS 3000 de Leica) y los otros dos utilizan el de diferencia de fase (Imager 5003 de Zoller and Fröhlich y LS 880 HE de Faro), lo que permite determinar en qué situaciones se comporta mejor cada uno de ellos.

En las jornadas de trabajo realizadas por la FIG<sup>39</sup> en junio de 2008, T. Kersten, K. Mechelke, M. Lindstaedt y H. Sternberg<sup>40</sup> exponen los trabajos realizados en relación con las nuevas investigaciones que han acometido sobre la precisión geométrica de los escáner láser, utilizando en este caso siete equipos diferentes, cuatro que utilizan el método de exploración de tiempo de vuelo (Trimble GX; Leica ScanStation 1; Leica ScanStation 2; Riegl LMS-Z420i) y tres que utilizan el método de diferencia de fase (Leica 5006; Faro LS880 HE; Zoller and Fröhlich Imager 5006), lo que permite nuevos estudios comparativos del comportamiento de los diferentes sistemas de escáner. El trabajo fue desarrollado a lo largo de tres campañas de observación realizadas en el campo de pruebas establecido en el hall de la facultad.

---

<sup>37</sup> Department of Spatial Sciences, Curtin University of Technology. Australia

<sup>38</sup> Miembros ambos del Department of Geomatics. Hamburg University of Applied Sciences. Germany.

<sup>39</sup> Federación Internacional de Geómetras.

<sup>40</sup> Miembros los cuatro del Department of Geomatics. Hamburg University of Applied Sciences. Germany.



## **3.-PROCESO DE TRABAJO**





### 3. PROCESO DE TRABAJO

#### 3.1. ENTORNO

Fijado el objetivo principal, consistente en la determinación de la precisión alcanzada por cada uno de los escáneres láser citados, para unas condiciones de trabajo reales en un entorno abierto, afectado por tanto de los condicionantes atmosféricos, en contraposición a los habituales calibrados realizados en laboratorio en condiciones favorables y controladas, se hace necesario establecer e implantar un marco de referencia geométrico que permita determinar las citadas precisiones con un grado de certidumbre apropiado al caso. Dicho marco se ha materializado mediante una red topográfica local de alta precisión, conformada por pilares de estacionamiento y un conjunto de placas de puntería convenientemente repartidas sobre las que se realizarán las colimaciones de contraste, siguiendo el modelo clásico habitualmente utilizado para el control de deformaciones y las observaciones de alta precisión.

El lugar elegido para llevar a cabo la construcción de la red, es el terreno situado en la zona sur de la Escuela Politécnica Superior de Ávila (Figura 8) y que se encuentra dentro del campus perteneciente a la Universidad de Salamanca.



Figura 8. - Panorámica del entorno de trabajo



## PROCESO DE TRABAJO

---

Las razones fundamentales que motivaron la elección de este lugar son: que presenta condiciones adecuadas para el fin que se pretende; la proximidad lo hace muy cómodo, dado la cantidad de material que es necesario trasladar en el caso de los escáneres láser; al ser terreno de la Universidad, es posible la construcción de los pilares de observación, quedando como red permanente de control para otros trabajos que se realicen en la Escuela Politécnica Superior de Ávila.

Una vez decidido el entorno de trabajo se realizó, sobre el terreno, el estudio para determinar la posible situación de los pilares de estacionamiento, con el fin de proyectar una red con triángulos lo más equiláteros posible, evitando en todo caso excesivas diferencias relativas en las longitudes de sus lados, así como ángulos en los vértices que no estén por debajo de  $25^{\circ}$  ni superen los  $125^{\circ}$ , evitando objetos que interrumpen las visuales entre pilares, y alejados de estos para que no impidan o reduzcan las posibles observaciones realizadas con receptores GPS.

Igualmente se estudia la posible distribución de las placas de puntería sobre la fachada sur de la Escuela y la fachada oeste del Salón de Actos de la misma, con el objeto de obtener un reparto variado de visuales y con garantías de que se puedan observar todas las placas desde la totalidad de los vértices de la red.

La configuración mínima de la red de observación, para la finalidad que se pretende, debe de estar conformada por tres vértices. Con el fin de garantizar la determinación de las precisiones métricas buscadas, se decide establecer una red de observación compuesta por cuatro pilares de control, lo que permite adoptar formas poligonales enlazadas con diagonales, obteniendo el cierre de cuatro triángulos.

Decidida la configuración de la red de observación, el siguiente paso fue replantear la situación de los pilares de estacionamiento y realizar la excavación para la cimentación.



Figura 9. - Excavación para la cimentación de los pilares.



Cada excavación se ha efectuado hasta una profundidad de cimentación suficiente para encontrar terreno consistente que garantizase la estabilidad de cada uno de los pilares, rondando las mismas entre los 40 y los 60 cm. a los cuales se añadió 10 cm. sobre la rasante de terreno, utilizando encofrados para ello, con el fin de que queden sobre-elevados respecto de él. Esto permite obtener unas bases de cimentación con una componente vertical mínima de 50 cm., teniendo en planta forma cuadrada de 1,10 metros de lado.

Para cada pilar se construyó una armadura metálica, solidaria con la parrilla que sirve para el armado de la zapata de cimentación, siendo colocadas en las respectivas excavaciones cuidando de que el pilar quede en posición vertical, utilizando un encofrado tubular de 30 cm. de diámetro para el hormigonado del pilar.



Figura 10.- Armado y encofrado de pilares.

A continuación se procedió al hormigonado de las zapatas y los pilares, comprobando en todo momento la verticalidad de estos.



Figura 11.- Hormigonado de pilares

Los pilares tienen una altura respecto de la base de 1,20 m. y un diámetro de 0,30 m., en la fase de fraguado del hormigón se colocó, en la parte superior de cada uno de ellos, una placa de centrado forzado (Figura 12) que dispone de unas patillas





El elemento que ha de permanecer fijo en la pared debe estar fabricado de un material que resista las inclemencias meteorológicas sin sufrir la más mínima alteración. Para ello se han encargado unos soportes, en forma de pletinas, fabricados de un material de aleación que garantice su estabilidad material y dimensional, impidiendo además su oxidación. Disponen de dos orificios de paso para los tornillos que permiten fijarlas sobre cualquier paramento.



Figura 14.- Soportes de fijación

Sobre estos elementos fijos se procederá a colocar las placas de puntería cada vez que se realice una observación, por este motivo, al ser dichas placas móviles, es necesario garantizar que ocupen siempre la misma posición, con la precisión exigida, para así eliminar el error de estacionamiento de la señal. Para lograr este propósito, se procede a emparejar de forma inequívoca cada placa de puntería con su pletina correspondiente, mediante una numeración correlativa. De esta manera se evitan las equivocaciones o intercambios entre ellas.

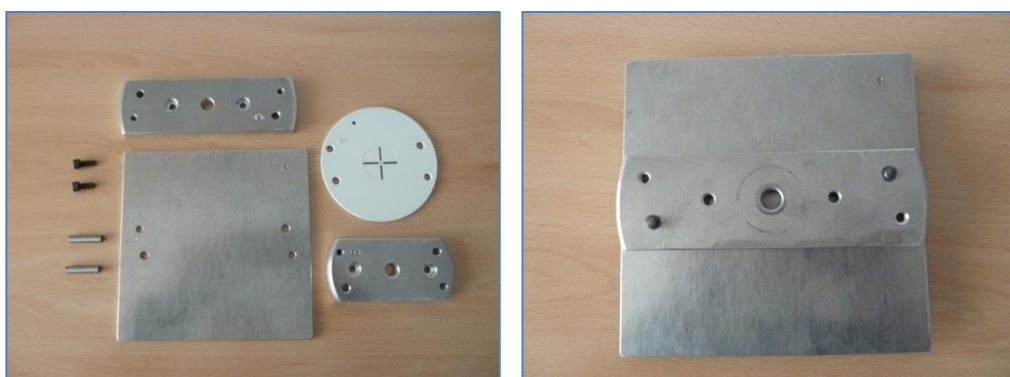


Figura 15.- Soportes, placas y bulones de centrado forzado

En cada pareja así formada, se procede a perforar cuatro orificios coincidentes en ambos elementos. Dos de los cuales tienen por objeto fijar de forma solidaria los dos elementos durante los períodos de observación mediante tornillos, para ello dichos orificios, en las placas, tienen el diámetro de los tornillos de fijación,



PROCESO DE TRABAJO

y en las pletinas tienen labrado el paso de rosca que permiten enroscar dichos tornillos, consiguiendo así que formen un único elemento. El otro par de orificios tienen la finalidad de garantizar el centrado forzado de cada placa de puntería sobre su pletina, para ello se han realizado sobre ambas, con la máxima precisión, de forma cilíndrica y exactamente iguales, cuyo diámetro coincide a su vez con el de unos pernos torneados con la misma precisión, que permiten atravesarlos sin producirse holgura alguna, haciéndose necesario el lubricado para ello.

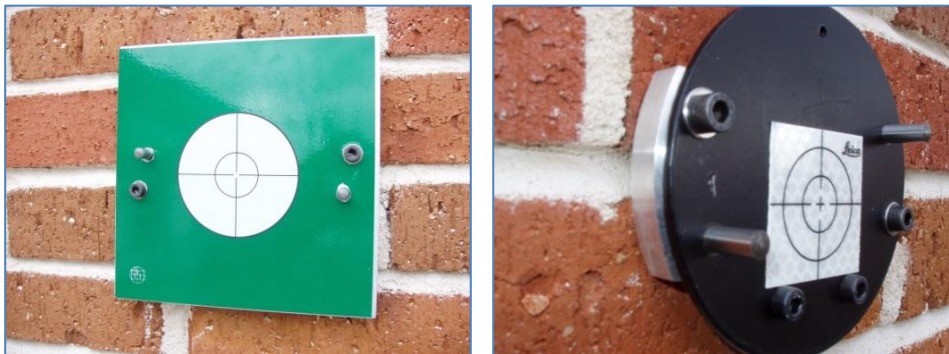


Figura 16.- Placas de puntería móviles sobre soportes fijos

Tanto las pletinas como las placas de puntería, se han fabricado en materiales específicos que permitan garantizar las precisiones predeterminadas, realizando distintos tipos de señales de puntería y procediendo a la adaptación de algunas placas para poder colocar sobre ellas las esferas que utilizan los escáneres láser como elementos para determinar coordenadas con precisión, que utilizan como referencia para fusionar diferentes levantamientos y/o estacionamientos. De esta forma se podrán realizar mediciones precisas sobre esferas colocadas sobre las placas, garantizando su estacionamiento con centrado forzado. También se han fabricado accesorios que permiten colocar las citadas esferas sobre los pilares, garantizando igualmente su centrado.



Figura 17.- Centrado forzado de esferas





En cada campaña de observación se procede a colocar las señales de puntería, siendo retiradas al finalizar la misma.

En base a las especificaciones de los escáneres láser, se opta por tres tipos diferentes de señales de puntería, dianas con diferente fondo y esferas.

Analizadas las características geométricas de la observación, se decide colocar dieciocho placas de puntería, agrupadas en seis bloques compuestos cada uno de ellos por tres señales, una de cada tipo. Los seis bloques se distribuyen a su vez en distintas zonas del entorno, para obtener diferentes configuraciones en las visuales.

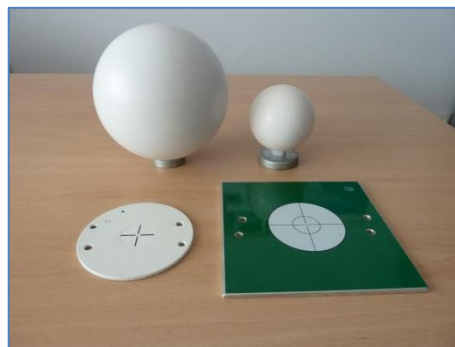


Figura 18.- Tipos de señales

### 3.2. PLANIFICACIÓN

Como se ha indicado en apartados anteriores, el objeto principal que se persigue con esta Tesis es la determinación de la precisión efectiva que se obtiene en las mediciones realizadas con dos modelos de escáneres láser, en unas condiciones de trabajo reales. Para ello se ha establecido un entorno controlado de trabajo consistente, tal como ha quedado expuesto en el apartado anterior, en una serie de puntos fijos que permitan realizar mediciones en diferentes campañas de trabajo, y de esta manera, por medio de métodos comparativos, contrastar los resultados y determinar las citadas precisiones.

Los mencionados puntos fijos que configuran el entorno de trabajo, se clasifican en dos categorías:

- a) Los pilares de observación, constituyen la red principal del trabajo, son los puntos destinados al estacionamiento de los instrumentos de medida (Estación Total; Escáneres), están contruidos en hormigón armado con estructura metálica y bien cimentados para garantizar su estabilidad material, dimensional y espacial. Están equipados con dispositivo de centrado forzado, que garantizan el estacionamiento de forma repetitiva y precisa en el mismo punto.
- b) Las señales de puntería, constituyen la red de puntos fijos observados, están constituidas por señales móviles con sistema de centrado forzado para garantizar su reposición exacta e inequívoca en todas las campañas de trabajo, garantizando, igualmente su estabilidad.



## PROCESO DE TRABAJO

---

Todo el conjunto está diseñado de forma análoga a los utilizados en los procesos de auscultación y control de deformaciones, en los que se persigue la determinación de magnitudes muy pequeñas con índices de precisión muy altos.

El proceso matemático requiere tener cada punto observado, como mínimo desde otros dos de coordenadas conocidas (base topográfica), para que el sistema de ecuaciones planteado se pueda resolver. Según esto, bastaría con implantar dos pilares en la zona de trabajo, lo que permitiría calcular las coordenadas de todas las placas de puntería. Esto daría origen a una observación simple que impide realizar comprobaciones y determinar los posibles errores cometidos en cada toma o campaña, quedando dichas operaciones limitadas a la comparación de resultados obtenidos entre cada campaña.

Con el fin de poder realizar comprobaciones, ya no sólo entre campañas, sino en cada una de ellas, para verificar los resultados obtenidos y determinar posibles errores, se opta por colocar más pilares de los dos imprescindibles. Dadas las dimensiones del entorno de trabajo, hubiese sido suficiente con la implantación de tres pilares configurando una red básica triangular, realizando la observación de los tres ángulos y los tres lados de la red lo cual permitiría efectuar el ajuste de la misma, además cada placa de puntería sería observada desde tres puntos conocidos, los que implica tener redundancia de observaciones.

En base a las características del entorno de trabajo, de las observaciones planteadas, y con el objetivo de alcanzar la máxima precisión, se opta finalmente por establecer una red en forma cuadrangular, por considerar que es la solución que mejor se adapta esta situación. Al estar constituida por cuatro pilares, procediendo a la observación completa desde cada uno de ellos de los restantes, configurando así una red con cuatro triángulos, con medidas redundantes que permiten incrementar el número de ecuaciones de condición, logrando mayores precisiones.

Desde los cuatro pilares se realizarán observaciones a todas las señales de puntería, esta redundancia permite obtener comprobaciones y establecer valores estadísticos fundamentales para las compensaciones, tales como el valor más probable, las matrices varianza-covarianza, las elipses de error, etc... que permiten determinar la precisión con que se han realizado las observaciones, desechando las intersecciones que no cumplan.

La red de apoyo formada por los pilares, se ha diseñado y construido de manera que los lados del cuadrilátero se aproximen a paralelas y perpendiculares de las fachadas donde se colocarán las placas de puntería. Para denominar los cuatro pilares se han utilizado los números correspondientes a las cuatro primeras unidades de millar (1000, 2000, 3000 y 4000 respectivamente).



Las placas de puntería se han colocado de la siguiente forma: tres grupos sobre la fachada sur de la Escuela Politécnica Superior de Ávila, con tres señales cada uno, y los otros tres grupos sobre la fachada oeste del Salón de Actos de dicha Escuela. Para la denominación de cada grupo de señales, se han utilizado las seis primeras centenas (de 100 a 600), y tres cifras de unidades para cada una de las respectivas señales de puntería, utilizando el criterio siguiente: 0 para señales de puntería sobre fondo verde; 1 para las de fondo negro; 2 para las esferas (ej.: el número 100 se refiere a la placa de puntería con fondo verde del primer grupo de señales; el 301 hace referencia a la placa de puntería con fondo negro del tercer grupo; el 603 indica la esfera del sexto grupo de señales).



Figura 19.- Grupo de señales de puntería

Establecidas las dos redes, la de pilares o apoyo y la de señales de puntería, se está en disposición de iniciar las observaciones correspondientes. Se pretende determinar las precisiones de trabajo para situaciones con diferentes condiciones meteorológicas, por este motivo se decide realizar tres campañas de campo. La primera en invierno, en condiciones de bajas temperaturas. La segunda en primavera, para una situación más suave. La tercera en verano, con temperaturas elevadas.

En cada una de las campañas se realizará la observación completa de ambas redes, utilizando metodología clásica, basada en intersección de visuales, medida electromagnética de distancias, triangulación y trilateración, tal y como se describe en el punto 3.3. Observación por Topografía Clásica. Con esto se persigue el objetivo de verificar la estabilidad de la red de apoyo, constituida por los pilares de estacionamiento, detectando si se producen variaciones sobre la misma. De forma análoga se verificará la red formada por las señales de puntería, determinando igualmente su estabilidad.

Para las observaciones a realizar con ambos escáneres, tal y como se describe en el apartado 3.4, y dado que lo que se pretende es analizar su comportamiento para condiciones habituales de utilización, se procederá a realizar una toma de datos, en cada campaña, estacionando sobre dos pilares (4000 y 2000) permitiendo estudiar su precisión para diferentes distancias de toma, así como diversos ángulos de incidencia sobre las señales de puntería.



### 3.3. OBSERVACIÓN POR TOPOGRAFÍA CLÁSICA

Todo trabajo topográfico, con independencia de la importancia que tenga o de la tolerancia permitida, requiere de la realización de un proyecto previo a su ejecución material para prever, no solo sus plazos de ejecución y costes del mismo, sino también, y principalmente, las características técnicas, instrumentación, metodología, etc... que deban tenerse en consideración para cumplir los objetivos marcados. Lógicamente esto se puede hacer extensivo a toda actividad, y especialmente al ámbito de la técnica.

Dependiendo de la precisión requerida o del error máximo permitido, se determinará el método de trabajo y la instrumentación adecuados para alcanzarlos. También es sabido que, todos los instrumentos, aún los de más alta gama y más perfeccionados, adolecen de inexactitudes en sus mediciones. Además, el método de trabajo no está nunca libre de errores, y por descontado, el operador con sus limitaciones humanas, comete errores inevitables en las observaciones realizadas. Por todo ello, toda operación de medida u observación que se realiza está afectada de errores, haciendo necesario el conocimiento y aplicación de la Teoría de Errores, que permite realizar el estudio de los mismos, determinar sus cuantías, así como su probabilidad de suceso.

Es cometido del Ingeniero proyectista, optimizar todos los recursos a su alcance con el objetivo de elaborar las instrucciones y mecanismos necesarios para lograr el objetivo previsto sin sobrepasar los límites de error marcados como máximos, valor que se denomina tolerancia.

Dado que el trabajo desarrollado en esta Tesis persigue la determinación de las precisiones efectivas que alcanzan los escáneres láser, y para ello se toma como patrón de referencia las observaciones y los resultados obtenidos por métodos de Topografía Clásica, es imprescindible garantizar que éstos superen la precisión que se pretende determinar.

Los errores cometidos en las observaciones topográficas tienen diferentes procedencias, por un lado están los debidos al propio instrumento de medida, o errores instrumentales, los debidos a las condiciones de observación, determinados en función del método de trabajo elegido, así como de causas o fenómenos naturales, dentro de los cuales se encuentran los debidos a la modificación del índice de refracción originado por cambios en las condiciones meteorológicas, y los errores personales o "ecuación del observador", que se asocia a las características físicas de éste, su destreza y técnica operativa.

Todos ellos tienen pautas de comportamiento diferentes, pues unos dependen de la precisión y del grado de ajuste del aparato, otros de la metodología seleccionada, así como del control y conocimiento que se tenga sobre los procesos



aplicados, y por último el inevitable y difícil de determinar factor humano. Todos ellos actúan de forma independiente pero conjunta, siendo imposible cuantificar la parte exacta que le corresponde a cada uno en el cómputo final del error. Por otro lado, y como ya es sabido, tampoco es posible conocer el error verdadero cometido, en cuyo caso bastaría sumárselo a la medida observada para determinar la verdadera. Se deduce de la Teoría de Errores, que la medida verdadera no se llega a conocer, obteniendo el valor más probable, aproximándonos a él tanta más, cuanto más precisa sea la instrumentación, más estricto sea el método de operar y más controlados estén los factores externos y humanos.

El objetivo que se pretende con las observaciones realizadas por Métodos Clásicos es alcanzar precisiones del orden de los 2 mm, para lo cual se dispone de la Estación Total TCA 2003 de Leica, que alcanza precisiones en la medida angular de 0,15mgon, esto garantiza que para distancias inferiores a 100 m, situación que se cumple para el entorno de trabajo definido, los errores transversales repercutidos están por debajo de los 0.3 mm. Para la medición de distancias, la precisión que alcanza es de 1mm+1ppm, lo que garantiza que el error máximo no excede de 1.1 mm.

Como ya se ha indicado anteriormente, se ha establecido una red local de apoyo constituida por cuatro pilares provistos de sistemas de centrado forzado, esto garantiza que el error de estacionamiento, tanto para los instrumentos de medida como para las señales de puntería, esté por debajo del milímetro. La red tiene forma de cuadrilátero, que con sus diagonales, puede descomponerse en cuatro triángulos, los cuales se ha intentado que sean lo más regulares posible, tendiendo a equiláteros, por lo que se han evitado excesivas diferencias relativas en las longitudes de sus lados al tiempo que los ángulos sean próximos a un tercio de  $200^{\circ}$ , todo ello ajustándose de la manera más conveniente al entorno de trabajo y a la finalidad que se persigue.

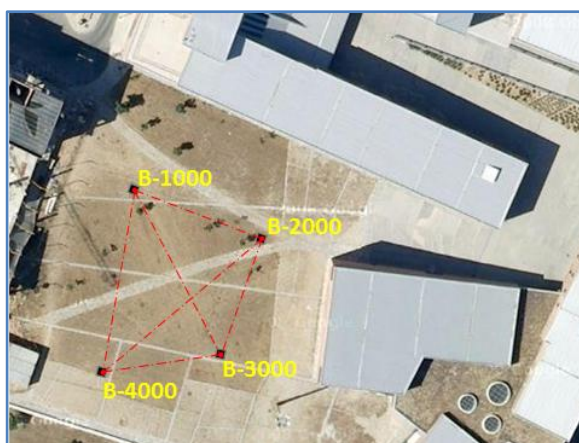


Figura 20.- Red de apoyo (sobre Image Digital Globe GeoLye)



PROCESO DE TRABAJO

---

Referente al proceso de observación, aplicando el método de vueltas de horizonte con la Estación Total TCA2003 desde cada uno de los pilares, se realizan tres series angulares completas, en círculo directo e inverso, al resto de los pilares. Como es sabido, en la práctica, un número alto de redundancias no suele mejorar ostensiblemente los resultados obtenidos, aumentando, en ocasiones innecesariamente, el tiempo de trabajo en campo, para determinar sensibles mejoras en la precisión que resultan ser, en ocasiones, más aparentes que reales. Es buena norma de actuación el optimizar los procesos para tratar de lograr la precisión prescrita con el menor número de iteraciones necesarias para su cálculo, lo cual se consigue con un buen planteamiento metodológico desde la toma de datos en campo.

Con el objetivo de mejorar la precisión, se dispone de cuatro teodolitos Wild T1 a los que se numera del uno al cuatro, siendo asignado cada uno de ellos a su pilar correspondiente, verificando en todas las campañas que se estacionan siempre cumpliendo tal asignación, de esta manera las visuales se efectúan siempre mediante el procedimiento de autocolimación entre instrumentos, lo que garantiza resultados óptimos.



Figura 21. - Autocolimación angular

Para determinar las distancias de todas las bases que conforman la red, se dispone de cuatro bases nivelantes, numeradas y asignadas inequívocamente a cada uno de los pilares, sobre las que se estaciona el prisma (Figura 22), procediéndose al registro de seis medidas (tres en CD y otras tres en CI) desde cada uno de los pilares al resto, permitiendo obtener medidas redundantes, tanto directas como recíprocas.



En el proceso de cálculo de la red, al disponer de observaciones redundantes, se incrementa el número de ecuaciones de condición, tanto de ángulos (triángulos) como de lados, lo que permite alcanzar mayores precisiones y valores estadísticos más ajustados, mejorando la compensación de los resultados.



Figura 22.- Prisma Leica de alta precisión.

Debido a que los escáneres láser no pueden efectuar mediciones sobre los prismas convencionales de las estaciones totales, haciéndolo sobre esferas, se hace necesario determinar el ajuste de la red estacionando éstas sobre los pilares, lo que permite determinar su posicionamiento para poder verificar las medidas realizadas por los escáneres. Cada uno de los equipos de escáner sobre los que se van a realizar los trabajos de contrastación, disponen de su propio conjunto de esferas, siendo de distinto tamaño, las del equipo Faro tiene un diámetro de 145 mm, mientras que las de la marca Trimble son de 76.2 mm de diámetro.



Figura 23.- Esferas de medición Trimble y Faro.

De forma análoga a como se ha hecho en los casos anteriores, se ha procedido a numerar del uno al cuatro cada tipo de esferas, colocando siempre la respectiva esfera en su pilar correspondiente en todas y cada una de las observaciones que se realicen, con el fin de paliar errores sistemáticos. Se procede a realizar la observación, mediante vueltas de horizonte, realizando tres series completas (CD y CI), colimando por tangencias laterales (izquierda-inferior y derecha-superior), desde cada uno de los pilares al resto, obteniendo datos redundantes. Este trabajo se realiza primeramente para un tipo de esfera, y se repite nuevamente para el otro.



El cálculo de cada una de las redes, conformadas por las correspondientes esferas, se realiza en función de las ecuaciones generadas por sus respectivas observaciones angulares, y ajustándose sobre la red observada utilizando Wild T1 y prismas. Las coordenadas ajustadas y compensadas de estas esferas servirán como puntos de control para determinar las precisiones alcanzadas por los escáneres láser, al ser consideradas como objetos en los levantamientos realizados por éstos en cada una de las campañas, permitiendo realizar diferentes estudios comparativos.

Las señales de puntería se han repartido de forma homogénea en el entorno de trabajo, formando grupos de tres placas cada uno, con el objeto de disponer de diferentes condiciones de observación, tanto en distancias como en ángulos de incidencia de las visuales, estando dotadas igualmente de dispositivos de centrado forzado que garantizan su reposición con máxima exactitud en el mismo punto. Configuran, por tanto, una red secundaria de puntos que serán observados desde la red principal de pilares mediante determinaciones angulares únicamente, procediendo a su cálculo por métodos de intersección directa múltiple. Desde cada pilar de estacionamiento se realizarán tres series completas de observaciones angulares, en círculo directo e inverso, sobre todas y cada una de las señales de puntería, mediante el método de vueltas de horizonte, de esta forma, cada diana o esfera dispone de seis intersecciones angulares para su cálculo, descartándose en el proceso aquellas cuyos ángulos en el vértice tengan valores por debajo de los 25 grados centesimales.

Esta nueva red formada por las señales de puntería (dianas y esferas), una vez calculada, compensada y ajustada, permitirá disponer de nuevos puntos de control, que siendo considerados como puntos concretos para los levantamientos realizados con los escáneres láser en las sucesivas campañas, dando origen a diferentes estudios comparativos entre los resultados obtenidos, y en consecuencia obtener valoraciones sobre las precisiones alcanzadas por los escáneres.

A partir de las precisiones de la estación total TCA-2003 y de la metodología aplicada, se realiza el estudio de las tolerancias previstas, determinando las correspondientes elipses de error. Para la red de apoyo, con mediciones angulares y de distancias se obtiene una tolerancia de 2.5 mm. Para las observaciones por intersección angular directa, sobre las esferas de la red de apoyo y sobre la red de control, se obtiene un valor de 4.5 mm para el semieje mayor de las elipses de error. Todas las distancias se encuentran por debajo de los 70 metros.

### 3.3.1. TRABAJO DE CAMPO

La primera campaña se realiza entre finales de febrero y mediados de marzo de 2010, procediendo a estacionar en todos los pilares de forma consecutiva, siguiendo el siguiente método de trabajo:





- Se colocan todas las señales de puntería (dianas y esferas) en sus respectivos emplazamientos, de acuerdo con la numeración realizada al efecto, que asegura su correspondencia sin ambigüedades.
- Se estaciona la estación total Leica TCA2003 en el pilar número 1000.
- En cada uno de los pilares restantes se estaciona el correspondiente teodolito Wild T1, según la numeración establecida.
- Se toma como referencia de partida la visual correspondiente al pilar más alejado (en este caso la diagonal sobre el pilar número 3000), realizando autocolimación sobre el Wild T1, procediéndose al registro de los valores determinados por las lecturas azimutal y cenital.
- Iniciándose la 1ª serie, mediante vuelta de horizonte en círculo directo y en sentido hacia la derecha, registrando de forma ordenada y secuencial (Tabla 1) el resto de pilares y señales de puntería (dianas y esferas) hasta completar la vuelta, se procede a invertir el instrumento, realizando la vuelta de horizonte en círculo inverso y en sentido hacia la izquierda, hasta finalizar colimando sobre el mismo pilar donde se comenzó.

FILE01.GSI							
1	110001+00003000	21.322+17516832	22.322+10224943	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
2	110002+00004000	21.322+21519629	22.322+10312317	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
3	110003+00001000	21.322+01131372	22.322+09364739	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
4	110004+00000101	21.322+01183299	22.322+09270119	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
5	110005+00000102	21.322+01244784	22.322+09371099	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
6	110006+00000103	21.322+01264637	22.322+09351216	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
7	110007+00000200	21.322+08261245	22.322+09629278	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
8	110008+00000201	21.322+08313191	22.322+09666788	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
9	110009+00000202	21.322+08316431	22.322+09613961	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
10	110010+00000203	21.322+08344585	22.322+09585706	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
11	110011+00000300	21.322+09841677	22.322+09655765	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
12	110012+00000301	21.322+09814068	22.322+09653192	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
13	110013+00000302	21.322+09838908	22.322+09711851	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
14	110014+00000303	21.322+09849724	22.322+09701205	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
15	110015+00002000	21.322+12857766	22.322+10036281	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
16	110016+00000400	21.322+12778015	22.322+09742818	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
17	110017+00000401	21.322+12855737	22.322+09780386	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
18	110018+00000402	21.322+12789284	22.322+09820060	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
19	110019+00000403	21.322+12811606	22.322+09797572	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
20	110020+00000500	21.322+14648907	22.322+09912008	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
21	110021+00000501	21.322+14715947	22.322+09912759	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
22	110022+00000502	21.322+14691406	22.322+09869325	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
23	110023+00000503	21.322+14701561	22.322+09858700	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
24	110024+00000600	21.322+15585492	22.322+09912376	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
25	110025+00000601	21.322+15548423	22.322+09942022	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
26	110026+00000602	21.322+15583477	22.322+09967811	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
27	110027+00000603	21.322+15601686	22.322+09949765	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
28	110028+00000600	21.322+35585526	22.322+30087826	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
29	110029+00000601	21.322+35548510	22.322+30058124	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
30	110030+00000602	21.322+35583471	22.322+30032456	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
31	110031+00000603	21.322+35601648	22.322+30050505	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
32	110032+00000500	21.322+34648917	22.322+30088296	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000
33	110033+00000501	21.322+34715979	22.322+30087366	31..08+00000000	51..1.+0000+000	32..18+00000000	59..16+00000000

Tabla 1.- Libreta de registro de datos (tomada de Leica TCA2003)

- Se determina el cierre angular de la serie (Tabla 2), comparándose con la tolerancia previamente calculada, en el caso de no resultar tolerable, se procede a repetir la serie completa.



## PROCESO DE TRABAJO

---

- Si la serie está dentro de tolerancia, se procede a realizar la siguiente, hasta completar las tres, siguiendo las mismas pautas de trabajo.
- Terminadas las tres series, se retiran los Wild T1, pasando a situar la base de nivelación correspondiente en cada pilar, según numeración al efecto, y sobre cada una de ellas se coloca el prisma de alta precisión midiendo las distancias de las tres visuales, para ello se realizan tres mediciones en círculo directo y otras tres en círculo inverso a cada uno de los pilares, se observa que las diferencias entre ellas no superan la décima de milímetro.
- Se registran las condiciones meteorológicas, presión, temperaturas seca y húmeda (Tabla 3), con el objeto de realizar, en la fase de cálculo, las correcciones correspondientes.
- A continuación se retiran las bases de nivelación y se coloca en cada pilar el respectivo dispositivo de centrado forzado diseñado para colocar las esferas de los escáneres. Estos dispositivos se han numerado, igualmente, para evitar su intercambio y garantizar su colocación inequívoca siempre sobre el mismo pilar.
- Sobre los citados dispositivos se colocan las esferas de referencia de que dispone el escáner Trimble, cuyo diámetro es de 76.2 mm, las cuales también han sido numeradas para garantizar que se sitúan siempre en el mismo pilar. A continuación se realiza la observación sobre las mismas, consistente en tres series completas, con vueltas de horizonte en círculo directo e inverso, realizando las colimaciones por tangencias (derecha, izquierda, superior e inferior) con el fin de determinar, en el proceso de cálculo, las coordenadas de sus centros.
- Finalizada la observación sobre dichas esferas, son sustituidas por las correspondientes al escáner Faro, cuyo diámetro es de 145 mm., procediendo de igual forma a la descrita en el párrafo anterior. Comprobando siempre que cada serie cierra dentro de la tolerancia angular requerida, antes de darla por buena y pasar a la siguiente observación.

Finalizado todo este proceso, se repite la misma secuencia para los restantes estacionamientos sobre los pilares (2000, 3000 y 4000), con lo que se finaliza la primera campaña de toma de datos en campo.

La segunda campaña se realiza entre los días 17 y 19 de mayo de 2010, con unas condiciones meteorológicas más suaves, repitiendo todo el proceso de campo igual que en la campaña anterior.

La tercera campaña se realiza los días 5 y 6 de julio de 2010, con temperaturas más elevadas, y repitiendo nuevamente el proceso siguiendo las mismas pautas de observación.



Se procede igualmente a realizar una campaña de observación, el día 21 de mayo de 2010, con receptores GPS Leica System 1200 de doble frecuencia, estacionados mediante centrado forzado, y durante quince minutos, sobre cada uno de los cuatro pilares. Se resuelven las líneas base por el procedimiento estático relativo a partir de la estación de referencia situada en la propia Escuela Politécnica Superior de Ávila. Esta observación permite obtener sus coordenadas cartesianas sobre el sistema de referencia ETRS89. Transformadas a la proyección UTM sobre el elipsoide GRS80, servirán como coordenadas de partida en el proceso de ajuste.

Con esto se cierra el ciclo de observaciones en campo por métodos clásicos, al considerar que se cubre el margen habitual de las condiciones atmosféricas de los trabajos topográficos, permitiendo evaluar, si se produce, el diferente comportamiento en los equipos de medida, dado que se realizan igualmente mediciones con los escáneres y en los mismos períodos de tiempo, como se describirá más adelante.

Cierres angulares de vueltas de horizonte (seg. centesimales)				
1ª campaña	1ª serie	2ª serie	3ª serie	Tolerancia
B-1000	6,1	5,4	5,6	27,9
B-2000	-10,0	-15,9	-11,5	25,4
B-3000	17,0	15,8	-14,3	27,9
B-4000	17,9	12,1	15,3	25,4
2ª campaña	1ª serie	2ª serie	3ª serie	Tolerancia
B-1000	-4,8	3,1	-4,2	27,9
B-2000	-19,6	8,0	-8,9	25,4
B-3000	8,0	-7,6	-13,0	27,9
B-4000	8,0	15,8	16,4	25,4
3ª campaña	1ª serie	2ª serie	3ª serie	Tolerancia
B-1000	-0,6	-8,7	-8,8	27,9
B-2000	-2,6	2,3	-3,0	25,4
B-3000	0,9	-1,6	-0,1	27,9
B-4000	5,9	8,7	9,2	25,4

Tabla 2. - Cierre acimutal de las series

Campaña	Estación	Fecha	Hora	Ts(°C)	Th (°C)	Pres (mm)	Estado
1ª	B-1000	11-mar-10	11:30	1,5	0,5	746	nublado
1ª	B-2000	17-mar-10	13:15	13,0	7,5	753	despejado/sol
1ª	B-3000	18-mar-10	12:20	11,5	8,0	752	cubierto/viento
1ª	B-4000	19-feb-10	12:30	3,5	2,5	737	cubierto
2ª	B-1000	17-may-10	12:30	17,0	12,5	750	despejado/sol
2ª	B-2000	17-may-10	13:40	18,0	14,0	750	despejado/sol
2ª	B-3000	18-may-10	11:50	17,5	10,5	750	despejado/sol
2ª	B-4000	18-may-10	13:00	19,0	11,5	749	despejado/sol
3ª	B-1000	5-jul-10	12:00	28,0	20,0	745	despejado/sol
3ª	B-2000	5-jul-10	13:15	28,5	19,5	745	despejado/sol
3ª	B-3000	6-jul-10	11:15	27,0	18,5	745	despejado/sol
3ª	B-4000	6-jul-10	12:30	28,5	19,5	743	despejado/sol

Tabla 3. - Registro meteorológico de las observaciones



### 3.3.2. TRABAJO DE GABINETE

El cálculo de las observaciones realizadas por métodos clásicos, para cada una de las campañas de campo, se efectúa separando por un lado la red principal de apoyo compuesta por los pilares de estacionamiento y, una vez ajustada y compensada ésta, se procede a calcular la red secundaria formada por las esferas y dianas de puntería, que constituyen los puntos de control para las mediciones realizadas con los escáneres láser.

#### 3.3.2.1. CÁLCULO DE LA RED DE APOYO

Para determinar la red principal de apoyo se han observado todas las lecturas acimutales y cenitales, así como las distancias geométricas, desde cada pilar al resto (Anexo 114), esto permite calcular la totalidad de los ángulos y longitudes de las bases que configuran la red, lo que permite el ajuste de las coordenadas de sus vértices por métodos numéricos, basados en el cálculo de todas las intersecciones directas que se pueden obtener a partir de las observaciones realizadas.

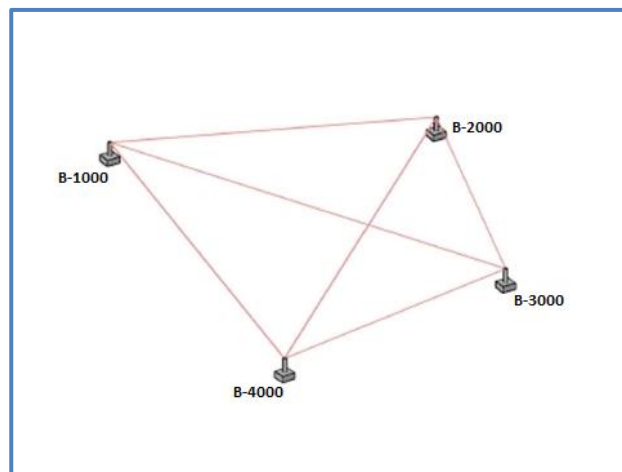


Figura 24.- Croquis en perspectiva de la Red principal de apoyo.

El valor de cada ángulo vendrá determinado por la diferencia entre pares de lecturas hechas sobre sus respectivos extremos en cada una de las series observadas, procediendo previamente al cálculo de las lecturas compensadas a partir de las realizadas en círculo directo e inverso, verificando siempre que sus diferencias están dentro de tolerancia, en caso contrario serían rechazadas.



TCA 2003		1ª Campaña		11/03/2010	
Estación B-1000		Pilares (T-1)			
<b>1ª serie</b>					
Ctrol	Pto. Vdo.	L. Az	L.V.	L.Az. prom	L.V. prom
1	3000,00000	248,32266	102,25157	<b>248,32236</b>	<b>102,25054</b>
2	4000,00000	288,35198	103,12200	<b>288,35159</b>	<b>103,12076</b>
3	2000,00000	201,72538	100,35993	<b>201,72432</b>	<b>100,35824</b>
4	2000,00000	1,72325	299,64346		
5	4000,00000	88,35120	296,88048		
6	3000,00000	48,32205	297,75050		
<b>2ª serie</b>					
Ctrol	Pto. Vdo.	L. Az	L.V.	L.Az. prom	L.V. prom
1	3000,00000	180,03110	102,25126	<b>180,03083</b>	<b>102,25078</b>
2	4000,00000	220,06052	103,11964	<b>220,06011</b>	<b>103,12018</b>
3	2000,00000	133,43255	100,35860	<b>133,43235</b>	<b>100,35733</b>
4	2000,00000	333,43215	299,64394		
5	4000,00000	20,05969	296,87929		
6	3000,00000	380,03056	297,74970		
<b>3ª serie</b>					
Ctrol	Pto. Vdo.	L. Az	L.V.	L.Az. prom	L.V. prom
1	3000,00000	129,94618	102,25202	<b>129,94590</b>	<b>102,25080</b>
2	4000,00000	169,97568	103,12081	<b>169,97518</b>	<b>103,12099</b>
3	2000,00000	83,34874	100,35890	<b>83,34902</b>	<b>100,35767</b>
4	2000,00000	283,34929	299,64357		
5	4000,00000	369,97468	296,87883		
6	3000,00000	329,94562	297,75042		

Tabla 4. - Observación angular red de pilares (1ª Campaña/B-1000)

Para la medida de las distancias de cada lado se han realizado también tres series desde cada pilar (Tabla 5), observándose que sus diferencias entre círculo directo e inverso no sobrepasan los 0,0003m., optándose por tomar como valor más probable, el resultante de la media aritmética de ambos, para cada uno de los tramos.

La determinación de las distancias entre puntos se realiza por métodos de medida electrónica de distancias, que permiten su medida con gran precisión, para ello se coloca el instrumento en uno de los extremos del tramo a medir y un prisma en el otro, el instrumento emite un tren de ondas que se propaga a través del medio hasta llegar al prisma, sobre el cual se refleja, regresando nuevamente al instrumento. Mediante la determinación del tiempo de viaje de la onda o de la diferencia de fase entre la onda emitida y la recibida, permite el cálculo de la distancia entre el instrumento emisor y el prisma.

La mayoría de los instrumentos medidores de distancias por medio de ondas funcionan por el método de comparación de fase, de forma que la onda portadora es modulada por medio de una onda moduladora, que es la que se emplea para medir la distancia. La moduladora establece en el espacio un efecto que se podría asimilar a especie de cinta métrica donde sus divisiones son las longitudes de onda  $\lambda$ . El



PROCESO DE TRABAJO

recorrido de la moduladora es el doble que la distancia D a medir, al realizar recorrido de ida y vuelta.

TCA 2003 Estación B-1000 1ª Campaña 11-mar-2010							
Medida distancias bases							
Ctrol	Pto. Vdo.	L. Az	L.V.	Dg	L.V. prom	Dg	Dr
1	2000	83,34974	100,29161	26,0420	100,29158	26,0419	<b>26,0416</b>
2	3000	129,94791	102,18616	36,6115	102,18631	36,6114	<b>36,5898</b>
3	4000	169,97376	103,07347	36,5146	103,07398	36,5147	<b>36,4721</b>
4	4000	369,97268	296,92551	36,5148			
5	3000	329,94647	297,81355	36,6113			
6	2000	283,34820	299,70846	26,0418			
7	2000	119,99996	100,29151	26,0421	100,29187	26,0421	<b>26,0418</b>
8	3000	199,67795	102,18639	36,6116	102,18671	36,6115	<b>36,5899</b>
9	4000	250,01865	103,07362	36,5145	103,07412	36,5146	<b>36,4720</b>
10	4000	50,01770	296,92539	36,5147			
11	3000	399,67805	297,81296	36,6114			
12	2000	319,99948	299,70778	26,0420			
13	2000	246,57304	100,29173	26,0419	100,29179	26,0420	<b>26,0417</b>
14	3000	279,99919	102,18568	36,6113	102,18587	36,6115	<b>36,5899</b>
15	4000	349,63546	103,07316	36,5147	103,07352	36,5146	<b>36,4720</b>
16	4000	149,63544	296,92613	36,5144			
17	3000	79,99905	297,81395	36,6117			
18	2000	46,57358	299,70816	26,0421			

Tabla 5. - Medida de distancia (1ª Campaña/B-1000)

Si la amplitud de la onda de salida se expresa como:

$$A \text{ sen } \omega t$$

y el tiempo de tránsito es  $\Delta t$ , la amplitud de retorno será:

$$A \text{ sen } \omega (t + \Delta t)$$

Si se denomina a  $\omega \Delta t$  como  $\varphi$ , se obtiene que:

$$A \text{ sen}(\omega t + \varphi)$$

siendo siempre:  $0 < \varphi < 2\pi$

Para una longitud de onda  $\lambda$ , la distancia D recorrida por la onda en su trayecto de ida y vuelta, puede expresarse como:

$$D = n\lambda + \frac{\varphi}{2\pi}\lambda$$



siendo  $n$  una variable discreta definida por un número natural. Si se utiliza otra onda con una longitud de onda próxima, tal que  $\lambda p$ , se tiene que:

$$D = n\lambda p + \frac{\varphi p}{2\pi} \lambda p$$

obteniendo un sistema fácilmente resoluble si se mide  $\varphi$  y  $\varphi p$ , dado que  $\lambda$  y  $\lambda p$  son conocidas y generadas por el electrodistanciómetro y  $n$  se puede obtener por cálculo. En resumen, utilizando dos frecuencias moduladoras, el problema se reduce a medir en el instrumento los diferentes  $\varphi$  que representan la diferencia de fase entre la salida y el retorno para cada frecuencia moduladora.

El sistema plantea un problema consistente en que hay una distancia  $dl$ , llamada distancia límite, a partir de la cual los observables  $\varphi$  y  $\varphi p$  se repiten, lo que origina que sean iguales siempre que se verifique:

$$D = d + ndl$$

siendo  $d$  un valor inferior a  $dl$ . Considerando dos longitudes de onda tales que  $\lambda$  y  $\lambda'$  se tiene que:

$$dl = n\lambda = (n+1)\lambda' \quad ; \quad n\lambda = n\lambda' + \lambda' \quad ; \quad n(\lambda - \lambda') = \lambda' \quad ; \quad n = \frac{\lambda'}{\lambda - \lambda'}$$

multiplicando miembro a miembro por  $\lambda$  se obtiene:

$$n\lambda = \frac{\lambda\lambda'}{\lambda - \lambda'} = dl$$

determinándose la distancia límite medible como:

$$Dl = \frac{\lambda\lambda'}{2(\lambda - \lambda')}$$

Si  $\lambda$  y  $\lambda'$  son muy próximas, se obtiene una distancia límite  $Dl$  grande y el problema de la determinación de  $n$  estaría resuelto, pero pequeñísimas diferencias en la medición de los valores de  $\varphi$  provocarían variaciones de algunas unidades en los valores de  $n$ , lo que generaría en la distancia errores múltiplo de la longitud de onda. Para resolver este problema se utilizan tres o cuatro frecuencias moduladas de forma que las distancias límites de las combinaciones entre ellas vayan creciendo exponencialmente.

En todo proceso de medición, es un hecho incuestionable que nunca se pueden eliminar totalmente los errores, asumiendo que siempre quedará alguna forma residual de los mismos. Al analizar la tipología y el tratamiento de los errores, existen distintos modos de comportamiento:



## PROCESO DE TRABAJO

---

- Determinar su valor de forma directa y aplicar la corrección pertinente.
- Establecer un modelo matemático que permita calcular la forma más adecuada de aplicar las correcciones.
- Establecer una metodología de observación que permita su compensación.
- Asumir el error residual, considerando determinada imprecisión de la medida.

Sea cual sea el comportamiento adquirido, sólo se puede considerar que es operativo cuando, la instrumentación y la metodología aplicadas en cada caso concreto, determinan que la media cuadrática de los valores de todos los errores a asumir es menor que la precisión exigida.

Para el caso de la distanciametría electrónica, las fuentes de error existentes se integran en dos grupos:

- a) Errores proporcionales a la distancia: índice de refracción; frecuencia de modulación.
- b) Errores no proporcionales a la distancia: constante del equipo; error cíclico; centrados mecánicos.

Las fuentes de error no proporcionales a la distancia, generan errores absolutos. Unos son sistemáticos, tales como la constante del equipo y el error cíclico, la primera se compone de la constante del instrumento más la del prisma reflector, en cuanto al segundo, es un error de linealidad que se repite en la distancia. En ambos casos, sus magnitudes se determinan midiendo en laboratorio sobre bases de contrastación multipunto a intervalos decamétricos perfectamente establecidos. Para el instrumento utilizado en el presente trabajo, dichos errores tiene magnitudes comprendidas entre 1mm+1ppm y 5mm+2ppm en función del modo de medición utilizado, siendo el modo estándar el que ofrece mayor precisión (1mm+1ppm) y por consiguiente el aplicado para las mediciones de la red de apoyo. Otros errores son de tipo accidental, tales como los producidos por el estacionamiento del instrumento y del prisma, lo que obliga a realizar una correcta metodología de observación, para ello se ha procedido a colocar, sobre cada uno de los pilares de la red de apoyo, un dispositivo de centrado forzado que permite el intercambio de instrumento y prisma, lo que reduce al mínimo la repercusión del citado error.

En referencia a las fuentes de error proporcionales a la distancia generan un factor de escala y plantean una problemática muy especial debido a que la precisión interna no se ve afectada por estos errores, obteniendo cierres, compensaciones y ajustes que, mientras las condiciones permanezcan estables, ofrecen valores tan normales como si no existiese tal factor de escala. Estos errores se pueden poner de manifiesto uniendo trabajos realizados con equipos diferentes, lo que permite





resolver las discrepancias mediante una transformación de Helmert, ésta puede hacerse en los dos sentidos, quedando la duda de cuál será la buena.

El distanciómetro electrónico mide el desfase de onda y calcula el número natural de ondas completas, que se producen en su recorrido de ida y vuelta, mediante una determinada modulación. La velocidad de propagación es una variable que depende de la longitud de onda de la portadora ( $\lambda$ ) y de las características de propagación del medio por el que discurre, produciéndose el efecto denominado como "*Variación en la velocidad de propagación*", fundamentado en que la onda atraviesa diferentes capas de la atmósfera, con diferentes índices de refracción. Para corregir este fenómeno se debe de aplicar la "*corrección por velocidad de propagación*", denominada habitualmente como "*refracción atmosférica*". Por tanto, para el cálculo preciso de la distancia entre dos puntos, se hace necesario el conocimiento de la velocidad de propagación de las ondas para el medio y momento en el que se realiza la observación.

$$v_m = \frac{c}{\eta}$$

siendo  $c$  la velocidad de la luz en el vacío y  $\eta$  el índice de refracción del medio en el que se propagan las ondas.

El fabricante del instrumento, dada la variabilidad atmosférica existente, fija unas condiciones estándar en función de ciertos parámetros de presión, temperatura, humedad relativa y contenido de  $CO_2$ , proporcionando los valores de las distancias para dicha situación hipotética.

$$D_o = \frac{c \cdot \tau}{\eta_s}$$

donde  $\tau$  es la mitad del tiempo invertido por el tren de ondas en realizar el trayecto y  $\eta_s$  es el índice de refracción para la atmósfera estándar.

De manera sencilla se observa que al realizar una medición con el distanciómetro, éste evalúa de manera directa la distancia aplicando la expresión anterior, obteniendo un valor para la distancia medida que puede indicarse como:

$$D_m = \frac{c \cdot \tau}{\eta_s}$$

pero en el momento de la medición, el índice de refracción de la atmósfera será, con toda probabilidad, diferente del estándar lo que origina un resultado erróneo que será necesario corregir. La distancia real vendría determinada por la expresión:

$$D_r = \frac{c \cdot \tau}{\eta_r}$$



siendo  $\eta_r$  el índice de refracción en las condiciones reales de la observación, de donde se deduce que la corrección  $C$  a aplicar será:

$$C = D_r - D_m = \frac{c \cdot \tau}{\eta_r} - \frac{c \cdot \tau}{\eta_s} = \frac{c \cdot \tau}{\eta_s} \left[ \frac{\eta_s}{\eta_r} - 1 \right] = D_m \left[ \frac{\eta_s}{\eta_r} - 1 \right]$$

El índice de refracción  $\eta_r$  en el momento de la observación se determina mediante fórmulas empíricas (Barrell-Sears; Edlen; Owens; Eseen-Froome; etc...), en función de los parámetros meteorológicas temperatura, presión y tensión de vapor de agua, obtenidos normalmente a partir de las temperaturas seca  $T_s$  y húmeda  $T_h$ , y de la presión atmosférica  $P$ . La tensión de vapor de agua no se mide directamente, sino que se calcula en función de la diferencia psicrométrica entre las temperaturas seca y húmeda.

Para poder llevar a cabo la corrección por refracción sobre las medidas de distancia realizadas, en el momento de efectuar cada una de las series de observaciones, se ha procedido a registrar los parámetros correspondientes a las condiciones meteorológicas. Para ello se utiliza un psicrómetro de tipo Asmann, consistente en dos termómetros de mercurio, graduados en la escala de Celsius con una apreciación de  $1^\circ\text{C}$ , uno de ellos con bulbo húmedo. Para obtener el valor de la presión atmosférica se ha utilizado un barómetro aneroide con doble graduación, milibares (mb) y milímetros de mercurio (mmHg), con apreciación de 1 mmHg. Ambos instrumentos se han colocado siempre protegidos del viento y de la luz solar directa, anotando las lecturas de ambas temperaturas y de la presión, tal como se muestra en la Tabla 3.

Para la determinación del índice de refracción del aire, se parte de la ecuación de dispersión deducida por Barrell y Sears para el aire seco libre de  $\text{CO}_2$  a una temperatura de  $0^\circ\text{C}$  y una presión de 760 mmHg y una radiación luminosa monocromática pura de longitud de onda  $\lambda$  (expresada en micrones  $\mu\text{m}$ ), dada por:

$$n_{(0;760)} = 1 + \left( 287,56 + \frac{1,6284}{\lambda^2} + \frac{0,01364}{\lambda^4} \right) \cdot 10^{-6}$$

siendo válida para longitudes de onda comprendidas entre  $0,436$  y  $0,644 \mu\text{m}$ .

Para las medidas electromagnéticas de distancias realizadas en el aire normal, la radiación luminosa monocromática generada por el láser del distanciómetro se ve modificada mediante el proceso de modulación, de forma que el tren de ondas resultante se propaga en la atmósfera terrestre con una velocidad distinta de la correspondiente a la radiación monocromática. Esta velocidad de grupo de un tren de ondas se relaciona con la velocidad de fase de la radiación monocromática mediante la ecuación de Rayleigh. A través de la velocidad de grupo, se obtiene el índice de refracción del grupo de ondas, según la expresión siguiente:



$$(n_g - 1) = \left( A + \frac{3B}{\lambda^2} + \frac{5C}{\lambda^4} \right)$$

la ecuación de Barrell y Sears para el aire normal y atmósfera estándar ( $t = 0^\circ C$ ;  $p = 760 \text{ mmHg}$ ;  $0,03\%$  de  $CO_2$ ) quedará como sigue:

$$n_g = 1 + \left( 287,56 + \frac{4,8864}{\lambda^2} + \frac{0,0682}{\lambda^4} \right) \cdot 10^{-6}$$

Cuando el grupo de ondas se encuentra en un medio diferente del estándar, el índice de refracción del mismo vendrá dado por la fórmula rigurosa siguiente:

$$n = n_{(p;t;e)} = 1 + \left[ (n_g - 1) \cdot 10^6 \frac{p[1 + p(1,049 - 0,0157 \cdot t) \cdot 10^{-6}]}{760,606(1 + at)} - \left( 0,0624 - \frac{0,00204}{\lambda^2} \right) \frac{e}{1 + at} \right] \cdot 10^{-6}$$

siendo  $p$  la presión atmosférica (en mmHg),  $t$  la temperatura seca (en  $^\circ C$ ), y  $e$  la tensión parcial de vapor de agua (en mmHg).

La tensión parcial de vapor de agua ( $e$ ) no se mide directamente sino que se obtiene como función de las temperaturas seca ( $t$ ) y húmeda ( $t'$ ) y de la presión del aire ( $p$ ), utilizando para su cálculo las fórmulas siguientes:

$$e = E - 0,00066(1 + 0,00115 \cdot t') \cdot p(t - t')$$

siendo  $E$  el valor de la tensión máxima de vapor de agua, expresada en mmHg, y que viene dada por:

$$\log E = 26,12612 - \frac{3049,5}{273,2 + t} - 5,8697 \cdot \log(273,2 + t')$$

Una vez determinados los valores relativos a las correcciones meteorológicas, se procede a la reducción de las distancias medidas, para ello primero se corrige de la curvatura originada por el coeficiente de refracción de la trayectoria:

$$C_1 = \frac{D^3 \cdot K^2}{24 \cdot R^2} \quad D_1 = D + C_1$$

$$C_2 = \frac{(K - K^2) \cdot D_1^3}{12 \cdot R^2} \quad D_2 = D_1 + C_2$$

$$K = \frac{R}{\rho}$$

donde  $D$  es la distancia medida,  $R$  es el radio de la tierra,  $\rho$  es el radio de curvatura de la trayectoria y  $K$  es el coeficiente de refracción. Sólo se ha considerado el



primer término del desarrollo de la corrección, pues dada la pequeña magnitud de las distancias medidas, el segundo término resulta totalmente despreciable.

Se procede a continuación a realizar la corrección por efecto atmosférico sobre la trayectoria:

$$D_3 = \frac{D_2 \cdot (n_g - n)}{n}$$

Estas distancias geométricas corregidas (Anexo 114) son las que se utilizan para el cálculo y ajuste de la red. Si se procede a la obtención de sus respectivas distancias reducidas sobre el plano horizontal de comparación se tendrá, para cada uno de los triángulos que se pueden conformar, sus tres lados (trilateración), al disponer también de los valores medidos de los tres ángulos (triangulación) para todos y cada uno de los triángulos, se puede verificar el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- a) Fijando un lado, y siguiendo el procedimiento para la resolución de la intersección angular directa, se pueden calcular los otros lados en función de los ángulos medidos, utilizando el teorema del seno.

$$b = a \frac{\text{sen}\hat{B}}{\text{sen}\hat{A}}; \quad c = a \frac{\text{sen}\hat{C}}{\text{sen}\hat{A}}$$

$$a = b \frac{\text{sen}\hat{A}}{\text{sen}\hat{B}}; \quad c = b \frac{\text{sen}\hat{C}}{\text{sen}\hat{B}}$$

$$a = c \frac{\text{sen}\hat{A}}{\text{sen}\hat{C}}; \quad b = c \frac{\text{sen}\hat{B}}{\text{sen}\hat{C}}$$

- b) Al conocer las distancias de los tres lados, siguiendo los procesos de trilateración, se deben cumplir las expresiones derivadas del teorema del coseno, que permiten calcular el valor de los ángulos del triángulo en función de sus tres lados.

$$\cos\hat{A} = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad \cos\hat{B} = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}; \quad \cos\hat{C} = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

O también, partiendo de la fórmula de Herón, se tiene que:

$$\text{tg} \frac{\hat{A}}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \text{tg} \frac{\hat{B}}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}}; \quad \text{tg} \frac{\hat{C}}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}}$$

- c) En cada triángulo, tanto los ángulos calculados a partir de las distancias, como los obtenidos por diferencias de pares de lecturas, deben de cumplir igualmente que:



$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = 200^g$$

Expresiones que permiten determinar la magnitud de las precisiones alcanzadas en las observaciones, desechando las que no cumplan con las tolerancias definidas para los métodos de intersección directa angular y de distancias, así como la del cierre angular de los triángulos:

$$\partial = \frac{Le_a}{\text{sen} \frac{\alpha}{2}} \quad \partial = \frac{\sqrt{\varepsilon^2 + L^2 \omega^2}}{\text{sen} \frac{\alpha}{2}} \quad \Delta_{200^g} = e_a \sqrt{6}$$

Para realizar el cálculo y ajuste de la red se tendrán en cuenta todas las observaciones realizadas, tanto angulares como de distancias, con el objeto de calcular las coordenadas de los pilares que la configuran. Estos datos de partida están expresados en coordenadas polares  $(D_g, L_A, \hat{V})^1$  en cada uno de los estacionamientos, que tendrán su propio sistema instrumental  $(x', y', z')$ , debiendo refundir todos ellos en un único sistema topocéntrico astronómico local  $(x, y, z)$ , cuyo origen se encuentre sobre uno de los puntos de estación, su eje "y" según la dirección del Norte astronómico, su eje "x" según la dirección Este, y su eje "z" según la dirección marcada por la plomada en sentido positivo cenital. Para esto se debe proceder a determinar las coordenadas de al menos uno de los vértices o pilares, quedando definido el origen del Sistema en función de las mismas. También será necesario determinar el acimut astronómico  $(\theta)$  de la referencia para poder llevar a cabo el cálculo directo del resto de las coordenadas cartesianas en el sistema topocéntrico local, a partir de las coordenadas polares.

$$\theta_{ij} = \text{arctag} \frac{\Delta x_{ij}}{\Delta y_{ij}}$$

$$x_{ij} = D_{g_{ij}} \cdot \text{sen} \hat{V}_{ij} \cdot \text{sen} \theta_{ij}$$

$$y_{ij} = D_{g_{ij}} \cdot \text{sen} \hat{V}_{ij} \cdot \cos \theta_{ij}$$

$$z_{ij} = D_{g_{ij}} \cdot \cos \hat{V}_{ij}$$

Para llevar a cabo el cálculo y ajuste de la red se recurre al programa Microsearch GeoLab, éste realiza dichos procesos sobre el Sistema Cartesiano Geocéntrico  $(X, Y, Z)$  con origen en el centro de la tierra, el eje Z coincidente con el eje de rotación de la tierra y perpendicular al plano XY del ecuador, el eje X sobre el plano del ecuador y orientado en dirección paralela al meridiano de Greenwich y el eje Y perpendicular al plano generado por los dos ejes anteriores y con sentido tal

<sup>1</sup>  $D_g$  es la distancia geométrica medida;  $L_A$  es la lectura acimutal;  $\hat{V}$  es el ángulo o distancia cenital determinada por el instrumento según la dirección de la gravedad.



PROCESO DE TRABAJO

que completa con ellos una terna dextrógira. Este sistema permite expresar la posición absoluta respecto al sistema de referencia geodésico de cualquier punto de la superficie terrestre.

Para establecer las coordenadas de partida que permitan situar el trabajo sobre el sistema de referencia, sirviendo además como datos de entrada para el ajuste, se considerarán las coordenadas obtenidas mediante la observación realizada, en los cuatro pilares, por medio de los receptores GPS.

```

Observación GPS Leica System 1200
Resultados del ajuste LEICA Geo Office 2.0
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Tipo de altura: Elipsoidal
  
```

Estación		Coordenada	Corr	Desv. Est.
1000	Latitud	40° 39' 03.03943" N	-0.0001 m	0.0001 m
	Longitud	4° 40' 45.94365" W	0.0001 m	0.0001 m
	Altura	1159.2141 m	0.0001 m	0.0002 m
2000	Latitud	40° 39' 02.73983" N	-0.0001 m	0.0001 m
	Longitud	4° 40' 44.90746" W	0.0002 m	0.0001 m
	Altura	1159.0927 m	0.0001 m	0.0002 m
3000	Latitud	40° 39' 01.98525" N	-0.0001 m	0.0001 m
	Longitud	4° 40' 45.23005" W	0.0001 m	0.0001 m
	Altura	1157.9531 m	0.0001 m	0.0002 m
4000	Latitud	40° 39' 01.87097" N	-0.0001 m	0.0001 m
	Longitud	4° 40' 46.17980" W	0.0001 m	0.0001 m
	Altura	1157.4448 m	0.0000 m	0.0002 m
AVIL	Latitud	40° 39' 04.04019" N	0.0000 m	- fijo
	Longitud	4° 40' 45.57559" W	0.0000 m	- fijo
	Altura	1176.9104 m	0.0000 m	- fijo

Tabla 6.- Coordenadas obtenidas con GPS (Microsearch GeoLab v.2001)

Realizado el ajuste de la observación, se obtienen las coordenadas geodésicas sobre el sistema de referencia ETRS89, así como sus transformadas a la proyección UTM sobre el elipsoide GRS80. Para realizar el cálculo de la red, se fijan las coordenadas del vértice B-4000 y el acimut de la base B-4000/B-1000, dejando los otros tres pilares de forma libre para determinar su ajuste en coordenadas, sirviendo las coordenadas obtenidas por medio del GPS como los valores aproximados para realizar el ajuste. En la Tabla 7 figuran los datos de partida (elipsoide de referencia, precisiones a priori, coordenadas geográficas y UTM, acimut de referencia) para realizar el cálculo y ajuste de la red.



```

1 TITL CÁLCULO RED COMPLETA 1*Camp(Az fijo)
2 *Punto fijo: 4000
3 *Acimut fijo 4000 a 1000
4 *Imprimir soluciones
5 PSOL YES YES
6 *Nº decimales imprimir obs. angulares
7 ADEC 2
8 *Tipo angular (sexa / cente)
9 ANGT GRD
10 *Geoide de referencia
11 GFIL d:/tesis/EGM08_RED NAP.bin
12 *PMIS NO 2 2
13 *Relación de las coordenadas a imprimir
14 PADJ YES YES YES YES YES YES YES
15 SIGM dis 0.0010 1.0000 0.0010 0.0010 0.0010 m
16 SIGM dir 1.5000 0.0000 0.0010 0.0010 0.0010 m
17 SIGM ang 1.5000 0.0000 0.0010 0.0010 0.0010 m
18 SIGM azi 1.5000 0.0000 0.0010 0.0010 0.0010 m
19 *SIGM ohd 0.0050 0.0000 0.0010 0.0010 0.0010 m
20 SIGM van 1.5000 0.0000 0.0010 0.0010 0.0010 m
21 *Coordenadas Geográficas (obs. GPS)
22 PLH 000 AVIL n 40 39 4.040190 w 4 40 45.575590 1176.9104 m
23 PLH 000 1000 n 40 39 3.039440 w 4 40 45.943650 1159.2140 m
24 PLH 000 2000 n 40 39 2.739830 w 4 40 44.907460 1159.0926 m
25 PLH 000 3000 n 40 39 1.985260 w 4 40 45.230050 1157.9530 m
26 PLH 111 4000 n 40 39 1.870970 w 4 40 46.179810 1157.4448 m
27 *Coordenadas UTM30 sobre GRS80 (obs. GPS)
28 NEH 000 1000 4501354.4833 358011.6377 1159.2140 UTM 30 m
29 NEH 000 2000 4501344.7799 358035.7972 1159.0926 UTM 30 m
30 NEH 000 3000 4501321.6564 358027.7765 1157.9530 UTM 30 m
31 NEH 111 4000 4501318.5584 358005.4032 1157.4448 UTM 30 m
32 *Acimut geodésico calculado a partir de los puntos GPS
33 GAZI azi 4000 1000 9 72 34.67

```

Tabla 7.- Datos de partida para ajuste Red de Apoyo (Microsearch GeoLab v.2001)

Los datos obtenidos por medio de la observación con receptores GPS se encuentran referidos a un sistema de coordenadas geodésico local, mientras que las observaciones realizadas con la Estación Total se encuentran en un sistema astronómico local. Estos sistemas, para un mismo punto de la superficie terrestre, comparten el origen pero no la dirección de los ejes de coordenadas. La diferencia en la dirección de los respectivos ejes depende de la diferencia de dirección que exista entre la vertical astronómica del punto y la normal al elipsoide, es decir, entre las coordenadas curvilíneas astronómicas, latitud ( $\phi$ ) y longitud ( $\lambda$ ), y sus correspondientes geodésicas ( $\varphi, \lambda$ ), así como de la diferencia en la dirección de los meridianos astronómico y geodésico.

Por consiguiente, la relación entre ambos sistemas de coordenadas locales está en función de la desviación aparente de la vertical y del ángulo formado entre el norte astronómico y el geodésico. La primera se manifiesta según dos componentes, una en el plano del meridiano cuya magnitud viene dada por la expresión  $\xi = \phi - \varphi$



debiendo proceder a realizar dicho giro sobre el eje  $x_G$  del sistema geodésico, y la segunda componente se produce en el plano del primer vertical, que obligará a realizar un giro sobre el eje  $y_G$  del sistema geodésico cuya magnitud es la resultante de aplicar la fórmula  $\eta = (\Lambda - \lambda) \cos \varphi$ . Las matrices de rotación resultantes serán:

$$R_x(\xi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \xi & -\operatorname{sen} \xi \\ 0 & \operatorname{sen} \xi & \cos \xi \end{pmatrix}$$

$$R_y(\eta) = \begin{pmatrix} \cos \eta & 0 & -\operatorname{sen} \eta \\ 0 & 1 & 0 \\ \operatorname{sen} \eta & 0 & \cos \eta \end{pmatrix}$$

El resultado de aplicar ambas rotaciones permite conseguir que la dirección de la vertical, y por consiguiente de los ejes Z, sea coincidente para ambos sistemas de coordenadas.

$$\begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{pmatrix}_A = R_y(\eta)R_x(\xi) \begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{pmatrix}_G = \begin{pmatrix} \cos \eta & -\operatorname{sen} \eta \operatorname{sen} \xi & -\operatorname{sen} \eta \cos \xi \\ 0 & \cos \xi & -\operatorname{sen} \xi \\ \operatorname{sen} \eta & \cos \eta \operatorname{sen} \xi & \cos \eta \cos \xi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{pmatrix}_G$$

Denominando  $\alpha$  el ángulo que forman las meridianas geodésica y astronómica en el punto de referencia, se deduce que para hacer coincidente la dirección de ambas, habrá que aplicar una rotación en torno al eje del cenit geodésico y en el sentido trigonométrico, obteniendo la siguiente matriz de rotación:

$$R_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \operatorname{sen} \alpha & 0 \\ -\operatorname{sen} \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Obteniendo la relación entre las coordenadas de ambos sistemas mediante el producto de las tres matrices de rotación

$$\begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{pmatrix}_A = R_z(\alpha)R_y(\eta)R_x(\xi) \begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{pmatrix}_G$$

A partir de las coordenadas geodésicas<sup>2</sup>  $(\varphi, \lambda, h)$  del pilar B-4000, se obtienen sus correspondientes coordenadas cartesianas geocéntricas:

$$X = (v + h) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = (v + h) \cos \varphi \operatorname{sen} \lambda$$

$$Z = (v(1 - e^2) + h) \operatorname{sen} \varphi$$

<sup>2</sup> El programa GeoLab utiliza la notación siguiente: P para la latitud, L para la longitud y H para la altitud elipsoidal.





siendo  $v$  la normal principal del elipsoide de referencia ( $v = a/(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi)^{1/2}$ ) y  $e$  la primera excentricidad ( $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$ ). El elipsoide GRS80 queda determinado por los valores siguientes: el semieje mayor  $a$  tiene una magnitud de 6.378.137,000m., siendo su aplanamiento ( $f = \frac{a-b}{a}$ ) de 1:298,257222101.

Partiendo de estas coordenadas y del conjunto completo de observaciones realizadas y transformadas sobre el sistema geodésico local, se procede a realizar el cálculo y ajuste de las coordenadas del resto de vértices.

$$\begin{pmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ Z_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\text{sen } \lambda_i & -\text{sen} \varphi_i \cos \lambda_i & \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ \cos \lambda_i & -\text{sen} \varphi_i \text{sen } \lambda_i & \cos \varphi_i \text{sen } \lambda_i \\ 0 & \cos \varphi_i & \text{sen } \varphi_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{pmatrix}_G$$

CÁLCULO RED COMPLETA 1ªCamp(Az fijo)				
Microsearch GeoLab, V2001.9.20.0		GRS 80		UNITS: m,GRAD Page 0015
Adjusted XYZ Coordinates:				
CODE	FFF STATION	X-COORDINATE STD DEV	Y-COORDINATE STD DEV	Z-COORDINATE STD DEV
XYZ	1000	4830663.46171 0.00079	-395406.78020 0.00203	4133837.98153 0.00080
XYZ	2000	4830671.35830 0.00149	-395382.99873 0.00166	4133830.89225 0.00159
XYZ	3000	4830684.99249 0.00108	-395391.71850 0.00093	4133812.48662 0.00123
XYZ	4000	4830685.08411 0.00000	-395414.11811 0.00000	4133809.48286 0.00000

Tabla 8.- Coordenadas Cartesianas Geocéntricas (Microsearch GeoLab v.2001)

Se obtienen las coordenadas en el sistema geocéntrico ecuatorial, con indicación de la desviación estándar como medida de dispersión, con el objeto de determinar su variabilidad, así como el grado de homogeneidad en su determinación, lo que permite tomar decisiones sobre la aceptación de los resultados. En el fichero de salida de GeoLab se muestran igualmente los valores de los semiejes de las elipses de error de las observaciones (Anexo 114).

Con el fin de visualizar los resultados de una forma más comprensible, se obtienen también expresados en coordenadas geográficas y cartográficas sobre la proyección UTM, con altitudes elipsoidales y ortométricas en ambos casos, tal como se muestra en las tablas siguientes.



PROCESO DE TRABAJO

CÁLCULO RED COMPLETA 1ªCamp(Az fijo)									
Microsearch GeoLab, V2001.9.20.0				GRS 80		UNITS: m,GRAD Page 0013			
Adjusted PLH Coordinates:									
CODE	FFF	STATION		LATITUDE		LONGITUDE		ELIP-HEIGHT	
				STD DEV		STD DEV		STD DEV	
PLH	000	1000	N 40 39	3.03947	W 4 40	45.94363		1159.20582	m
				0.00098		0.00205		0.00049	
PLH	000	2000	N 40 39	2.73992	W 4 40	44.90753		1159.08675	m
				0.00205		0.00175		0.00050	
PLH	000	3000	N 40 39	1.98535	W 4 40	45.23005		1157.94590	m
				0.00157		0.00092		0.00049	
PLH	111	4000	N 40 39	1.87097	W 4 40	46.17980		1157.44480	m
				0.00000		0.00000		0.00000	

Tabla 9.- Coordenadas Geográficas con altitud elipsoidal (Microsearch GeoLab v.2001)

CÁLCULO RED COMPLETA 1ªCamp(Az fijo)									
Microsearch GeoLab, V2001.9.20.0				GRS 80		UNITS: m,GRAD Page 0014			
Adjusted PLO Coordinates:									
CODE	FFF	STATION		LATITUDE		LONGITUDE		O-HEIGHT	
				STD DEV		STD DEV		STD DEV	
PLO	000	1000	N 40 39	3.03947	W 4 40	45.94363		1104.86352	m
				0.00098		0.00205		0.00049	
PLO	000	2000	N 40 39	2.73992	W 4 40	44.90753		1104.74435	m
				0.00205		0.00175		0.00050	
PLO	000	3000	N 40 39	1.98535	W 4 40	45.23005		1103.60220	m
				0.00157		0.00092		0.00049	
PLO	111	4000	N 40 39	1.87097	W 4 40	46.17980		1103.10060	m
				0.00000		0.00000		0.00000	

Tabla 10.- Coordenadas Geográficas con altitud ortométrica  
(Microsearch GeoLab v.2001)

Se observa que la notación utilizada por el programa GeoLab para definir las coordenadas latitud y longitud geodésicas es  $\mathbb{P}$  y  $\mathbb{L}$  respectivamente, utilizando para la altitud elipsoidal  $\mathbb{H}$  y para la ortométrica  $\mathbb{O}$ .



CÁLCULO RED COMPLETA 1ªCamp(Az fijo)						
Microsearch GeoLab, V2001.9.20.0		GRS 80	UNITS: m,GRAD Page 0011			
Adjusted NEH Coordinates:						
CODE	FFF	STATION	NORTHING STD DEV	EASTING STD DEV	E-HEIGHT STD DEV	MAPPROJ
NEH	000	1000	4501354.48450 0.00098	358011.63804 0.00205	1159.20582 0.00049	UTM 30 m
SFMC		1000	0.9998481559	0.9998265125	- 1 5 39.270000	UTM 30
NEH	000	2000	4501344.78270 0.00205	358035.79547 0.00175	1159.08675 0.00050	UTM 30 m
SFMC		2000	0.9998480714	0.9998265312	- 1 5 38.590000	UTM 30
NEH	000	3000	4501321.65939 0.00157	358027.77654 0.00092	1157.94590 0.00049	UTM 30 m
SFMC		3000	0.9998480995	0.9998267106	- 1 5 38.780000	UTM 30
NEH	111	4000	4501318.55840 0.00000	358005.40320 0.00000	1157.44480 0.00000	UTM 30 m
SFMC		4000	0.9998481777	0.9998267893	- 1 5 39.400000	UTM 30

Tabla 11.- Coordenadas Cartográficas UTM con altitud elipsoidal  
(Microsearch GeoLab v.2001)

CÁLCULO RED COMPLETA 1ªCamp(Az fijo)						
Microsearch GeoLab, V2001.9.20.0		GRS 80	UNITS: m,GRAD Page 0010			
Adjusted NEO Coordinates:						
CODE	FFF	STATION	NORTHING STD DEV	EASTING STD DEV	O-HEIGHT STD DEV	MAPPROJ
NEO	000	1000	4501354.48450 0.00098	358011.63804 0.00205	1104.86352 0.00049	UTM 30 m
SFMC		1000	0.9998481559	0.9998265125	- 1 5 39.270000	UTM 30
NEO	000	2000	4501344.78270 0.00205	358035.79547 0.00175	1104.74435 0.00050	UTM 30 m
SFMC		2000	0.9998480714	0.9998265312	- 1 5 38.590000	UTM 30
NEO	000	3000	4501321.65939 0.00157	358027.77654 0.00092	1103.60220 0.00049	UTM 30 m
SFMC		3000	0.9998480995	0.9998267106	- 1 5 38.780000	UTM 30
NEO	111	4000	4501318.55840 0.00000	358005.40320 0.00000	1103.10060 0.00000	UTM 30 m
SFMC		4000	0.9998481777	0.9998267893	- 1 5 39.400000	UTM 30

Tabla 12.- Coordenadas Cartográficas UTM con altitud ortométrica  
(Microsearch GeoLab v.2001)



CÁLCULO RED COMPLETA 1ª Camp (Az fijo)							
Microsearch GeoLab, V2001.9.20.0		GRS 80		UNITS: m, GRAD Page 0017			
Geoid Values:							
CODE	STATION	N/S DEFLECTION		E/W DEFLECTION		UNDULATION	
GEOI	1000	0 0	4.55	0 0	4.97	54.34230 m	
GEOI	2000	0 0	4.54	0 0	4.96	54.34240 m	
GEOI	3000	0 0	4.54	0 0	4.97	54.34370 m	
GEOI	4000	0 0	4.54	0 0	4.97	54.34420 m	

Tabla 13.- Desviación de la vertical y ondulación del geoide (Microsearch GeoLab v.2001)

Los resultados que se muestran en las tablas anteriores corresponden a los valores obtenidos en la primera campaña, procediendo de forma análoga en las otras dos campañas. De los estudios comparativos entre ellas, tal como se analizará en el capítulo 4.1, se extraen conclusiones sobre las precisiones en las observaciones y estabilidad en los pilares.

Calculadas y ajustadas las coordenadas de los cuatro vértices de la red principal de apoyo, se procede a continuación a realizar el cálculo de la red conformada por los puntos de control que servirán para contrastar las observaciones realizadas con los escáneres láser.

### 3.3.2.2. CÁLCULO DE LA RED DE PUNTOS DE CONTROL

Tal como se ha descrito en el apartado 3.3.1. Trabajo de Campo, la toma de datos de los puntos de control se ha realizado de forma conjunta con la de los puntos que configuran la red de apoyo, con la diferencia de que entre estos se han realizado medidas de distancias, mientras que para aquellos sólo se han efectuado determinaciones angulares. Esto condiciona a que el cálculo de las coordenadas de los puntos que configuran la red de control se realice por métodos de intersección directa de visuales o angular y de nivelación trigonométrica.

Cada par de pilares de la red de apoyo con cada uno de los puntos de control (dianas y esferas) conforman un triángulo de posición en planimetría (Figura 25), donde la distancia y el acimut de la base son conocidos en función de las coordenadas de aquellos, y los ángulos en dichos vértices ( $\alpha, \beta$ ) se obtienen por diferencia de lecturas acimutales observadas.

$$D_{DI} = \sqrt{X_{DI}^2 + Y_{DI}^2}$$

$$\theta_{DI} = \arctan \frac{X_{DI}}{Y_{DI}} = \arctan \frac{X_I - X_D}{Y_I - Y_D}$$



$$\alpha = L_{DI} - L_{DV} \quad \beta = L_{IV} - L_{ID} \quad \hat{V} = 200^g - (\alpha + \beta)$$

dicho triángulo se resuelve aplicando el teorema del seno:

$$\frac{D_{DI}}{\text{sen } \hat{V}} = \frac{D_{DV}}{\text{sen } \beta} = \frac{D_{IV}}{\text{sen } \alpha}$$

$$D_{DV} = D_{DI} \frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \hat{V}} \quad D_{IV} = D_{DI} \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \hat{V}}$$

$$\theta_{DV} = \theta_{DI} - \alpha \quad \theta_{IV} = \theta_{ID} + \beta$$

$$X_V = X_D + D_{DV} \cdot \text{sen } \theta_{DV} \quad X_V = X_I + D_{IV} \cdot \text{sen } \theta_{IV}$$

$$Y_V = Y_D + D_{DV} \cdot \text{cos } \theta_{DV} \quad Y_V = Y_I + D_{IV} \cdot \text{cos } \theta_{IV}$$

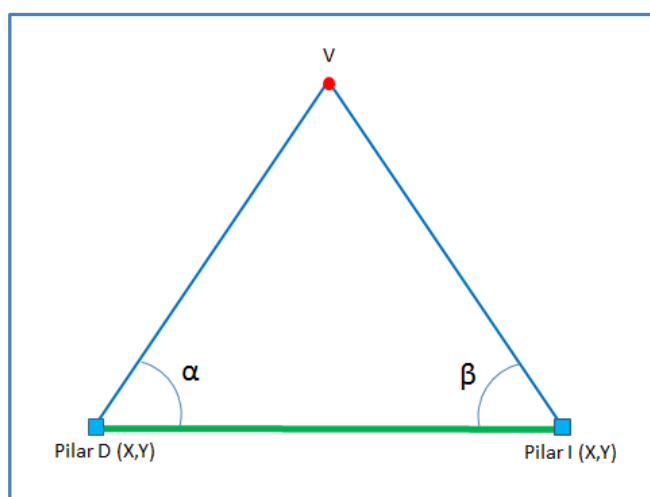


Figura 25.- Esquema genérico de intersección directa.

El procedimiento numérico de resolución se basa en el cálculo de todas las intersecciones directas (Figura 26) que se pueden obtener con las observaciones realizadas, en cada campaña, desde los cuatro pilares de la red de apoyo a las dianas de puntería y esferas, existiendo seis hipotéticas intersecciones directas a cada una de estas, lo que permite efectuar un proceso múltiple de cálculo, teniendo en cuenta además que se han realizado tres series en cada estacionamiento, permitiendo todo ello detectar posibles errores en la observación, así como determinar la precisión alcanzada. Fijándose el valor máximo del semieje mayor de la elipse de tolerancia, lo que permite descartar las intersecciones que lo sobrepasen.

$$\vartheta = \frac{D \cdot e_a}{\text{sen } \frac{\hat{V}}{2}}$$



PROCESO DE TRABAJO

Conocidas las características técnicas de la Estación Total Leica TCA-2003, considerando los errores de estacionamiento, tanto del instrumento como de las señales de puntería y esferas, de una magnitud de 0.5 mm., al efectuarse siempre con sistema de centrado forzado, realizando las punterías por coincidencia y dado que las distancias de trabajo están comprendidas entre los 15 y los 66 metros, se obtienen valores para el error máximo en visuales acimutales ( $e_a$ ) que van desde los 42,6 a los 10,2 segundos centesimales respectivamente, repercutiendo en errores transversales que rondan el milímetro. Al fijar como valores límite del ángulo de intersección los 30 y 170 grados centesimales se obtiene, para tales situaciones extremas, valores del semieje mayor de la elipse de error que rondan los 4.4 mm. Para el error máximo en visuales cenitales ( $e_c$ ) se obtiene el valor de 3,2 segundos centesimales, lo que repercute en un error lineal vertical que para la distancia mayor alcanza los 0.3 mm.

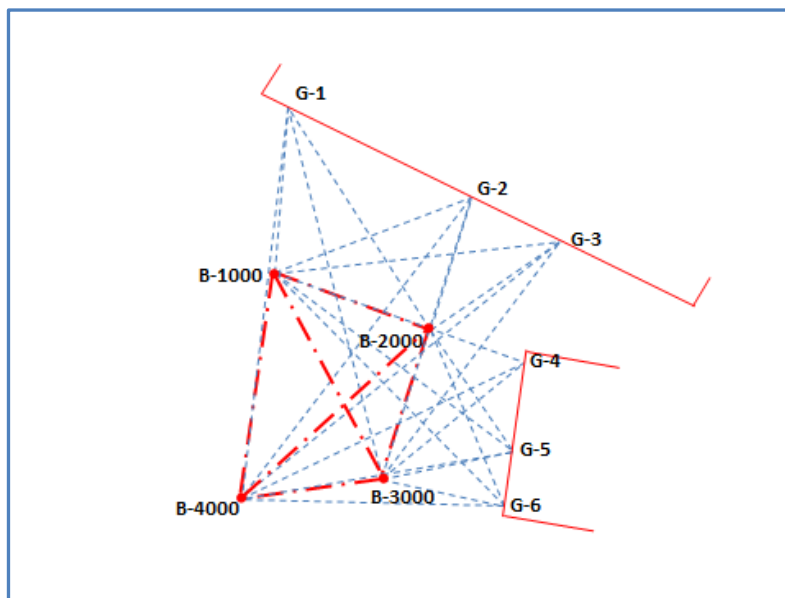


Figura 26.- Croquis en planta de la red completa

A partir de dichas observaciones se obtienen, para cada uno de los puntos de control, series de coordenadas parecidas, pero no idénticas, consistiendo el método en establecer las medias ponderadas correspondientes, en función de las características y geometría de los triángulos, para obtener así las coordenadas definitivas de cada una de las placas y esferas de puntería. Para realizar el cálculo y ajuste de esta red de control nuevamente se recurre al programa Microsearch GeoLab, considerando ahora fijas las coordenadas de los cuatro pilares de la red de apoyo, que se han calculado previamente como ya se ha visto, de esta forma se dispone de seis bases fijas para dicho cálculo (Anexo 114). El programa nos



proporciona las coordenadas ponderadas de todos los puntos de la red en los mismos sistemas de referencia ya vistos para el cálculo de la red de apoyo.

```

TITL CÁLCULO RED COMPLETA 1*Camp(Pilares fijos)
*Imprimir soluciones
PSOL YES YES
*Nº decimales imprimir obs. angulares
ADEC 2
*Tipo angular (sexa / cente)
ANGT GRD
*Geoide de referencia
GFIL d:/tesis/EGM08_REDNAP.bin
*PMIS NO          2          2
*Relación de las coordenadas a imprimir
PADJ YES YES YES YES YES YES YES
SIGM dis  0.0010    1.0000    0.0010    0.0010    0.0010    m
SIGM dir  1.5000    0.0000    0.0010    0.0010    0.0010    m
SIGM ang  1.5000    0.0000    0.0010    0.0010    0.0010    m
SIGM azi  1.5000    0.0000    0.0010    0.0010    0.0010    m
*SIGM ohd  0.0050    0.0000    0.0010    0.0010    0.0010    m
SIGM van  1.5000    0.0000    0.0010    0.0010    0.0010    m
*Coordenadas calculadas con GeoLab
NEH 111 1000          4501354.4845    358011.6380    1159.2058 UTM 30 m
NEH 111 2000          4501344.7827    358035.7955    1159.0868 UTM 30 m
NEH 111 3000          4501321.6594    358027.7765    1157.9459 UTM 30 m
NEH 111 4000          4501318.5584    358005.4032    1157.4448 UTM 30 m

```

Tabla 14.- Datos de partida para ajuste de Red de Control

(Microsearch GeoLab v.2001)

Realizando estudios comparativos entre los resultados obtenidos en las diferentes campañas se verificará la precisión alcanzada en las observaciones y se determinará la estabilidad de las señales, tal como se verá en el capítulo 4.1.

Como ya se ha dicho, el objetivo de las redes de apoyo y control es, una vez obtenidas sus coordenadas y contrastada su estabilidad, que sirvan para la determinación de las precisiones alcanzadas por los escáneres láser en sus mediciones. Para ello se estacionarán dichos escáneres sobre pilares de la red de apoyo, realizando barridos sobre las señales de puntería con el objeto de obtener sus coordenadas y proceder a la realización de estudios comparativos entre los resultados. Las coordenadas obtenidas con los escáneres láser están sobre un sistema topocéntrico horizontal mientras que las calculadas mediante Microsearch GeoLab se encuentran en un sistema geocéntrico ecuatorial, por tal motivo se hace necesario proceder a la unificación del sistema.

Con el objeto de llevar a cabo las determinaciones del contraste métrico, es necesario referir las coordenadas de todos los vértices y puntos de control, de las diferentes tomas instrumentales, a un mismo sistema de referencia. Dicha unificación se efectúa considerando el vértice (pilar de estacionamiento) denominado



B-4000 como el origen del sistema de referencia. Para realizar la transformación de las coordenadas cartesianas geocéntricas, en primer lugar se procede a desplazar el origen del sistema para situarlo sobre el vértice B-4000, esto supone realizar una traslación cuyo vector tiene como componentes las propias coordenadas geocéntricas de dicho vértice  $T \equiv (T_x, T_y, T_z) = (X_{4000}, Y_{4000}, Z_{4000})$ , lo que permite calcular las coordenadas del resto de puntos referidas al nuevo origen:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_T = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_{4000} \\ Y_{4000} \\ Z_{4000} \end{pmatrix}$$

Una vez desplazado el origen, se procede a realizar los giros necesarios para su transformación en un sistema cartesiano topocéntrico horizontal, para ello se debe realiza en primer lugar un giro directo sobre el eje z siendo su magnitud de  $g_z = 90^\circ - \lambda_{4000}$  lo que permite colocar el eje y en la dirección del meridiano del lugar, a continuación se realiza un giro, también directo, sobre el eje x cuyo valor será  $g_x = 90^\circ - \varphi_{4000} + \xi_{4000}$ , siendo  $\xi$  el valor de la componente, en el plano del meridiano, de la desviación relativa de la vertical para el vértice B-4000, de esta forma el eje z queda coincidente con la dirección de la vertical en dicho punto, el Sistema queda de esta forma correctamente orientado, no siendo necesario realizar giro alguno sobre el eje y al igual que tampoco hay que realizar aplicación de factor de escala por no producirse variación en la misma.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & \text{sen } \gamma \cos \alpha & \text{sen } \gamma \sin \alpha \\ -\text{sen } \gamma & \cos \gamma \cos \alpha & \cos \gamma \sin \alpha \\ 0 & -\text{sen } \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_T$$

siendo  $\gamma = 90^\circ - \lambda_{4000}$      $\alpha = 90^\circ - \varphi_{4000} + \xi_{4000}$

Este proceso se repite en cada campaña, siendo sobre dicho Sistema cartesiano de referencia, que se ha denominado Sistema 4000, en el que se realizarán los estudios métricos comparativos que permitirán determinar las precisiones obtenidas por los escáneres láser, tal como se verá en el capítulo 4.

### 3.4. OBSERVACIÓN CON ESCÁNERES LÁSER 3D

Los fabricantes de escáneres láser dan a conocer, en sus prescripciones técnicas, las precisiones de los mismos, ilustrando las ventajas de su producto en particular. No obstante, la experiencia demuestra en muchas ocasiones que dichos valores no deben ser tomados como reales, ya que la precisión de los instrumentos, que se fabrican en series limitadas, varía de un instrumento a otro y depende de la calibración individual. Cada nube de puntos producida por un escáner láser contiene un considerable número de los mismos que presentan errores groseros. Si el producto entregado es dicha nube de puntos, la precisión no se puede garantizar de la misma manera que con instrumentos topográficos convencionales.





Para poder describir de forma sistemática las fuentes de error que intervienen en las medidas realizadas con escáneres láser, se suelen clasificar en cuatro categorías: errores instrumentales, errores relacionados con el objeto, errores debidos al entorno y errores metodológicos.

Los errores instrumentales pueden ser sistemáticos o aleatorios, siendo inherentes al diseño del escáner.

Los errores instrumentales sistemáticos pueden ser generados por:

- la no linealidad de la unidad de medición del tiempo.
- la deriva de temperatura en la electrónica de medición del tiempo, provocando deriva en la distancia.
- deformaciones o imperfecciones de los espejos.
- la imperfecta alineación de los ejes del escáner. Para desarrollar los procesos de calibración de un escáner láser, se necesita un modelo geométrico del mismo, a pesar de las diferencias en el diseño mecánico, el modelo es análogo al de una estación topográfica, quedando definido por los siguientes ejes:
  - o Eje vertical: es el eje de rotación del escáner, ortogonal a los ejes de oscilación de los espejos, permite mover el haz láser de forma horizontal.
  - o Eje de colimación: es el eje que pasa por el centro del espejo de exploración y el centro de la huella del láser sobre la superficie del objeto escaneado, al ser el rayo láser divergente y de forma cónica.
  - o Eje horizontal: es el eje de rotación del espejo de exploración. Debido a las tolerancias en la fabricación, estos ejes no quedan perfectamente colocados, originando errores en la colimación y en la horizontalidad cuando se estaciona el escáner.

Los errores instrumentales aleatorios afectan principalmente a la precisión de la medida y la localización del ángulo en los sistemas de medición, pudiendo ser originados por:

- la divergencia del haz (anchura que alcanza con la distancia recorrida) en su propagación, lo que tiene repercusión sobre la resolución de la nube, provocando ambigüedad en la posición del punto medido.
- el problema denominado de "borde partido", como consecuencia de la divergencia del haz, que se produce cuando éste choca contra un borde de un objeto, dividiéndose el haz en dos partes, una que se refleja en la primera parte del salto mientras que la otra lo hace más lejos, cuando alcanza otra superficie, devolviendo una información al receptor desde dos objetos diferentes en el espacio lo que puede



ocasionar una incorrecta determinación de la distancia, así como la aparición de ruido. Los escáneres con una anchura de haz menor ayudan a solucionar este problema, pero hay que tener en cuenta que aumenta con la distancia.

- la ambigüedad en la distancia que, para un escáner basado en el tiempo de vuelo depende de la precisión del reloj, mientras que para los que operan mediante diferencia de fase depende de la estabilidad del oscilador de modulación de frecuencia y de la razón señal ruido. La mayoría de los escáneres terrestres de medio y largo alcance proporcionan una ambigüedad en la distancia de entre 5 mm y 50 mm para una distancia de 50 m.
- la ambigüedad angular, debido a que la mayoría de los escáneres láser utilizan espejos rotatorios para guiar la señal, una pequeña diferencia angular puede provocar un error considerable en las coordenadas cuando la distancia aumenta, pudiendo depender de cualquier error en la posición de los espejos y/o de la precisión en la medición de los ángulos. Para detectarlo es necesario realizar comparaciones con mediciones realizadas con métodos topográficos más precisos.

Los errores relacionados con el objeto son los asociados a los elementos explorados, debido a que los escáneres miden la reflexión del haz láser sobre su superficie. Esto implica que la calidad de los resultados obtenidos depende, en gran medida, del tipo de superficie explorada, es decir, del su índice de reflexión, haciéndose necesario tratar leyes físicas de la misma así como las propiedades ópticas de los materiales. La reflexión puede definirse como el cociente entre la energía reflejada y la incidente, estando afectada por la absorción de la señal que viaja por el aire, por la propia reflexión del material sobre el que se mide y por el ángulo de incidencia entre el haz láser y la superficie medida.

Esto significa que para superficies muy oscuras (negras) que absorben la mayor parte del espectro, la señal reflejada será muy débil, por lo que la precisión del punto estará afectada por el ruido, mientras que superficies con alta reflectividad (luminosas) darán mediciones más fiables y precisas, pero si aquella es demasiado alta (metales, reflectantes) el haz láser será desviado totalmente sobre otras superficies o se propagará por el aire libre, provocando que el punto medido no sea al que apunta el láser, sino otro o ninguno. Este tipo de ruido se denomina *speckle*. En superficies que presentan reflectividad diferente también se originan errores sistemáticos en la distancia, que pueden alcanzar una magnitud de varias veces la desviación estándar de una simple medición.

Otros factores que también intervienen en la reflectividad son: el color del objeto, que puede ocasionar discrepancias sistemáticas significativas en la distancia, relacionadas generalmente con la longitud de onda del láser utilizado; la rugosidad y porosidad de la superficie; la temperatura y la humedad de la superficie; algunos



materiales presentan una capa semitransparente que permite pasar el haz láser refractándose y reflejándose en el propio material (madera, mármol, algunos materiales plásticos) que producen una constante de adición en las mediciones de la distancia que debe ser considerada en su cálculo.

Los errores debidos al entorno son los referentes a los factores ambientales, dado que toda operación de medición de distancia está afectada por las variaciones atmosféricas de temperatura, presión y humedad relativa, influyendo sobre el índice de refracción y modificando la longitud de la onda electromagnética, haciendo que la velocidad de la luz láser varíe dependiendo de la densidad del aire. Además, los escáneres láser para funcionar correctamente deben de utilizarse dentro de un determinado rango de temperatura, e incluso dentro de éste puede presentar desviaciones en las medidas, debido a que dentro del escáner suele ser bastante más elevada, pudiendo provocar dilataciones que distorsionan los datos tomados. Como se ha expresado en párrafo anterior, no sólo la temperatura del equipo es importante, sino también la temperatura de la superficie del objeto explorado, ya que si es alta, la radiación que produce reduce la razón señal ruido y, en consecuencia, también la precisión de las mediciones. A través del software del escáner se puede modificar el parámetro de refracción, siendo despreciable su aplicación para distancias cortas, pero cuando se pretende realizar mediciones en alta precisión será necesario aplicar los parámetros de corrección atmosférica.

Además de los factores atmosféricos, debido a que los escáneres láser trabajan en una banda de frecuencia muy estrecha, la precisión en la medición puede estar influenciada por otros tipos de radiaciones externas, tales como fuentes de iluminación de cierta potencia incluida la propia luz solar, pudiendo obligar a la utilización de ciertos filtros especiales que impidan dichas interferencias.

También se produce la denominada distorsión por movimiento, originada por que, durante el tiempo que el escáner permanece en estación, realiza movimientos para la exploración de objetos, así como retornos a la posición origen cuando el escaneado no es continuo, haciéndolo susceptible de posibles movimientos, de difícil determinación en la mayoría de los casos al mezclar sus efectos con posibles variaciones producidas por cambios de temperatura.

En lo relativo a los errores metodológicos, serán los ocasionados en función del método de trabajo empleado para realizar el proceso de exploración.

Según lo expuesto en párrafos precedentes, las fuentes de error son múltiples y variadas, haciéndose inviable generar un único modelo para realizar el contraste pormenorizado del escáner, así como la separación y repercusión de cada uno de los errores. Para determinar la magnitud de cada uno de los errores instrumentales se requiere de un trabajo minucioso, realizado en laboratorio y en unas condiciones perfectamente controladas, lo que limita su realización a talleres



## PROCESO DE TRABAJO

---

especializados, que en la actualidad sólo dispone cada fabricante. A nivel de usuario, lo que se puede realizar son estudios del comportamiento de los escáneres para diversos tipos de objetos explorados, a diferentes distancias, en condiciones dispares (interiores, exteriores) y generalmente realizando modelos comparativos entre varias series de observaciones o/y diferentes marcas comerciales de escáneres.

Según la premisa indicada en párrafo precedente, y propuesta en los objetivos planteados al inicio de este documento, con este trabajo se pretende determinar el comportamiento de dos modelos concretos de escáneres en unas condiciones habituales de trabajo y en un entorno exterior afectado por las condiciones atmosféricas, pudiendo decir, en consecuencia, que el estudio se realiza para unas condiciones efectivas de operatividad, creando un modelo que hace posible la realización de estudios comparativos múltiples, al permitir comparar los resultados obtenidos por un mismo escáner en diferentes campañas de trabajo, comparar los resultados entre ambos escáneres en cada campaña y también la comparación de los resultados de cada escáner con los obtenidos por topografía clásica.

Para poder llevar a cabo dicha labor, una vez establecida la red de los vértices de apoyo y la de los puntos de control, y contrastadas para cada campaña, la siguiente fase consiste en realizar observaciones sobre ellas utilizando los escáneres láser. Con el objeto de extremar al máximo las garantías de obtener resultados satisfactorios para el fin que se persigue, se procede a estacionar aquellos sobre pilares con centrado forzado, lo que permite una georreferenciación directa de las observaciones. Para disponer de diversos valores para las distancias de observación, se toma la decisión de estacionar los escáneres en dos pilares, utilizando el pilar B-4000, que es el que se encuentra más alejado, y el B-2000 por ser el que, en su conjunto, ofrece menores distancias de exploración. Debido a la distribución de los vértices y señales de puntería, se obtiene igualmente disparidad en los ángulos de incidencia, lo que permite analizar el comportamiento, también, en función de los mismos.

El método general de observación es el mismo para ambos escáneres, consistiendo en estacionar en primer lugar, mediante centrado forzado, en uno de los dos pilares indicados. En el resto de pilares se sitúan, también mediante sistema de centrado forzado, las esferas de colimación asociadas al escáner, procediendo a su exploración. Después son sustituidas estas esferas por las correspondientes al otro modelo de escáner, realizando también su exploración. A continuación se realiza, de forma ordenada, el escaneado de todos los grupos de señales de puntería correspondientes a la red de control. Finalizado este proceso, se repite de forma análoga desde el otro de los pilares ya indicados



Figura 27.- Estacionamiento de escáneres

En todos los casos se ha procedido a realizar los escaneados utilizando el máximo de resolución de cada instrumento, con el objeto de determinar sus máximas prestaciones, lo que implica un considerable incremento en el tiempo de observación. Para reducir dichos tiempos de exploración, se han limitado las zonas de barrido al entorno cercano de cada objeto levantado. De no proceder de esta manera, no sólo se invertiría gran cantidad de tiempo en campo, sino que se generarían ficheros de gran tamaño, más costosos de manejar y con una infinidad de puntos innecesarios para los estudios a realizar.

#### 3.4.1. ESCÁNER LÁSER TRIMBLE GX

Una vez marcadas las líneas generales del método de observación, común para ambos escáneres, se va a proceder a desarrollar más detalladamente los procesos, tanto de campo como de gabinete, particulares para cada uno de ellos, comenzando en este punto con el de la marca Trimble.

Este escáner efectúa la medición de distancias siguiendo el principio de tiempo de vuelo o impulsos, emitiendo un haz visible de color verde (Figura 28) que viaja con una velocidad finita y constante a través del medio, midiéndose el intervalo de tiempo que transcurre desde que es emitido hasta que es recibido nuevamente después de ser reflejado por la superficie de un determinado objeto, lo que permite calcular la distancia entre el instrumento y el objeto mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{v \cdot t}{2}$$



siendo ( $v$ ) la velocidad del haz y ( $t$ ) el tiempo transcurrido entre su emisión y su recepción. Dado que el haz viaja por el aire, y se pretende obtener grandes precisiones en la determinación de las distancias, se hace necesario aplicar el factor de corrección debido al índice de refracción, en función de las condiciones atmosféricas registradas, que son introducidas en el momento de realizarse la exploración.

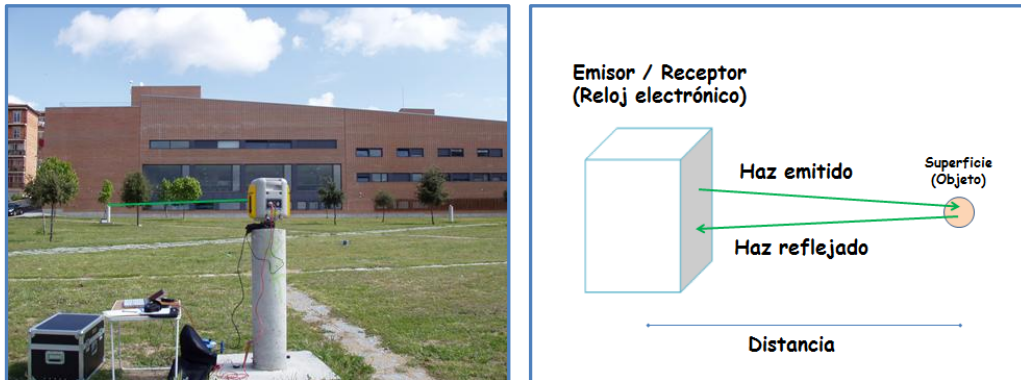


Figura 28.- Observación y fundamento: Escáner Láser Trimble GX.

Como es habitual en los escáner de tiempo de vuelo, no utiliza haces continuos, sino impulsos de láser, realizando el barrido punto a punto de todo el campo de visión seleccionado, cambiando la dirección del haz mediante una unidad de desviación consistente en un espejo basculante. Si se considera una velocidad de propagación similar a la de la luz en el aire ( $3.108\text{m/s}$ ), en recorrer un metro tardará aproximadamente 3.3 nanosegundos, lo que implica que para alcanzar una precisión de 1 mm debe de ser capaz de medir intervalos de tiempo del orden de 3.3 picosegundos, de lo que se deduce que la precisión en la medida depende fundamentalmente de la resolución del reloj. Debe tenerse en cuenta que la máxima frecuencia está determinada por el hecho de que el emisor no puede enviar un impulso hasta que no haya recibido el anterior, restricción establecida para evitar la confusión en la llegada de los impulsos y alcanzar, de esta manera, el máximo rango de certeza, parámetro que depende por tanto de la duración del impulso.

En conclusión, los factores principales que determinan la precisión en la medida con el escáner de tiempo de vuelo son:

- La capacidad de seleccionar la misma posición relativa en el impulso emitido y recibido para medir el intervalo de tiempo. Esto está limitado por el ruido, la fluctuación, la fuerza de la señal, la sensibilidad del detector y la capacidad de reproducción de impulsos del emisor.



- La precisión para fijar un lapso de tiempo.
- La precisión en la medida de los intervalos de tiempo.
- Las condiciones atmosféricas.

Presenta la ventaja de que al trabajar por impulsos del haz, se produce una alta concentración de energía transmitida en cada uno de ellos, alcanzando una buena ratio señal-ruido (SNR) lo que permite mejorar la precisión en mediciones a larga distancia. Por el contrario tiene el problema de detectar la llegada exacta de los retornos, los cuales presentan dispersiones debidas a la naturaleza cambiante de las condiciones ópticas originadas por las diferencias atmosféricas.

#### 3.4.1.1. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se inicia con el estacionamiento del escáner, para ello se coloca la base nivelante sobre el pilar con centrado forzado, se procede al calado de su nivel esférico y a continuación se fija sobre la misma el escáner. Se conectan los cables de entrada de corriente y comunicación con el ordenador.



Figura 29.- Estacionamiento del escáner láser Trimble GX

La alimentación de energía del escáner puede hacerse con baterías, pero debido a su alto consumo, el periodo de uso puede resultar escaso, siendo más aconsejable la utilización de otras fuentes de alimentación, como puedan ser las producidas por un generador eléctrico o conectado directamente a la red. En el caso de este trabajo, dada su ubicación, ha sido posible trabajar conectado directamente a la red eléctrica, utilizando cables de longitud suficiente.

Para el manejo y control del escáner se requiere de un ordenador portátil, que interconectados mediante un cable de red trenzado (UTP<sup>3</sup>), permite realizar los movimientos del instrumento, seleccionar las zonas de exploración y definir todos los parámetros de escaneado. Esto exige habilitar un lugar donde se pueda trabajar con

<sup>3</sup> *Unshielded Twisted Pair (Par trenzado sin blindaje)*



## PROCESO DE TRABAJO

el ordenador, que junto con los condicionantes de la energía necesaria, ocasionan ciertas incomodidades a la hora de la puesta en campo del equipo.

Una vez encendido el escáner y el ordenador, se inicia en éste la aplicación PointScape<sup>4</sup> que permite el acceso al escáner. Dado que la nivelación del instrumento se ha realizado de forma aproximada con el nivel esférico de la base nivelante, es posible afinarlo más mediante el nivel electrónico que incorpora, mostrando el resultado en la pantalla del ordenador, hasta alcanzar valores dentro del rango del compensador automático de verticalidad. También se introducen los valores atmosféricos para que los tenga en consideración en las medidas de distancias.

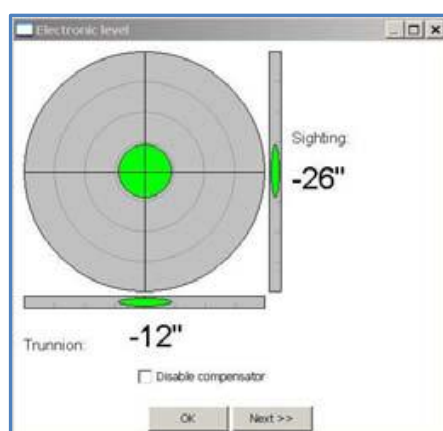


Figura 30.- Nivel electrónico con compensador automático (PointScape 4.0)

El escáner tiene definido, por defecto, un sistema de referencia instrumental fijando su origen ( $x'=0$ ;  $y'=0$ ;  $z'=0$ ) en el centro emisor-receptor del haz y estableciendo un sistema de ejes cartesianos tal que el eje  $z$  sigue la dirección del vector gravedad, según el compensador automático del nivel electrónico, con sentido positivo cenital, el eje  $y$  coincide con la dirección de emisión del haz láser en el momento de puesta en estación, siendo además ortogonal al eje  $z$ , y el eje  $x$  es ortogonal al plano definido por los dos anteriores, formando con ellos una terna dextrógira (Figura 31). Presenta la posibilidad de introducirle, de forma sencilla, las coordenadas de la estación en el sistema de referencia utilizado, así como la altura del instrumento. También es posible introducir la orientación, aunque esta opción resulta más compleja al tener que indicar las direcciones según cada eje cartesiano (Figura 32). Para evitar demoras, y principalmente pérdidas de precisión en campo, se ha optado por trabajar en el sistema de coordenadas instrumentales, siendo en gabinete donde se procederá a transformarlas al sistema cartesiano topocéntrico horizontal con origen en el vértice B-4000.

<sup>4</sup> Software de Trimble para realizar la captura de datos.



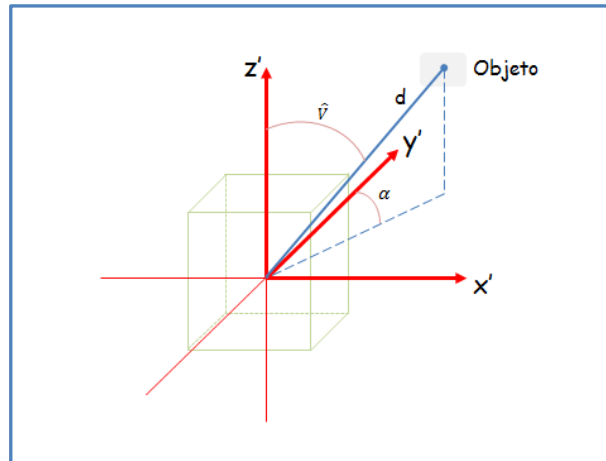


Figura 31.- Sistema de referencia instrumental Trimble GX

Properties	
<b>General</b>	
Type	Station
Name	Station_1
Time at the Beginning	10/03/2010 11:51:12
Time at the End	10/03/2010 14:03:49
<b>Content</b>	
Number of Scans	18
Number of Alignment Scans	6
Number of Points	745774
Number of Points Loaded	745774
Number of Images	1
Color of Cloud	RGB(0,255,0)
<b>Scanner</b>	
Scanner ID	50106C076
Scanner leveling	True
Instrument height	0.00 mm
Projected Instrument Position	0.00 mm; 0.00 mm; 0.00 mm
Scanner Origin	0.00 mm; 0.00 mm; 0.00 mm
Scanner Right Direction	1.00; 0.00; 0.00
Scanner View Direction	0.00; 1.00; 0.00
Scanner Up Direction	0.00; 0.00; 1.00

Figura 32.- Propiedades generales de la estación de escáner (PointScape 4.0)

El equipo está en disposición de iniciar la fase de exploración, para lo cual en la pantalla del ordenador se muestra en cada momento la imagen con la zona que se encuentra en el campo visual del escáner (Figura 33), mediante desplazamientos del ratón se dirigen los movimientos del escáner para localizar los objetos de interés para explorar.

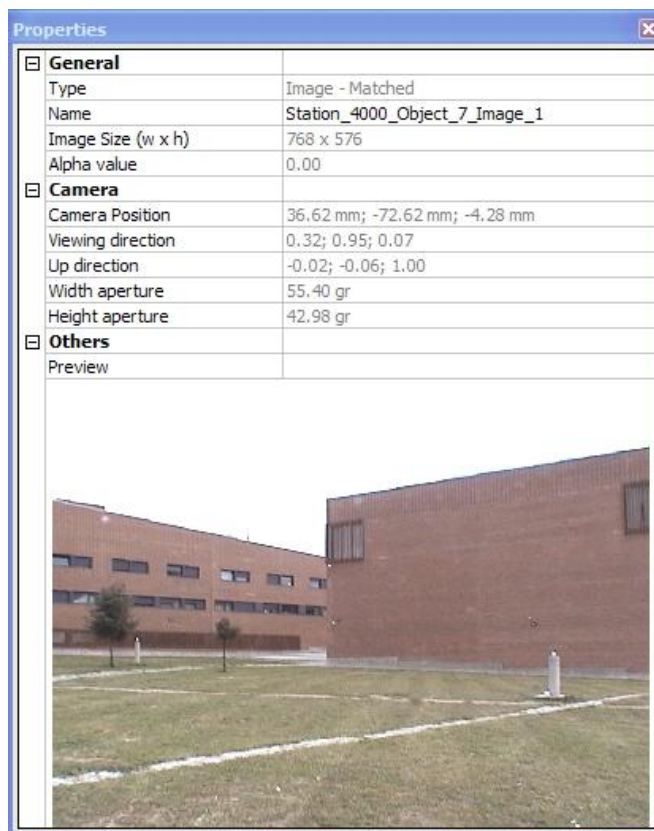


Figura 33.- Vista previa de la zona de exploración (PointScape 4.0)

Para llevar a cabo el objetivo de la tesis, no es necesario explorar grandes superficies, siendo suficiente con hacerlo sobre las placas de puntería y esferas, colocadas al efecto, y que el escáner puede asociar como geometrías conocidas, tomando la nube de puntos que las define y calculando después las coordenadas de sus centros, para efectuar su contraste con las obtenidas por métodos de topografía clásica. Siguiendo este criterio, se hace primero una exploración de cada conjunto de señales delimitando la zona que las contiene, realizándose normalmente con una resolución de 5 mm, en algunos casos se ha tenido que aumentar hasta los 2 mm para solucionar ciertos problemas en el momento del escaneado. Después se procede a rastrear zonas menores, cada una de las cuales encierra una única señal de puntería o esfera (Figura 34), aumentando la resolución a 1 mm, siendo la mayor que admite el escáner, de esta forma se aumenta al máximo el número de puntos que constituyen la nube que define los objetos (dianas circulares y esferas) y en consecuencia la precisión en las coordenadas de sus centros. El motivo de reducir a zonas pequeñas las exploraciones con máximo de resolución es para optimizar los tiempos invertidos en la toma de los datos de campo.

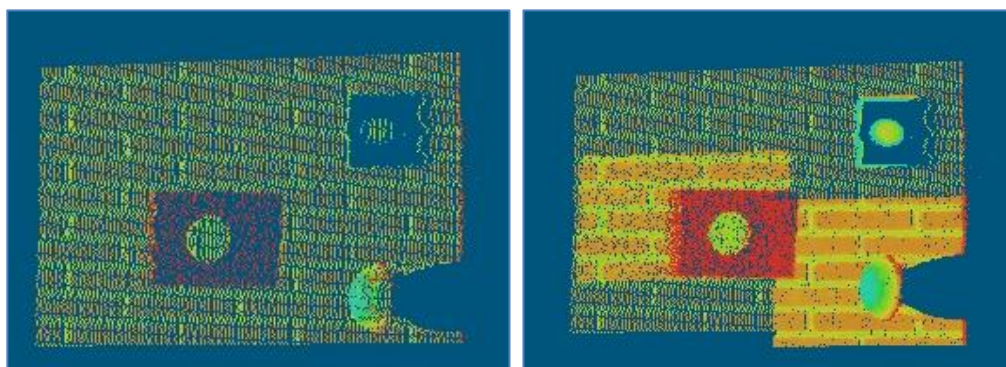





Figura 34.- Detalle con las dos fases de la exploración (PointScape 4.0)

En el momento de realizar la exploración de cada una de las zonas menores, se especifica el tipo de elemento de que se trata (objeto , esfera , placa de puntería ) , mediante las herramientas del programa (Figura 35), de esta forma se realiza la identificación, sobre la nube de puntos capturada, de la geometría correspondiente y en el caso de producirse de forma satisfactoria, procede a su asociación, informando de ello sobre la pantalla del ordenador (Figura 36), también se facilita el cuadro con las propiedades de los elementos (Figura 37).

Las placas de puntería utilizadas son de dos tipos, unas son blancas con diámetro de 76.2 mm sobre fondo verde, y las otras, también blancas, pero con diámetro de 97 mm y sobre fondo negro. En el caso de estas últimas, la asimilación de la geometría ha fallado en todas las exploraciones, debiéndose realizar con posterioridad en gabinete, mediante el programa RealWorks<sup>5</sup>. También para las esferas de menor tamaño ( $R= 38.10$  mm), que son las suministradas con el equipo, se han producido los citados fallos en algunas ocasiones, para distancias que superan los 40m., siendo igualmente solucionados con el RealWorks. En todos estos casos, el escáner invierte una determinada cantidad de tiempo en el intento de identificación, tras lo cual muestra un mensaje de error, interrumpiéndose el proceso. Si se solicita la información de las propiedades de los elementos, los datos geométricos figuran con valores nulos (Figura 38).



Figura 35.- Barra de herramientas de PointScape 4.0 (detalle)

<sup>5</sup> Software de Trimble para realizar el procesado de los datos registrados.



PROCESO DE TRABAJO

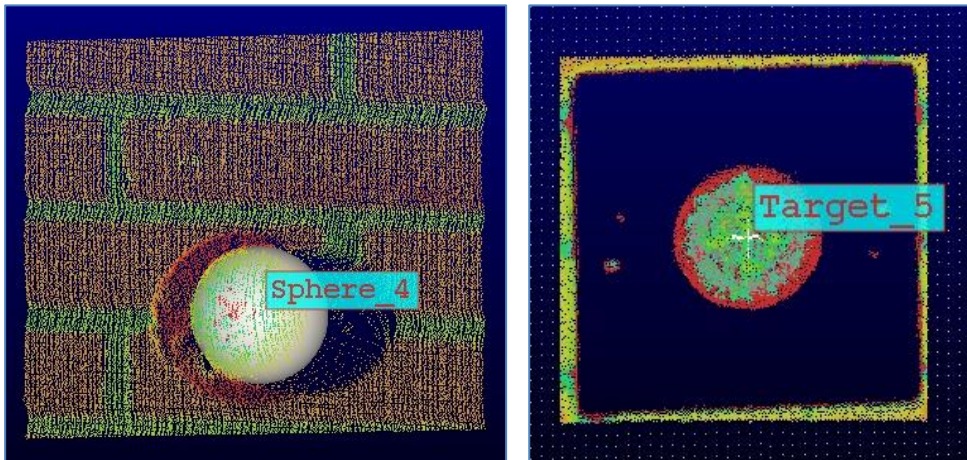


Figura 36.- Geometrías identificadas por PointScape 4.0 (detalle de pantalla)

<b>General</b>	
Type	Scan - Sphere
Name	Sphere_4
Status	Recognized Entity
Number of Points	58626
Start	13h 24m 19s
Duration	00h 04m 48s
Time remaining	00h 00m 00s
Points per second	203
Initial temperature	+30 °C
Final temperature	+31.5 °C
Color	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Comment	
<b>Geometry</b>	
Center	23.608 m , 8.181 m , 2.197 m
Distance	25.082 m
Radius	38.1 mm
Standard Deviation	0.6 mm
<b>Target paramete</b>	
Target height	0.0000 m
Point name	
Coordinates	23.608 m , 8.181 m , 2.197 m
<b>Scan parameters</b>	
Horizontal Resolution	1.0 mm at 25.100 m
Vertical Resolution	1.0 mm at 25.100 m
Number of shots	20
Tilt compensation	Static activated ( $\Delta$ : 0.004 mrad)
Begin values	Sighting: 0.657 mrad Trunnion: -0.795 mrad
End values	Sighting: 0.653 mrad Trunnion: -0.793 mrad
Atmospheric correct	-5 PPM (+12.5 °C, 1004.00 mbar)
Scan Method	Parasite point reducer: Enabled Autofocus: Enabled Grid type: Best quality Real time coloring: Disabled Min scan distance: 0 m Max scan distance: 200 m

<b>General</b>	
Type	Scan - Target
Name	Target_5
Status	Recognized Entity
Number of Points	24194
Start	13h 15m 09s
Duration	00h 01m 34s
Time remaining	00h 00m 00s
Points per second	646
Initial temperature	+29 °C
Final temperature	+29 °C
Color	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Comment	
<b>Geometry</b>	
Center	11.641 m , 18.290 m , 2.023 m
Direction of normal	0.63, 0.78, -0.00
Distance	21.775 m
<b>Target paramete</b>	
Target height	0.0000 m
Point name	
Coordinates	11.641 m , 18.290 m , 2.023 m
Tilt compensation	Static activated ( $\Delta$ : 0.012 mrad)
Begin values	Sighting: 0.630 mrad Trunnion: -0.819 mrad
End values	Sighting: 0.640 mrad Trunnion: -0.812 mrad
Atmospheric correct	-5 PPM (+12.5 °C, 1004.00 mbar)

Figura 37.- Propiedades de elementos identificados por PointScape 4.0.



<b>General</b>	Type	Scan - Sphere
	Name	Sphere_1
	Status	Aborted
	Number of Points	79506
	Start	12h 42m 49s
	Duration	00h 06m 51s
	Time remaining	00h 00m 00s
	Points per second	193
	Initial temperature	+24.5 °C
	Final temperature	+26 °C
	Color	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Comment	
<b>Geometry</b>	Center	0.0000 m, 0.0000 m, 0.0000 m
	Distance	0.0000 m
	Radius	0.0 mm
	Standard Deviation	0.0 mm
<b>Target paramete</b>	Target height	0.0000 m
	Point name	
	Coordinates	0.0000 m, 0.0000 m, 0.0000 m
<b>Scan parameters</b>	Horizontal Resolution	1.1 mm at 40.098 m
	Vertical Resolution	0.7 mm at 40.098 m
	Number of shots	20
	Tilt compensation	Static activated ( $\Delta$ : 0.013 mrad)
	Begin values	Sighting: 0.607 mrad Trunnion: -0.839 mrad
	End values	Sighting: 0.604 mrad Trunnion: -0.827 mrad
	Atmospheric correct	-5 PPM (+12.5 °C, 1004.00 mbar)
	Scan Method	Parasite point reducer: Enabled Autofocus: Enabled Grid type: Best quality Real time coloring: Disabled Min scan distance: 0 m Max scan distance: 200 m

<b>General</b>	Type	Scan - Target
	Name	Target_1
	Status	Aborted
	Number of Points	26984
	Start	12h 58m 36s
	Duration	00h 00m 29s
	Time remaining	00h 00m 00s
	Points per second	595
	Initial temperature	+28.5 °C
	Final temperature	+28 °C
	Color	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	Comment	
<b>Geometry</b>	Center	0.0000 m, 0.0000 m, 0.0000 m
	Direction of normal	0.00, 0.00, 1.00
	Distance	0.0000 m
<b>Target paramete</b>	Target height	0.0000 m
	Point name	
	Coordinates	0.0000 m, 0.0000 m, 0.0000 m
	Tilt compensation	Static activated ( $\Delta$ : 0.011 mrad)
	Begin values	Sighting: 0.594 mrad Trunnion: -0.811 mrad
	End values	Sighting: 0.590 mrad Trunnion: -0.801 mrad
	Atmospheric correct	-5 PPM (+12.5 °C, 1004.00 mbar)

Figura 38.- Propiedades de elementos no identificados por PointScape 4.0.

Para realizar las observaciones sobre los pilares se procede a la colocación, mediante centrado forzado, primeramente de las esferas propias del escáner Trimble (R=38.10 mm), y una vez exploradas todas ellas, son sustituidas por las esferas facilitadas con el escáner Faro (R=72.50 mm), debiéndose introducir, a través del menú del programa, el valor del radio de la esfera a escanear. En todos los casos se efectúa el escaneado con la máxima resolución (Figura 39).

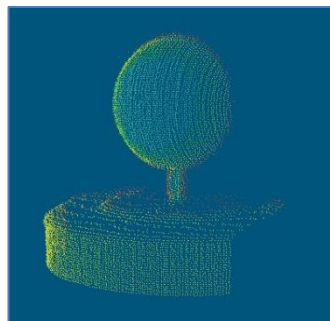


Figura 39.- Detalle de exploración de esfera sobre pilar (PointScape 4.0)



## PROCESO DE TRABAJO

---

Este proceso de exploración de todas las placas de puntería y esferas, se realiza estacionando el escáner sobre los dos vértices indicados con anterioridad (B-4000 y B-2000), en las tres campañas efectuadas. A lo largo de todo el transcurso de los trabajos realizados en campo se han observado ciertos inconvenientes, tales como:

- cuando las distancias superan los cincuenta metros, se empiezan a tener dificultades en la identificación de placas de puntería y esferas, siendo frecuente el tener que repetir las exploraciones varias veces, hasta obtener resultados aceptables.
- en repetidas ocasiones realiza el proceso de captura de forma correcta, aparentemente, y una vez finalizado el mismo muestra un mensaje de error que informa de que no se ha realizado el registro satisfactoriamente, lo que origina una pérdida doble del tiempo invertido.
- las placas de puntería blancas sobre fondo negro no las reconoce como tales, realizando sobre las mismas el proceso de escaneado, quedando interrumpido al final, sin producirse registro alguno, siendo necesario realizar la identificación y ajuste con posterioridad, en el proceso de gabinete realizado con la aplicación RealWorks.
- en las exploraciones cuya dirección se aproxima a la posición del sol, se tienen problemas de reflejos sobre el espejo reflector del haz láser, lo que impide su realización de forma adecuada, siendo necesario evitarlos improvisando una sombrilla sobre la óptica del escáner.
- a medida que se avanza en el trabajo, el software se va ralentizando en su rendimiento, lo que origina un considerable aumento en los tiempos de exploración, llegando incluso a sufrir bloqueos que obligan a reiniciarlo, siendo necesario realizar copias de seguridad con mucha frecuencia.
- mala visibilidad de la pantalla del ordenador en los días de gran intensidad luminosa.

### 3.4.1.2. TRABAJO DE GABINETE

Para cada campaña de campo llevada a cabo, se hace necesario efectuar su correspondiente trabajo de gabinete, donde se procede a depurar la información registrada en forma masiva, seleccionando los datos que son de interés para el trabajo a realizar.

En el caso que nos ocupa, no es necesario tener información de grandes superficies, siendo suficiente con tener perfectamente escaneados los elementos de puntería (placas y esferas) de los que se pretende obtener sus coordenadas con la máxima precisión. Para la determinar de éstas nos podemos encontrar ante dos situaciones diferentes, una es cuando en el proceso de toma de datos en campo,



utilizando las herramientas de la aplicación PointScape, se produce la identificación y asociación de la nube de puntos tomada con el elemento geométrico correspondiente; la otra es cuando en dicho proceso de campo, no es posible conseguir dicha identificación.

Cuando nos encontramos en la primera situación descrita, donde en la fase de exploración se produce la asociación geométrica, el trabajo de gabinete se simplifica considerablemente, puesto que en el momento de ser importado el fichero de campo mediante la aplicación RealWorks, ésta incorpora de modo automático el elemento geométrico (Figura 40 y Figura 41) determinando las coordenadas del punto que define su centro geométrico.

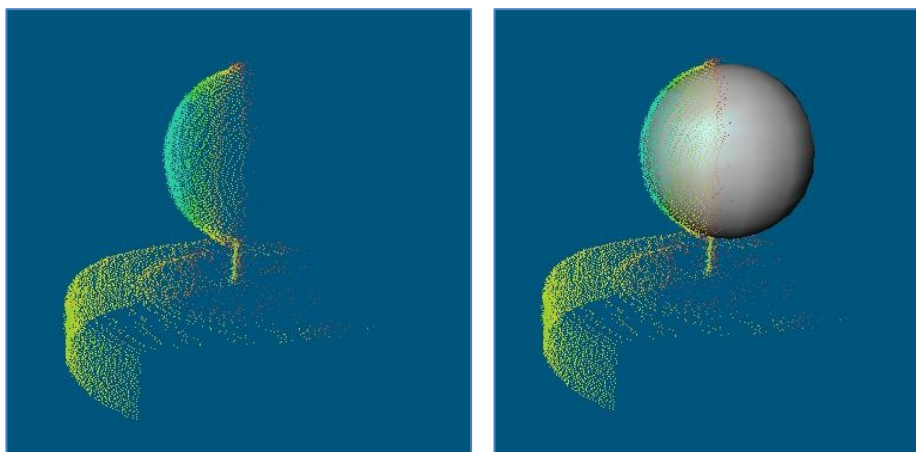


Figura 40.- Esfera importada por RealWorks 6.5.

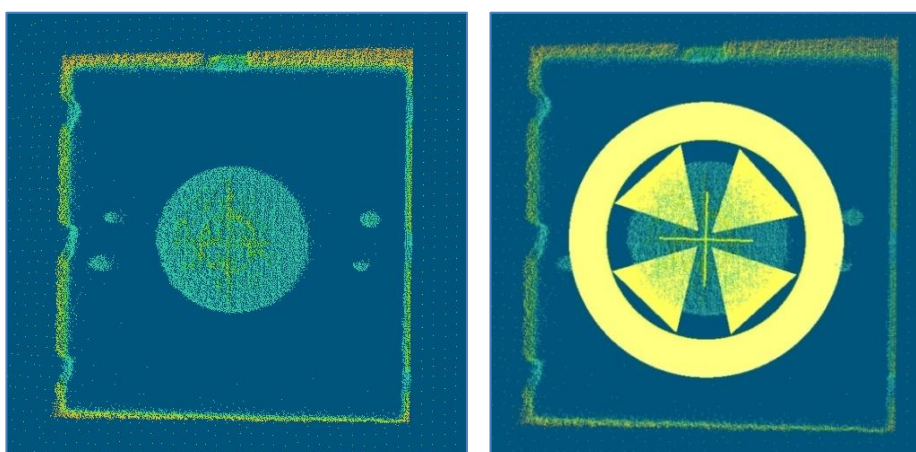


Figura 41.- Placa de puntería importada por RealWorks 6.5.



PROCESO DE TRABAJO

Analizando las propiedades de los elementos cuya geometría ha sido identificada y asociada en el proceso de exploración (Figura 42), se observa que las precisiones obtenidas con las esferas son siempre mejores que con las placas de puntería, siendo las desviaciones estándar de éstas mayores en todo momento, generalmente las superan en más del doble, lo que indica una mayor dispersión en los valores obtenidos para las coordenadas de los centros en las placas.

Properties		Properties	
<b>General</b>		<b>General</b>	
Type	Spheric Target	Type	Flat Target
Name	Sphere_4	Name	Target_5
Number of Points	58626	Number of Points	24194
Number of Points Loaded	58626	Number of Points Loaded	24194
Color of Cloud	RGB(192,157,0)	Color of Cloud	RGB(0,255,255)
Standard Deviation	0.60 mm	Standard Deviation	1.22 mm
<b>Geometry</b>		<b>Geometry</b>	
Color of Geometry	RGB(192,192,192)	Color of Geometry	RGB(192,192,192)
Center	23607.89 mm; 8181.15 mm; 2197.50 mm	Center	11640.91 mm; 18290.36 mm; 2023.41 mm
Diameter	76.20 mm	Direction of Normal	0.63; 0.78; -0.00
Direction of Axis	0.00; 0.00; 1.00	<b>Scan Informations</b>	
<b>Scan Informations</b>		Starting Scan Temperature	29.26
Starting Scan Temperature	30.34	Final Scan Temperature	29.47
Final Scan Temperature	30.99	Operator comment	
Operator comment		Firmware Version	
Firmware Version		Driver Version	
Driver Version		Scanner Options at Scan	Parasite point reducer: Enabled Autofocus: Enabled Grid type: Best quality Real time coloring: Disabled Min scan distance: 0.0 m Max scan distance: 200 m
Scanner Options at Scan	Parasite point reducer: Enabled Autofocus: Enabled Grid type: Best quality Real time coloring: Disabled Min scan distance: 0 m Max scan distance: 200 m		

Figura 42.- Propiedades de los elementos identificados (RealWorks 6.5)

Cuando en la fase de campo, el escáner no logra identificar la geometría de las esferas y placas de puntería, se debe de efectuar en gabinete utilizando las herramientas de que dispone el programa RealWorks. Con el fin de obtener dicha identificación de la forma más precisa posible, se realiza la exploración del objeto con la máxima resolución para, despues en la fase de gabinete, proceder a la segmentación del objeto con el fin de separar la nube de puntos que corresponde a la superficie de la esfera o de la placa de puntería (Figura 43 y Figura 44) y mediante

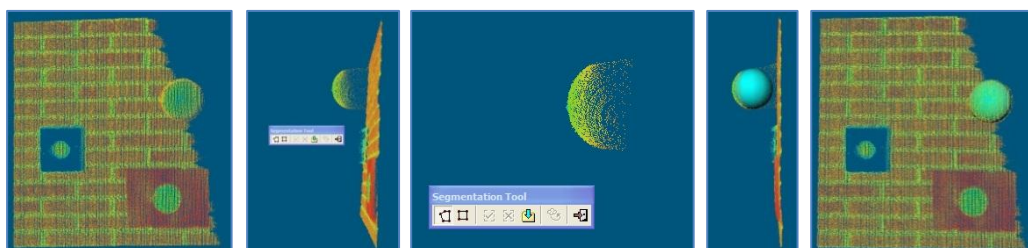


Figura 43.- Proceso de generación de esferas (RealWorks 6.5)





las herramientas de análisis de objetos y asignación de geometría, se realiza la identificación y ajuste del elemento geométrico correspondiente.

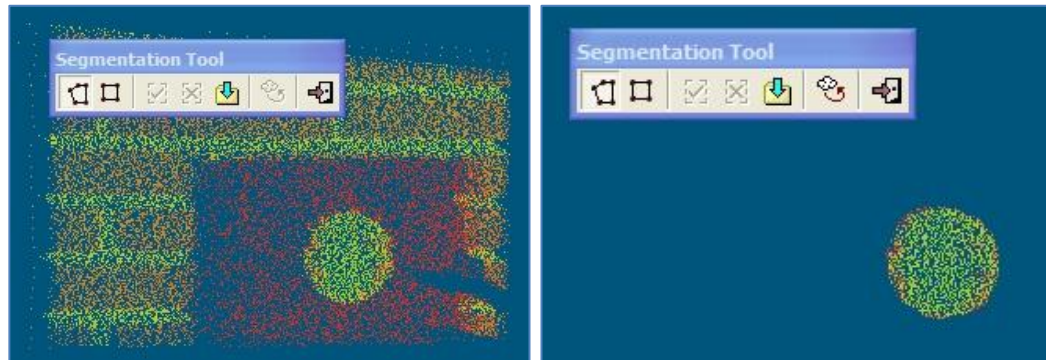


Figura 44.- Proceso de generación de placas de puntería (RealWorks 6.5)

En los cuadros de propiedades que facilita la aplicación (Figura 45) se observa que, por este procedimiento de asignación de geometrías, las desviaciones estándar con que se determinan las coordenadas de sus centros son mayores, llegando a rondar el centímetro para algunos casos de placas de puntería. Esta mayor dispersión puede traducirse en una menor precisión en las coordenadas obtenidas.

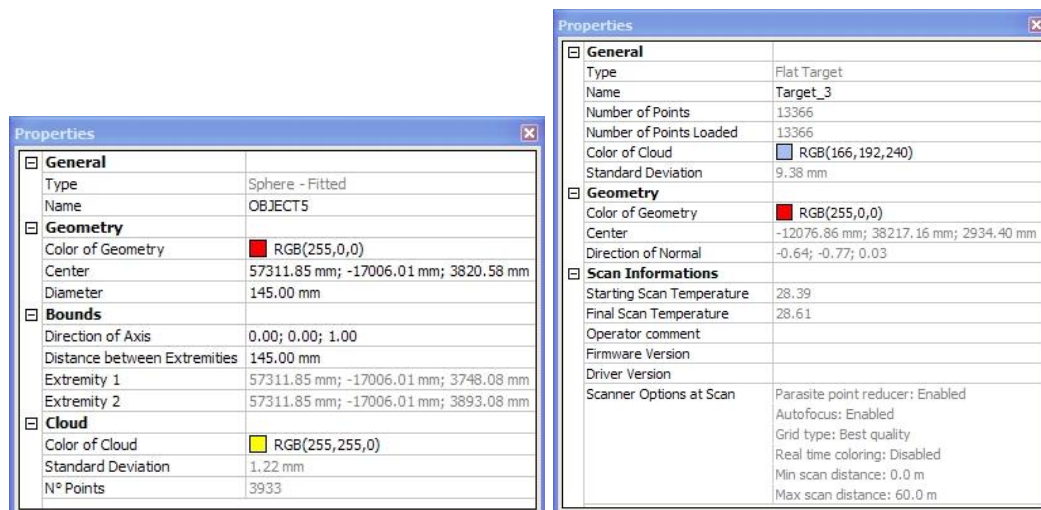


Figura 45.- Propiedades elementos asignados (RealWorks 6.5)

Obtenidas las coordenadas de todos los puntos de control, se generan los ficheros que se utilizarán para llevar a cabo los análisis métricos correspondientes, tal como se verá en el capítulo 4.



### 3.4.2. ESCÁNER LÁSER FARO PHOTON 80

El escáner láser Faro Photon 80 realiza la medición de distancias aplicando el principio consistente en determinar la diferencia de fase entre las ondas enviada y recibida, mediante su modulación, de esta forma se evita el uso de relojes de alta precisión.

Para llevar a cabo dicha determinación es necesario modular en amplitud y frecuencia el haz de luz coherente generado por el láser, siendo enviado contra la superficie del objeto a medir, produciéndose la reflexión que es capturada por el receptor que se encarga de medir la diferencia de fase, o desfase, entre las ondas enviada y recibida (Figura 46). Al ser una señal sinusoidal modulada, la luz reflejada se demodula por medio de cuatro puntos de control ( $\tau_0, \tau_1, \tau_2, \tau_3$ ), lo que permite la obtención de su amplitud  $A$  y de la diferencia de fase  $\Delta\phi$ :

$$A = \frac{\sqrt{(\tau_0 - \tau_2)^2 + (\tau_1 - \tau_3)^2}}{2}$$

$$\Delta\phi = \arctan\left(\frac{\tau_0 - \tau_2}{\tau_1 - \tau_3}\right)$$

La relación entre el desfase ( $\Delta\phi$ ), la frecuencia modulada ( $f_m$ ) y el tiempo ( $t$ ) empleado entre la emisión y la recepción del haz de ondas, viene dada por la expresión:

$$t = \frac{\Delta\phi}{2\pi \cdot f_m}$$

aplicando la ecuación de medición de distancias, se obtendrá:

$$D = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{v \cdot \Delta\phi}{4\pi \cdot f_m}$$

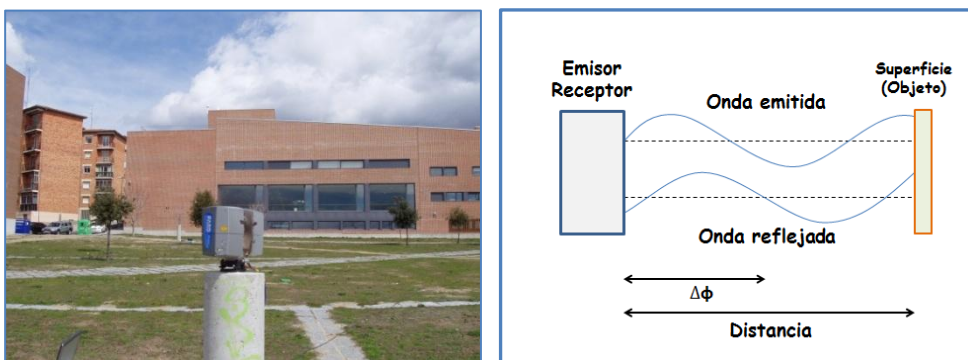


Figura 46.- Observación y fundamento: Escáner Láser Faro Photon 80.



De forma similar al escáner de tiempo de vuelo, éste también presenta un máximo rango de certeza, el cual limita su alcance a una magnitud equivalente al retardo de fase de un ciclo de onda, lo que puede originar una gran ambigüedad en la medición. Para evitarla, se suelen utilizar varias ondas, de tal forma que las de frecuencia baja (mayor longitud de onda) permiten la medición grosera de la distancia al objeto, mientras que las de alta frecuencia garantizan la magnitud con precisión. Se suelen superponer dos o tres longitudes de onda diferentes (en las especificaciones del escáner no se facilita este dato, dando únicamente el valor de una longitud de onda de 785nm.)

En conclusión, los factores principales que determinan la precisión en la medida con este escáner son:

- La frecuencia de o modulación de la señal.
- La precisión en el ciclo de medición, que depende de la fuerza de la señal y del factor ruido. Éste, a su vez, depende de la distancia y de las condiciones de iluminación.
- La estabilidad del oscilador de modulación.
- Las condiciones atmosféricas y las variaciones en el índice de refracción del aire.

Los escáneres basados en el principio de cambio o diferencia de fase suelen presentar una mayor velocidad y una mejor resolución, por el contrario suelen ofrecer una menor precisión que los de tiempo de vuelo.

#### 3.4.2.1. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se inicia con la puesta en estación del escáner Faro Photon 80, la cual se lleva a cabo de forma análoga a la comentada anteriormente, situando la base nivelante sobre el mecanismo de centrado forzado del pilar, calando su burbuja y fijando encima el escáner.



Figura 47.- Estacionamiento del escáner láser Faro Photon 80.



La fuente de alimentación del escáner puede realizarse mediante baterías o por corriente alterna, ya sea ésta suministrada por un grupo electrógeno o conectando directamente a la red eléctrica; dada la ubicación y características del trabajo, se ha optado por esta última opción. En este caso se hace necesario utilizar una *caja de conexiones*, que forma parte de equipo, a la cual se conectan el cable del suministro eléctrico, el de alimentación-comunicación con el escáner y el que transmite los datos registrados por éste, al ordenador.

Una vez estacionado el escáner se procede a su encendido, quedando registrada, en ese instante, la dirección que tiene el emisor del rayo láser como origen de medida de los ángulos horizontales (Figura 48), a partir de ese momento queda establecido el sistema instrumental de coordenadas polares, cuyo origen es el centro óptico del instrumento ( $x'=0$ ;  $y'=0$ ;  $z'=0$ ), la posición del cero acimutal es la ya indicada y los ángulos verticales se consideran a partir del horizonte del aparato, positivos hacia el cenit y negativos hacia el nadir, determinando además la distancia geométrica al objeto. Igualmente, el escáner establece un sistema instrumental de coordenadas cartesianas con el mismo origen instrumental, el eje  $z$  según la dirección del vector gravedad considerando el sentido positivo hacia el cenit, el eje  $x$  es ortogonal al anterior encontrándose sobre el plano vertical que contiene la dirección del rayo láser en el instante de su puesta en funcionamiento, el eje  $y$  es ortogonal al plano definido por los anteriores de manera que junto con ellos forme una terna dextrógira (Figura 48). El escáner ya está en disposición de iniciar la exploración, registrando las coordenadas de los objetos rastreados de forma simultánea en ambos sistemas de coordenadas instrumentales, mostrando los valores correspondientes al lugar de la pantalla donde se encuentra en cada momento el puntero del ratón; se indican también las coordenadas correspondientes a la fila y columna de dicho punto sobre la imagen plana generada, tal como se observa en la Figura 49.

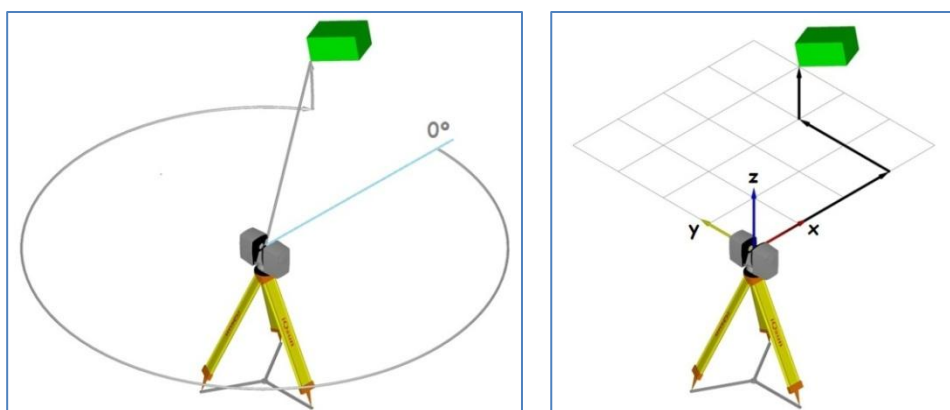


Figura 48.- Sistemas de coordenadas polares y cartesianas (manual Faro Scene 4.6)

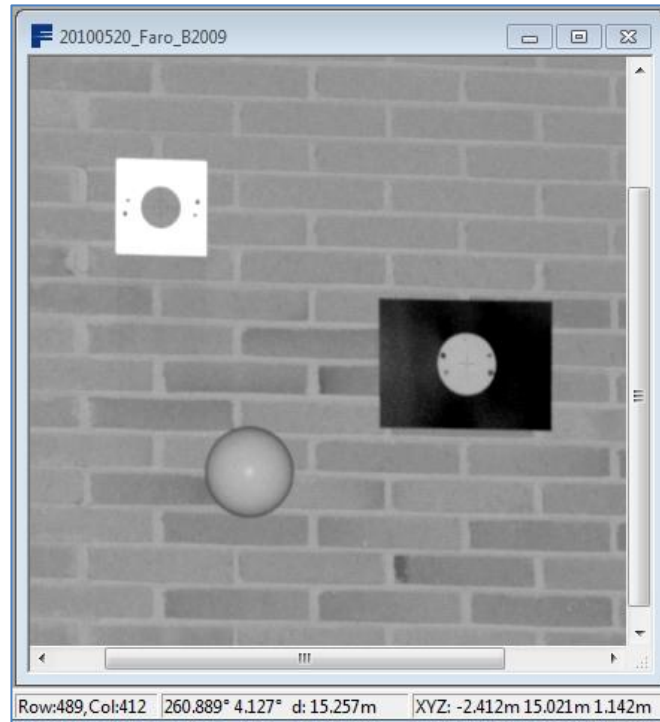


Figura 49.- Registro de coordenadas polares y cartesianas (Faro Scene 4.6)

Es posible introducir en campo las coordenadas correspondientes al punto de estación en el sistema de referencia utilizado para el trabajo, así como los ángulos de rotación sobre cada eje, necesarios para determinar la orientación adecuada del sistema (Figura 50). No obstante, para evitar errores e imprecisiones, se ha optado por realizar los registros de datos en el sistema de coordenadas instrumental, siendo en la fase posterior de gabinete cuando se efectúan las transformaciones necesarias para su referenciación al sistema cartesiano topocéntrico horizontal con origen en el vértice B-4000.

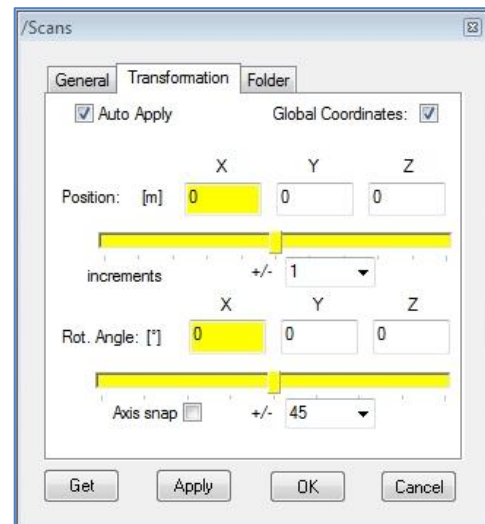


Figura 50.- Introducción de los datos de la estación (Faro Scene 4.6)



## PROCESO DE TRABAJO

Las exploraciones se pueden realizar de forma completa registrando todo lo que abarca el escáner (de 0° a 360° en sentido acimutal y de +90° a -65° en sentido vertical) o por zonas parciales, mediante la introducción de los valores angulares que delimitan su área (Figura 52). Dado que lo que nos interesa es determinar con la máxima precisión las coordenadas de los puntos de control, es necesario proceder al escaneo utilizando la máxima resolución posible alcanzada por el instrumento (definida como 1/1). Realizar una exploración completa con dicha resolución supone una gran cantidad de tiempo invertido en campo, al ser la nube de puntos registrados muy densa y de gran extensión, generando un fichero de tal magnitud, que limitaría su operatividad, además de efectuar un almacenamiento ingente de información, en su mayoría innecesaria. Por este motivo se procede a realizar la exploración solamente de las zonas concretas donde se encuentran las esferas y placas de puntería que conforman la red de control, encontrándonos con el problema de que a priori no se conocen los valores angulares que delimitan aquellas. Para solucionarlo, se lleva a cabo un escaneo previo del área completa con una resolución menor, con el fin de obtener sobre la imagen (Figura 51) los citados valores angulares. A continuación se efectúa la exploración por separado de cada una de las zonas parciales, utilizando la máxima resolución.



Figura 51.- Exploración área completa (vista parcial con zonas de estudio)

(Faro Scene 4.6)

Cada vez que se realiza una exploración, el escáner parte de la posición inicial en la que se encuentra en el momento de su puesta en funcionamiento (cero acimutal), gira hasta encontrar la zona indicada, realiza el escaneado y vuelve de nuevo a la posición inicial, en espera de recibir la comunicación para otra exploración. Estos movimientos de arranque y retorno pueden originar algún tipo de error de arrastre en la orientación de los ejes, no pudiendo ser determinado por el usuario, debiéndose



fiar de la cuantificación que hace el escáner de los mismos, mostrando el valor de los ángulos de rotación que aplica de forma automática (Figura 53) para realizar las transformaciones que permiten calcular todas las coordenadas en el mismo sistema de referencia instrumental, que el programa Faro Scene denomina como "coordenadas globales".

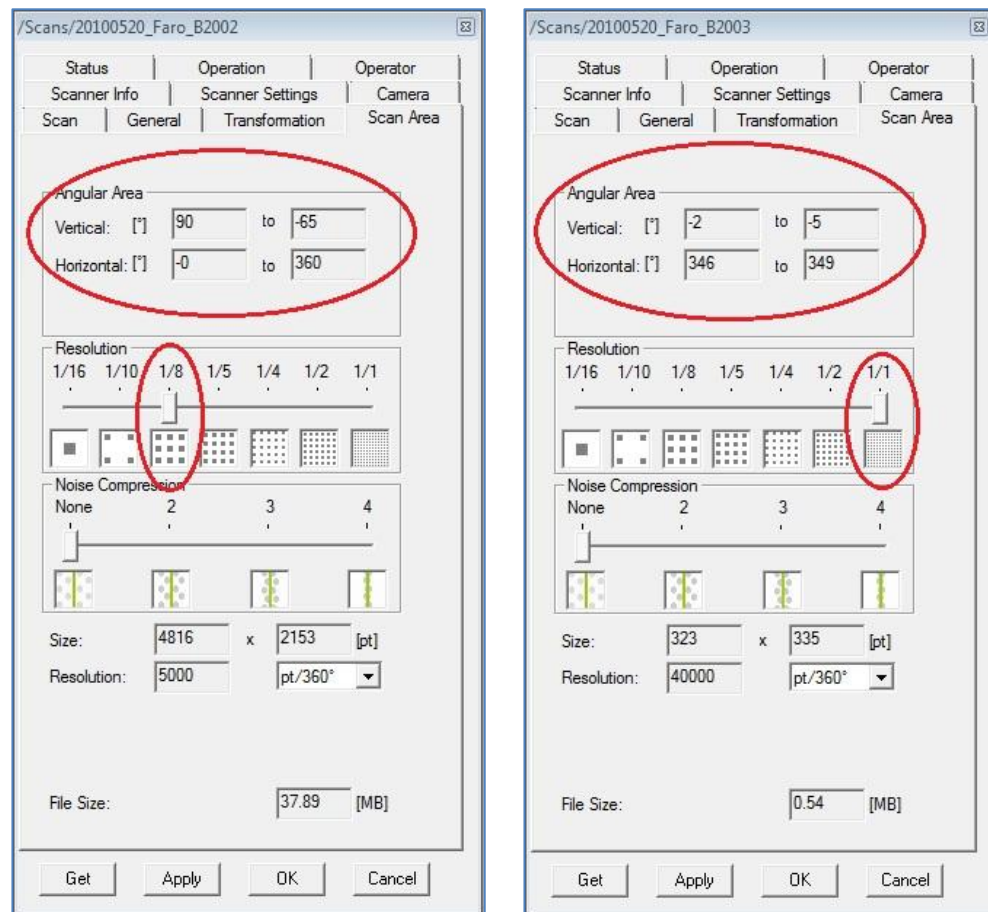


Figura 52.- Datos para exploraciones: completa y zonal (Faro Scene 4.6)

En la fase de campo el escáner realiza la exploración, sobre la zona previamente definida, de forma continua tal como se observa en la Figura 49, sin realizar ninguna asociación con los elementos geométricos (esferas, placas) registrados sobre la nube de puntos obtenida, realizando dicho proceso de asociación a posteriori, en gabinete. Este método operativo agiliza el trabajo de campo, permitiendo reducir sus tiempos de ejecución, por lo demás es análogo a lo descrito para el escáner Trimble, explorando cada grupo de señales por separado, así como cada uno de los pilares de estacionamiento, sobre los cuales se realiza doble escaneado, uno para cada tamaño de esfera colocada sobre los mismos. Proceso que



se realiza estacionando el escáner sobre los dos vértices ya indicados (B-4000 y B-2000) y en las tres campañas llevadas a cabo.

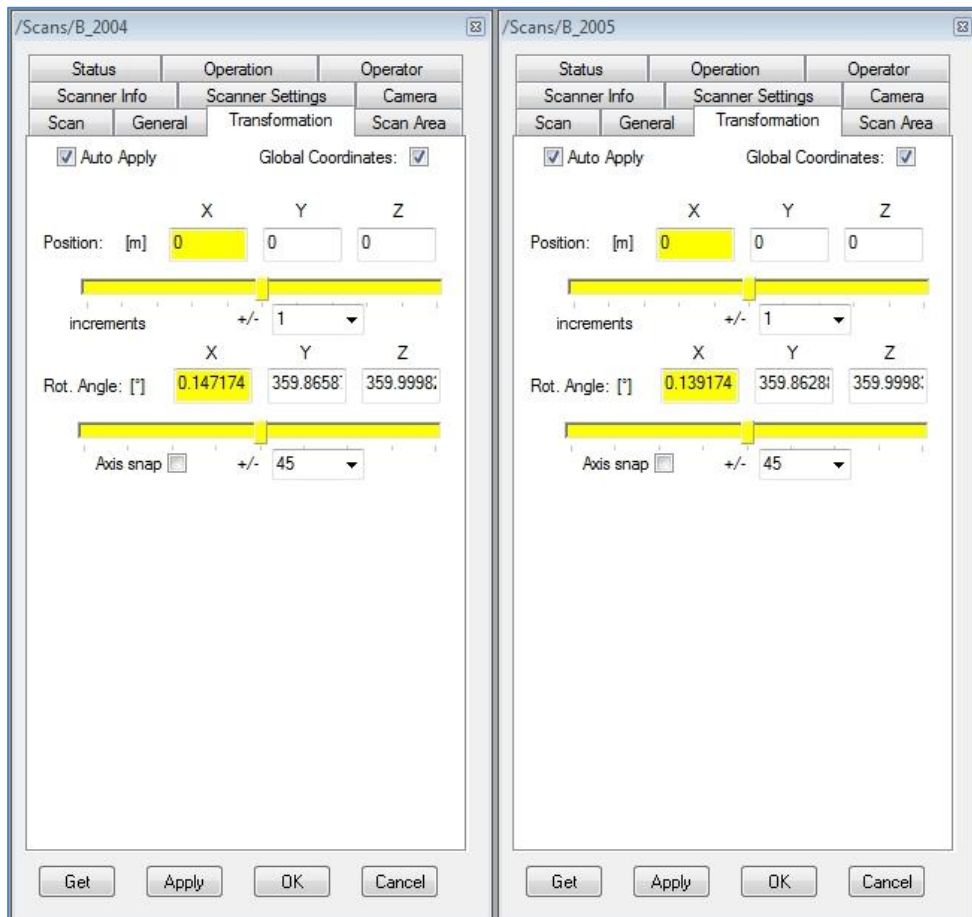


Figura 53.- Parámetros de transformación determinados por el escáner

(Faro Scene 4.6)

En el transcurso de todas las observaciones realizadas, se han detectado ciertas situaciones que pueden originar problemas en los trabajos de gabinete, cuando se tenga que realizar la asociación de las geometrías sobre los objetos escaneados. Cabe indicar que las exploraciones cuyas distancias rondan o superan los 60 metros, la definición de las esferas comienza a ser algo deficiente, especialmente para las de radio menor (Figura 54). La aplicación permite realizar la ampliación de la imagen, pero el resultado no es satisfactorio pues se produce una gran pérdida de nitidez y, en consecuencia, también de resolución (Figura 55). Otro problema detectado es que, en ocasiones, objetos situados alrededor o detrás producen reflejos o distorsiones que pueden ocasionar perturbaciones en los trabajos de gabinete (Figura 56; ver también Figura 54-I y Figura 55-I).



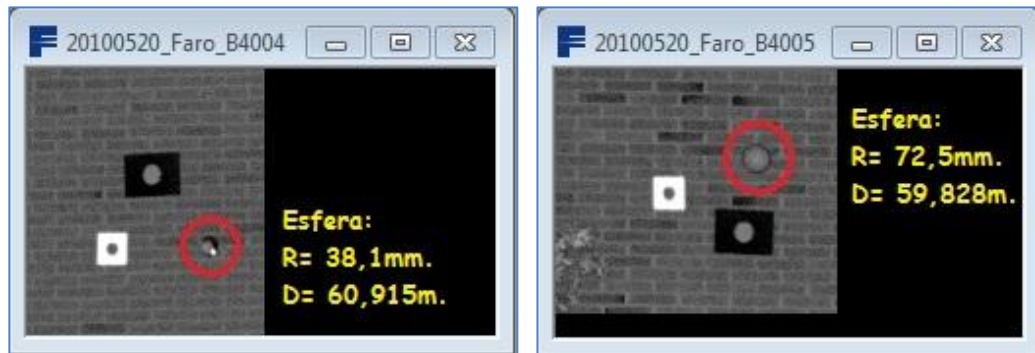


Figura 54.- Imagen registrada en campo (Faro Scene 4.6)

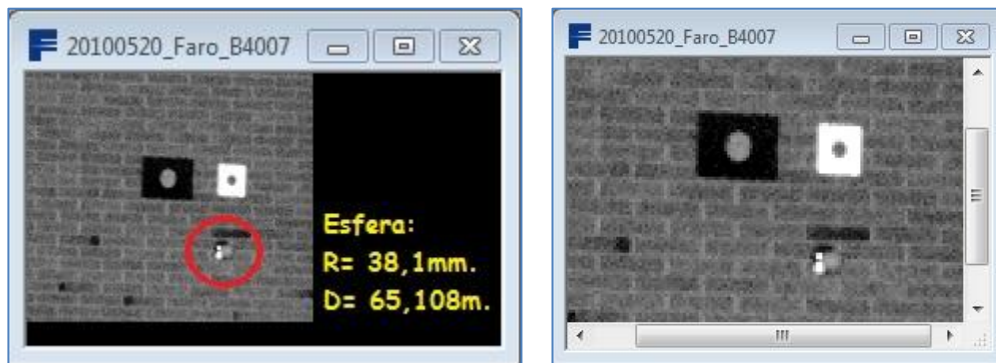


Figura 55.- Imagen de una exploración y de su ampliación (Faro Scene 4.6)



Figura 56.- Detalles de reflejos: diferentes esferas (Faro Scene 4.6)

Un inconveniente que plantea el trabajar con este escáner es el hecho de que su rayo láser sea nocivo para el ojo humano cuando se interpone en su trayectoria.



Esto obliga a la utilización, por parte del operario, de unas gafas específicas que evitan el riesgo, pero se deben de tomar una serie de precauciones con los posibles transeúntes para que no accedan a la zona de posible afectación. También hay que controlar que no interrumpen la visual entre el escáner y el objeto explorado, para que no se produzcan pérdidas de información.

Producen cierta incomodidad en el trabajo: la cantidad de instrumentación a desplazar y utilizar (escáner, ordenador portátil, fuente de alimentación, caja de conexiones, cables de alimentación y comunicación); la mala visibilidad de la pantalla del ordenador en los días con gran intensidad de la luz solar; problemas ocasionales que se producen en la comunicación escáner-ordenador, originando molestias y pérdidas de tiempo, llegando a requerir el reinicio de ambos sistemas.

#### 3.4.2.2. TRABAJO DE GABINETE

Las exploraciones realizadas, para cada una de las diferentes zonas, proporciona una imagen formada por la nube de puntos, que permite determinar sobre ella los objetos registrados. Sobre dichas imágenes se procede a asociar y ajustar los elementos geométricos, tales como esferas y placas de puntería, que permitan obtener las coordenadas de sus centros con precisión, trabajo que se tiene que realizar en el proceso posterior de gabinete.

Para llevar a cabo el ajuste de las figuras geométricas, la aplicación FaroScene dispone de la herramienta denominada "*Marcador de objetos*" que permite su asociación, para el caso en concreto que nos ocupa se utilizan las esferas y las placas de puntería circulares (Figura 58). Para las esferas, dispone también de la herramienta denominada "*Selector de esferas*" (Figura 57).



Figura 57.- Selector de esferas (Faro Scene 4.6)

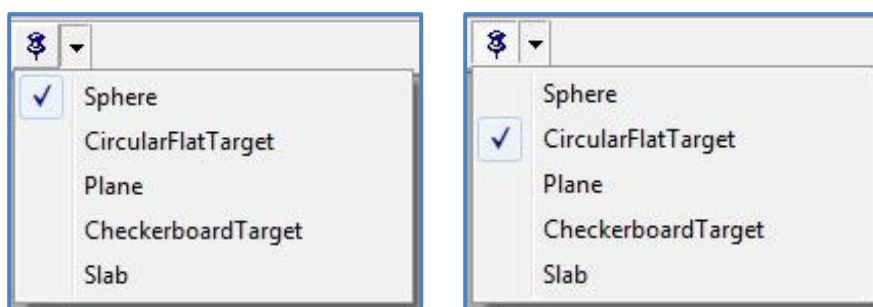


Figura 58.- Marcador de objetos (Faro Scene 4.6)

Para ajustar las esferas se ha procedido a utilizar los dos tipos de herramienta, con el objeto de comparar los resultados obtenidos entre ambas. En los



dos casos es necesario definir previamente el radio de la esfera utilizada, lo cual se realiza a través de las opciones de herramientas.

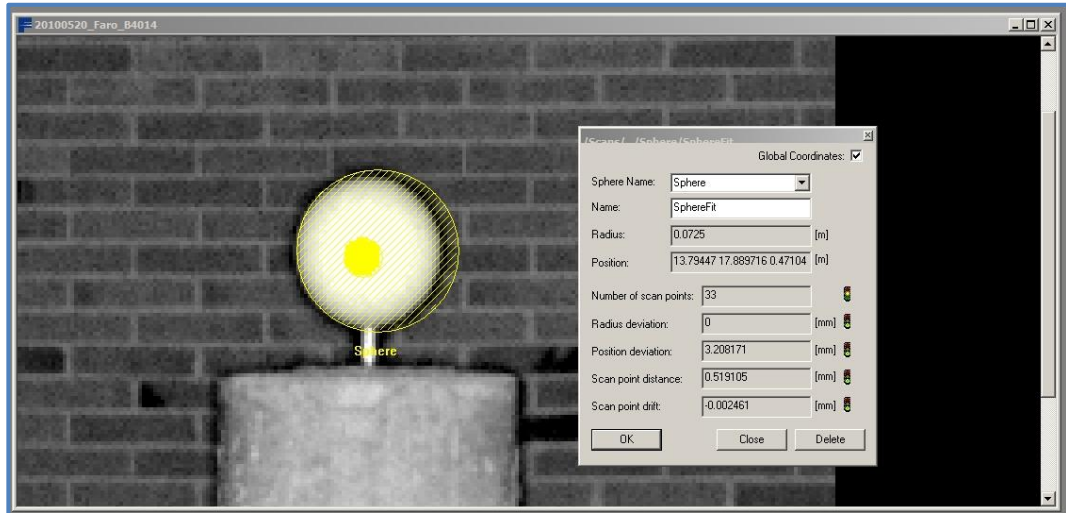


Figura 59.- Ajuste de esfera mediante "Selector de esferas" (Faro Scene 4.6)

El *selector de esferas* ajusta, a partir de los puntos de la imagen, una esfera con el radio definido, y procede a calcular el centro geométrico de la misma, como se muestra en la Figura 59.

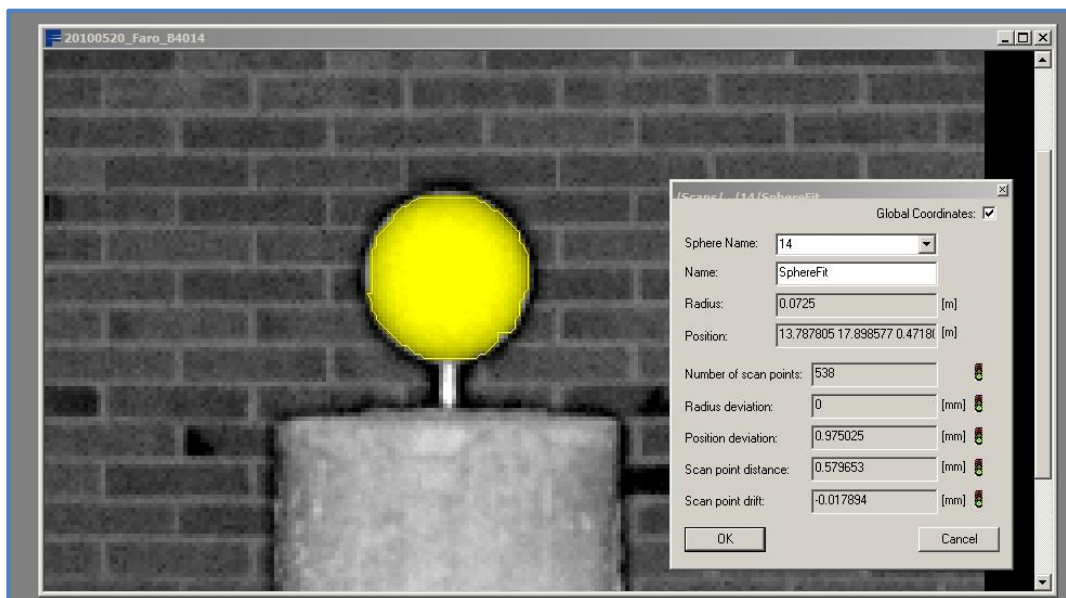


Figura 60.- Ajuste de esfera mediante "Marcador de objetos" (Faro Scene 4.6)

El *marcador de objetos* ajusta una nube de puntos sobre el contorno del objeto señalado (Figura 60), asociándola a una esfera con el radio definido y



PROCESO DE TRABAJO

calculando su centro. Comparando los resultados obtenidos para ambos procedimientos, se observan variaciones entre ellas, que en ocasiones suponen algunos milímetros. Para llevar a cabo el estudio sobre el comportamiento de dichas diferencias, se repite el proceso de ajuste seis veces con cada herramienta para las esferas situadas sobre los pilares de la red de apoyo. Analizando los resultados obtenidos se observa que entre las coordenadas calculadas con cada herramienta, sus desviaciones estándar se encuentran por debajo del milímetro, salvo alguna excepción en que lo superan, siendo más frecuente en la coordenada Z, permaneciendo las diferencias entre las medias obtenidas por ambos procedimientos (Tabla 15). Se deduce por tanto que, para la misma herramienta se obtienen resultados análogos cada vez que se aplica, produciéndose las discrepancias entre aquellas, las cuales permanecen constantes en cada punto, siendo diferentes para cada uno de estos, resultando en ocasiones despreciables y en otras alcanzan valores de algunos milímetros. Se obtiene la conclusión de que dichas diferencias se deben a imprecisiones en la definición geométrica del objeto en función de la herramienta utilizada.

Estación B-2000      1ª Campaña										
Coordenadas instrumentales de B-3001 (esfera pequeña)      d= 24,49 m.										
Selector de esferas										
	Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1b	3001	24,154353	4,083771	-1,226779	0,000156	0,000655	0,002145	0,000000	0,000000	0,000005
2b	3001	24,154212	4,083511	-1,228332	0,000015	0,000395	0,000592	0,000000	0,000000	0,000000
3b	3001	24,154101	4,082142	-1,230532	-0,000096	-0,000974	-0,001608	0,000000	0,000001	0,000003
4b	3001	24,154212	4,083511	-1,228332	0,000015	0,000395	0,000592	0,000000	0,000000	0,000000
5b	3001	24,154092	4,082248	-1,231238	-0,000105	-0,000868	-0,002314	0,000000	0,000001	0,000005
6b	3001	24,154212	4,083511	-1,228332	0,000015	0,000395	0,000592	0,000000	0,000000	0,000000
	Medias	24,154197	4,083116	-1,228924			$\sigma=$	0,000087	0,000658	0,001505
Marcador de objetos										
	Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1B	3001	24,151354	4,083760	-1,229603	0,000529	0,000284	0,000897	0,000000	0,000000	0,000001
2B	3001	24,151089	4,083522	-1,229439	0,000264	0,000046	0,001062	0,000000	0,000000	0,000001
3B	3001	24,151558	4,083465	-1,229607	0,000733	-0,000011	0,000894	0,000001	0,000000	0,000001
4B	3001	24,151558	4,083465	-1,229607	0,000733	-0,000011	0,000894	0,000001	0,000000	0,000001
5B	3001	24,149548	4,083184	-1,232426	-0,001277	-0,000292	-0,001926	0,000002	0,000000	0,000004
6B	3001	24,149844	4,083461	-1,232321	-0,000981	-0,000015	-0,001821	0,000001	0,000000	0,000003
	Medias	24,150825	4,083476	-1,230501			$\sigma=$	0,000818	0,000168	0,001326
	Dif. Medias	0,003372	-0,000360	0,001576						

Tabla 15.- Ajuste de geometrías (esfera sobre red de apoyo).

De este análisis se deduce un foco de error, que influye sobre las coordenadas obtenidas para los centros de las esferas, pudiendo concluir que, para sucesivas aplicaciones con una misma herramienta de ajuste geométrico o en función



de la herramienta seleccionada pueden producirse discrepancias que alcancen fácilmente los 3 mm.

Las desviaciones estándar determinadas para ambas herramientas son análogas, siendo en unas ocasiones mayores para el *selector de esferas* y en otras para el *marcador de objetos*, no pudiéndose afirmar categóricamente cual ofrece mayor precisión. Cuando se hacen determinaciones múltiples, tal como se ha indicado, pueden detectarse dichas anomalías, y en base a las desviaciones estándar se puede deducir el valor que más se aproxima al real. En el caso de realizar un solo ajuste con cada herramienta, si los valores difieren no es posible asegurar cual es más correcto. Y en el caso de realizar un solo ajuste utilizando una de las herramientas, se tiene la incertidumbre de la precisión alcanzada.

Estación B-2000 1ª Campaña										
Coordenadas instrumentales Grupo 2 (200=verde; 201= negra; 202=esf. grande)										
Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1v	200	-21,495694	-2,847643	1,997051	-0,000015	-0,000028	-0,000199	0,000000	0,000000	0,000000
2v	200	-21,495650	-2,848347	1,996866	0,000029	-0,000732	-0,000384	0,000000	0,000001	0,000000
3v	200	-21,495678	-2,846910	1,998018	0,000001	0,000705	0,000768	0,000000	0,000000	0,000001
4v	200	-21,495696	-2,847559	1,997064	-0,000017	0,000056	-0,000186	0,000000	0,000000	0,000000
Medias		-21,495680	-2,847615	1,997250				$\sigma=$ 0,000018	0,000509	0,000450
Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1n	201	-21,496261	-2,464568	1,818750	-0,000010	0,000153	-0,000207	0,000000	0,000000	0,000000
2n	201	-21,496261	-2,464568	1,818750	-0,000010	0,000153	-0,000207	0,000000	0,000000	0,000000
3n	201	-21,496241	-2,464874	1,819164	0,000010	-0,000153	0,000207	0,000000	0,000000	0,000000
4n	201	-21,496241	-2,464874	1,819164	0,000010	-0,000153	0,000207	0,000000	0,000000	0,000000
Medias		-21,496251	-2,464721	1,818957				$\sigma=$ 0,000010	0,000153	0,000207
Selector de esferas										
Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1G	202	-21,413816	-2,423029	2,167490	0,000102	-0,005258	-0,000385	0,000000	0,000028	0,000000
2G	202	-21,414371	-2,414847	2,165404	-0,000453	0,002924	-0,002471	0,000000	0,000009	0,000000
3G	202	-21,413326	-2,419331	2,170914	0,000592	-0,001560	0,003039	0,000000	0,000002	0,000009
4G	202	-21,414159	-2,413876	2,167691	-0,000241	0,003895	-0,000184	0,000000	0,000015	0,000000
Medias		-21,413918	-2,417771	2,167875				$\sigma=$ 0,000395	0,003667	0,001970
Marcador de objetos										
Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1G	202	-21,418892	-2,424214	2,165689	-0,000618	-0,002484	-0,000218	0,000000	0,000006	0,000000
2G	202	-21,416526	-2,421044	2,166777	0,001748	0,000686	0,000870	0,000003	0,000000	0,000001
3G	202	-21,417689	-2,420788	2,166998	0,000585	0,000942	0,001091	0,000000	0,000001	0,000001
4G	202	-21,419989	-2,420876	2,164166	-0,001715	0,000854	-0,001742	0,000003	0,000001	0,000003
Medias		-21,418274	-2,421731	2,165908				$\sigma=$ 0,001296	0,001437	0,001121
Dif. Med		0,004356	0,003960	0,001967						

Tabla 16.- Ajuste de geometrías (red de control) (1).

Para estimar la precisión con la que quedan definidas las coordenadas de los centros de placas y esferas sobre la red de control, se procede a realizar cuatro repeticiones en cada una de ellas (Tabla 16), observando que para distancias



PROCESO DE TRABAJO

inferiores a los 40m las desviaciones están por debajo del milímetros en la mayoría de los casos, con algunas excepciones donde se supera esta cifra, llegando a los 4 mm. Para distancias por encima de los 40m se pierde gran definición sobre las señales de puntería, siendo más acentuada en las placas sobre fondo verde y en las esferas de menor radio, donde las desviaciones estándar llegan a superar el centímetro. Para la esfera de radio pequeño, situada en 302 y escaneada desde B-4000, cuya distancia supera ligeramente los 65m, la definición resulta de gran imprecisión, obteniéndose diferencias que superan los 6cm (Tabla 17).

Estación B-4000      1ª Campaña											
Coordenadas instrumentales Grupo 3 (300=verde; 301= negra; 302=esf_peq.)											
	Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1v	300	18,305606	62,453638	4,487002	0,014437	0,003045	0,011077	0,000208	0,000009	0,000123	
2v	300	18,305606	62,453638	4,487002	0,014437	0,003045	0,011077	0,000208	0,000009	0,000123	
3v	300	18,268858	62,445643	4,464827	-0,022311	-0,004950	-0,011098	0,000498	0,000025	0,000123	
4v	300	18,284607	62,449453	4,464870	-0,006562	-0,001140	-0,011055	0,000043	0,000001	0,000122	
Medias		18,291169	62,450593	4,475925	$\sigma =$			0,015473	0,003330	0,011077	
	Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1n	301	17,909447	62,382394	4,466142	-0,001186	0,000128	-0,001079	0,000001	0,000000	0,000001	
2n	301	17,912685	62,382252	4,468935	0,002052	-0,000014	0,001714	0,000004	0,000000	0,000003	
3n	301	17,909447	62,382394	4,466142	-0,001186	0,000128	-0,001079	0,000001	0,000000	0,000001	
4n	301	17,910954	62,382023	4,467664	0,000321	-0,000243	0,000443	0,000000	0,000000	0,000000	
Medias		17,910633	62,382266	4,467221	$\sigma =$			0,001335	0,000152	0,001169	
Selector de esferas											
	Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1p	302	18,240236	62,464872	4,101622	0,005035	-0,001695	-0,001951	0,000025	0,000003	0,000004	
2p	302	18,235254	62,465358	4,112181	0,000053	-0,001209	0,008608	0,000000	0,000001	0,000074	
3p	302	18,235254	62,465358	4,112181	0,000053	-0,001209	0,008608	0,000000	0,000001	0,000074	
4p	302	18,230059	62,470680	4,088310	-0,005142	0,004113	-0,015263	0,000026	0,000017	0,000233	
Medias		18,235201	62,466567	4,103574	$\sigma =$			0,003599	0,002383	0,009810	
Marcador de objetos											
	Punto	Coordenadas instrumentales			Residuos			Cuadrado de los residuos			
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1p	302	18,239432	62,400336	4,107268	-0,006217	0,000588	-0,002136	0,000039	0,000000	0,000005	
2p	302	18,251867	62,399161	4,111541	0,006218	-0,000588	0,002136	0,000039	0,000000	0,000005	
3p	302	18,239432	62,400336	4,107268	-0,006217	0,000588	-0,002136	0,000039	0,000000	0,000005	
4p	302	18,251867	62,399161	4,111541	0,006218	-0,000588	0,002136	0,000039	0,000000	0,000005	
Medias		18,245650	62,399749	4,109405	$\sigma =$			0,006217	0,000588	0,002136	
Dif. Med		-0,010449	0,066818	-0,005831							

Tabla 17.- Ajuste de geometrías (red de control) (2).

El hecho de realizar múltiples ajustes geométricos sobre los objetos, y analizar los resultados, permite conocer la precisión con la que se efectúan, dato muy importante pues condiciona las precisiones máximas a alcanzar con el escáner Faro Photon 80. Pero lo que se pretende determinar, en el presente trabajos, es la precisión que se alcanza en las condiciones habituales de uso, siguiendo las prescripciones técnicas del fabricante, y que consisten en realizar mediciones directamente sobre la imagen formada en la pantalla del ordenador, sin aplicar



métodos repetitivos. Por este motivo, no se va a trabajar con los valores medios, sino con valores obtenidos de forma individual, utilizando para el estudio las coordenadas que se han definido en el primero de los ajustes geométricos realizado sobre cada señal de puntería.

Cuando las distancias superan los 40m el programa Faro Scene empieza a tener dificultades para asociar la geometría a los objetos, produciéndose multitud de fallos y malos ajustes, que obligan a repetir el proceso un gran número de ocasiones, hasta obtener resultados satisfactorios dentro de la desviación prevista, todo ello origina una gran pérdida de tiempo a tener en cuenta para el cómputo de la productividad.

Una vez obtenidas las coordenadas de los centros de placas de puntería y esferas, para ambas redes, al realizar los análisis comparativos sobre las coordenadas obtenidas mediante la estación total TCA 2003, se detectan errores en altimetría que se salen de toda previsión, con un gran número de ellos que se encuentran en una franja entre los 10 y los 25cm, llegando a superar en un caso los 27cm.

En el capítulo 3.4.2.1 se ha expuesto que el escáner efectúa la transformación de las coordenadas instrumentales, en función de los ángulos de rotación que determina para cada escaneo (Figura 53), obteniendo las coordenadas que denomina como *globales* y que están corregidas, teóricamente, de los posibles arrastres que sufra el escáner en sus movimientos de rotación, así como de la falta de verticalidad, aplicando la corrección que le proporciona el clinómetro. Realizando los estudios comparativos, sin aplicarles estas correcciones a las coordenadas, los errores disminuyen considerablemente, aunque siguen siendo elevados para las cotas, con muchos valores entre los 30 y los 40 mm, llegando a alcanzar los 70 mm.

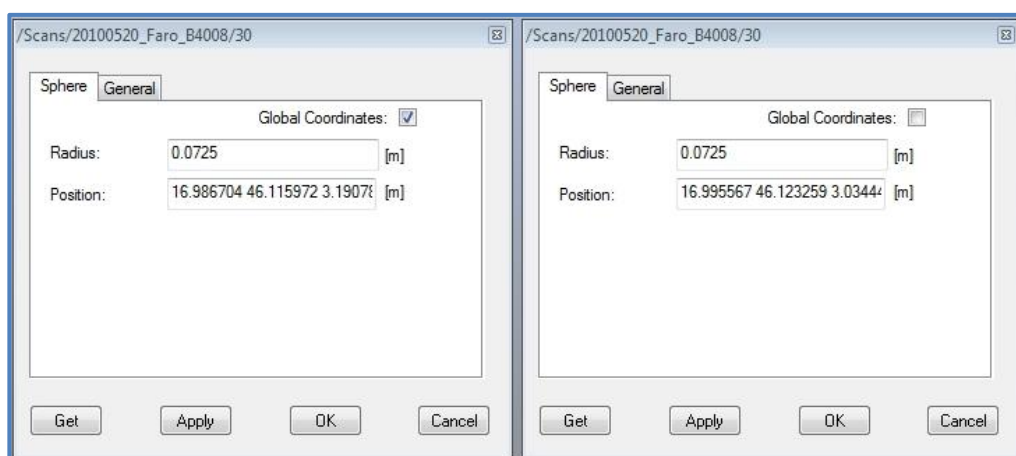


Figura 61.- Coordenadas instrumentales: globales y no globales (Faro Scene 4.6)



## PROCESO DE TRABAJO

---

Las coordenadas que se obtienen de forma automática, con el simple posado del ratón sobre la imagen en la pantalla del ordenador, coinciden con las denominadas coordenadas globales, por tal motivo, en el estudio comparativo que se realiza en el capítulo 4.5, no se pueden analizar las precisiones obtenidas para los puntos centrales de las placas de puntería, definidos directamente sobre la imagen del objeto.



## 4.-ANÁLISIS MÉTRICO





## 4. ANÁLISIS MÉTRICO

En este capítulo se efectúa el análisis de los resultados obtenidos en las diferentes fases del trabajo, para llevarlo a cabo se desarrolla en cinco apartados diferentes. El primero de ellos se centra en las campañas realizadas con la estación total TCA-2003, que han servido para determinar las coordenadas de las redes de apoyo y de puntos de control, utilizadas como patrón de referencia. En el segundo apartado se analizan, de forma independiente, los resultados obtenidos con el escáner láser Trimble GX en cada una de las campañas y entre ellas. En el apartado tercero se procede a realizar los estudios comparativos de los resultados obtenidos con el citado escáner, frente a los valores procedentes de los ajustes realizados con las observaciones de la estación total. Los dos últimos puntos se desarrollan de manera análoga a los dos anteriores, pero trabajando con los resultados obtenidos con el escáner láser Faro Photon 80.

Todas las observaciones realizadas en campo por los diferentes instrumentos y en las sucesivas campañas han permitido determinar las coordenadas de los puntos de control en los respectivos sistemas locales de referencia. Todos los análisis de resultados se realizan sobre las coordenadas definitivas resultantes de transformar todas ellas a un mismo sistema de referencia topocéntrico horizontal, cuyo origen se ha situado en el vértice B-4000 de la red de pilares de observación, considerando la dirección de B-4000 a B-1000 como acimut de partida para determinar su orientación, tal como se ha descrito en el apartado 3.3.2.1.

### 4.1. ANÁLISIS MÉTRICO: ESTACIÓN TOTAL TCA-2003

Para realizar el ajuste de las observaciones efectuadas con la estación total, mediante el programa GeoLab, y poder obtener las coordenadas compensadas de los vértices de la red de apoyo, se ha procedido de dos maneras diferentes, tomando como valores aproximados de partida los obtenidos por medio del GPS, una considerando fijos dos puntos (B-4000 y B-1000) y la otra considerando fijo el vértice B-4000 y el azimut de la base B-4000/B-1000. Comparados los valores obtenidos se observa que son prácticamente iguales (Tabla 18), resultando despreciables sus diferencias.

Para efectuar el ajuste de la red completa que contiene todos los puntos de control, se realiza el estudio del comportamiento del programa para dos situaciones diferentes, la primera considerando las mismas condiciones que para el caso anterior, es decir, manteniendo fijos el vértice y acimut ya indicados, y una segunda estableciendo como fijas las coordenadas, ajustadas previamente, de los cuatro vértices de la red de apoyo. Se puede considerar que los resultados obtenidos son iguales en ambos casos, dado que las diferencias obtenidas resultan despreciables,



ANÁLISIS MÉTRICO

tal como se aprecia en la Tabla 19, de lo que se deduce que las coordenadas no varían en función de realizar el cálculo en dos fases (1ª ajustar la red de apoyo considerando fijos un vértice y una dirección; 2ª ajustar la red de control a partir de las coordenadas calculadas para la red de apoyo), o en una sola (ajustar la red conjunta partiendo del vértice y dirección fijas). Se procede a realizar el ajuste de todas las observaciones efectuadas en las tres campañas de campo con el fin de calcular sus respectivas coordenadas, así como llevar a cabo estudios comparativos entre los resultados con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos (Anexo 114). Estas coordenadas, obtenidas utilizando el programa GeoLab a partir de las observaciones realizadas con la estación total, deben de ser transformadas a un sistema de referencia topocéntrico horizontal, con el fin de poder contrastar, mediante los puntos de control establecidos, los resultados alcanzados en las exploraciones efectuadas con los escáneres láser, tal como se ha descrito en el punto 3.3.2.2.

Coordenadas UTM30 sobre GRS80 ajustadas con GeoLab. 1ª Campaña			
Coordenadas GPS de partida			
Vértice	E	N	h
1000	358.011,6377	4.501.354,4833	1.159,2140
2000	358.035,7972	4.501.344,7799	1.159,0926
3000	358.027,7765	4.501.321,6564	1.157,9530
4000	358.005,4032	4.501.318,5584	1.157,4448
Coordenadas ajustadas de vértices (con 2 puntos fijos)			
Vértice	E	N	h
<b>1000</b>	358.011,6377	4.501.354,4833	1.159,2058
2000	358.035,7951	4.501.344,7820	1.159,0867
3000	358.027,7763	4.501.321,6589	1.157,9459
<b>4000</b>	358.005,4032	4.501.318,5584	1.157,4448
Coordenadas ajustadas de vértices (con 1 punto y azimut fijos)			
Vértice	E	N	h
1000	358.011,6380	4.501.354,4845	1.159,2058
2000	358.035,7955	4.501.344,7827	1.159,0868
3000	358.027,7765	4.501.321,6594	1.157,9459
<b>4000</b>	358.005,4032	4.501.318,5584	1.157,4448

Tabla 18.- Coordenadas ajustadas de los vértices (1ª campaña).

Antes de proceder con la citada transformación al sistema topocéntrico, se realiza un estudio utilizando las coordenadas ajustadas y calculadas por GeoLab sobre el Sistema de Referencia Geocéntrico Ecuatorial (Anexo 114), con el fin de determinar, mediante comparación entre los resultados obtenidos para las diferentes campañas efectuadas, el grado de precisión alcanzado en las observaciones, así como detectar posibles anomalías o alteraciones. En la Tabla 20 se muestran las coordenadas calculadas para los cuatro pilares en cada campaña, a partir de las cuales se determinan las magnitudes de los vectores que definen las



diferencias resultantes de comparar las posiciones que ocupa un mismo punto entre dos campañas diferentes (Tabla 21).

Coordenadas UTM30 sobre GRS80 ajustadas con GeoLab. 1ª Campaña										
Punto	con 1 vértice y azimut fijo			con los 4 vértices fijos			diferencias			Código de Colores
	E	N	h	E	N	h	E	N	h	
100	358014,3490	4501378,8358	1161,8994	358014,3487	4501378,8360	1161,8996	-0,0002	0,0002	0,0003	n ≤ 1 mm.
101	358014,5396	4501378,7432	1162,2598	358014,5394	4501378,7434	1162,2600	-0,0002	0,0002	0,0002	1 < n ≤ 2 mm.
102	358014,7924	4501378,5624	1161,8921	358014,7922	4501378,5626	1161,8924	-0,0002	0,0002	0,0003	2 < n ≤ 3 mm.
200	358042,4856	4501365,3979	1161,3535	358042,4854	4501365,3980	1161,3537	-0,0002	0,0001	0,0002	3 < n ≤ 4 mm.
201	358042,8312	4501365,2341	1161,1745	358042,8310	4501365,2342	1161,1748	-0,0002	0,0001	0,0002	4 < n ≤ 5 mm.
202	358042,8365	4501365,1418	1161,5218	358042,8363	4501365,1419	1161,5220	-0,0002	0,0001	0,0002	5 < n ≤ 10 mm.
300	358056,6691	4501358,6302	1161,8956	358056,6689	4501358,6304	1161,8959	-0,0002	0,0003	0,0003	10 < n ≤ 20 mm.
301	358056,3268	4501358,7937	1161,8948	358056,3266	4501358,7940	1161,8950	-0,0002	0,0003	0,0002	20 < n ≤ 40 mm.
302	358056,5949	4501358,6037	1161,5287	358056,5947	4501358,6039	1161,5289	-0,0002	0,0003	0,0002	n > 40 mm.
400	358049,9374	4501339,6532	1161,1065	358049,9376	4501339,6535	1161,1068	0,0002	0,0004	0,0003	
401	358049,8630	4501339,1428	1160,8679	358049,8632	4501339,1431	1160,8681	0,0002	0,0004	0,0003	
402	358049,8363	4501339,5367	1160,6791	358049,8365	4501339,5370	1160,6793	0,0002	0,0003	0,0003	
500	358047,9371	4501326,1190	1160,0827	358047,9373	4501326,1192	1160,0830	0,0002	0,0002	0,0003	
501	358047,8543	4501325,5654	1160,0812	358047,8545	4501325,5655	1160,0814	0,0002	0,0002	0,0003	
502	358047,8286	4501325,7662	1160,4342	358047,8288	4501325,7664	1160,4345	0,0002	0,0002	0,0003	
600	358046,6795	4501317,6422	1160,1461	358046,6798	4501317,6423	1160,1463	0,0002	0,0001	0,0003	
601	358046,7332	4501318,0128	1159,9072	358046,7334	4501318,0129	1159,9075	0,0002	0,0001	0,0003	
602	358046,5957	4501317,6484	1159,7762	358046,5959	4501317,6486	1159,7765	0,0002	0,0001	0,0003	
1000	358011,6381	4501354,4846	1159,2056	358011,6380	4501354,4845	1159,2058	-0,0001	-0,0001	0,0002	
1001	358011,6376	4501354,4822	1159,2820	358011,6376	4501354,4823	1159,2823	0,0000	0,0001	0,0003	
1002	358011,6377	4501354,4823	1159,3169	358011,6377	4501354,4826	1159,3172	0,0000	0,0003	0,0003	
2000	358035,7955	4501344,7823	1159,0858	358035,7955	4501344,7827	1159,0868	0,0000	0,0004	0,0010	
2001	358035,7949	4501344,7839	1159,1595	358035,7949	4501344,7840	1159,1595	0,0000	0,0000	0,0000	
2002	358035,7947	4501344,7838	1159,1943	358035,7947	4501344,7838	1159,1942	0,0000	0,0000	0,0000	
3000	358027,7766	4501321,6593	1157,9462	358027,7765	4501321,6594	1157,9459	-0,0001	0,0001	-0,0003	
3001	358027,7775	4501321,6603	1158,0223	358027,7776	4501321,6604	1158,0226	0,0001	0,0000	0,0003	
3002	358027,7767	4501321,6606	1158,0574	358027,7767	4501321,6607	1158,0577	0,0000	0,0000	0,0003	
4000	358005,4032	4501318,5584	1157,4448	358005,4032	4501318,5584	1157,4448	0,0000	0,0000	0,0000	
4001	358005,4043	4501318,5577	1157,5215	358005,4045	4501318,5578	1157,5220	0,0001	0,0001	0,0005	
4002	358005,4038	4501318,5583	1157,5566	358005,4039	4501318,5586	1157,5571	0,0001	0,0003	0,0004	

Tabla 19.- Coordenadas ajustadas de la red completa (1ª campaña).

Coordenadas Geocéntricas Ecuatoriales									
Punto	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1000	4.830.663,46169	-395.406,78024	4.133.837,98151	4.830.663,46117	-395.406,77992	4.133.837,98276	4.830.663,46004	-395.406,77974	4.133.837,98271
2000	4.830.671,35834	-395.382,99870	4.133.830,89228	4.830.671,35769	-395.382,99775	4.133.830,89220	4.830.671,35819	-395.382,99936	4.133.830,88993
3000	4.830.684,99248	-395.391,71853	4.133.812,48663	4.830.684,99226	-395.391,71782	4.133.812,48680	4.830.684,99214	-395.391,71861	4.133.812,48686
4000	4.830.685,08411	-395.414,11811	4.133.809,48286	4.830.685,08411	-395.414,11811	4.133.809,48286	4.830.685,08411	-395.414,11811	4.133.809,48286

Tabla 20.- Coordenadas Geocéntricas Ecuatoriales de los vértices.



<b>Magnitud lineal de las diferencias entre campañas</b>				
<b>Pilares de estacionamiento</b>				
<b>Coordenadas Geocéntricas Ecuatoriales</b>				
Punto	Segmentos entre campañas			Código de Colores
	1ª-2ª	2ª-3ª	1ª-3ª	
1000	0,0014	0,0011	0,0021	n ≤ 1 mm.
2000	0,0012	0,0028	0,0024	1 < n ≤ 2 mm.
3000	0,0008	0,0008	0,0004	2 < n ≤ 3 mm.
4000	0,0000	0,0000	0,0000	3 < n ≤ 4 mm.
				4 < n ≤ 5 mm.

Tabla 21.- Diferencias en los vértices de estacionamiento.

A partir de los valores obtenidos, se observa que las diferencias no alcanzan en ningún caso los 3 mm, esto permite establecer que la red de apoyo, formada por los pilares de estacionamiento, está observada con una precisión que, en principio, alcanzará a detectar errores de hasta dicha magnitud. Analizando más detenidamente los resultados, se observa que para el vértice 1000, las variaciones entre campañas consecutivas supera ligeramente el milímetro, acumulando, entre la inicial y la final, los 2.1 mm, lo que indica que las variaciones se han producido prácticamente según las mismas componentes en ambos periodos. Para el vértice 2000 se observa que entre la primera y segunda campañas la variación es de 1,2 mm, mientras que de la segunda a la tercera se ha producido de 2.8 mm, pero comparando la tercera con la primera la diferencia resulta de 2.4 mm, lo que pone de manifiesto que las anteriores no se han acumulado, esto es, sus componentes no parecen responder a una misma dirección. Para el vértice B-3000 se observa una gran homogeneidad en los resultados, no alcanzando en ningún caso el milímetro. En conclusión, la precisión alcanzada supera, aparentemente, la prevista a priori de 2.0 mm, lo cual pudiera ser atribuible a la metodología aplicada, siendo posible que se haya producido algún tipo de variación (asentamientos, dilataciones, contracciones, etc...) no controlada, debido a su pequeña magnitud, sobre los pilares.

Ampliando el estudio a las coordenadas obtenidas para las esferas situadas sobre los pilares, se observa que las diferencias detectadas son algo superiores (Tabla 22), lo que indica que la precisión alcanzada es sensiblemente menor, pudiendo estar originado, en cierta medida, por el posible aumento del error de dirección, al realizarse la colimación sobre las esferas por tangencias, mientras que en la observación de los pilares se ha realizado por autocolimación entre instrumentos, al utilizar teodolitos Wild T1 como señales de puntería, además de realizarse su ajuste en distancias, mediante las medidas realizadas de todas las bases. A pesar de la citada pérdida de precisión, todos los valores se encuentran dentro de la tolerancia prevista, dado que el semieje mayor de la elipse de error para las condiciones de observación mencionadas alcanza los 4,4 milímetros.

Realizando el análisis de los resultados particularizado para cada pilar, se observa que sobre el pilar 1000, para la esfera de radio 38.1 mm, la diferencia entre



las campañas primera y segunda alcanza los 2.8 mm, reduciéndose entre las campañas segunda y tercera, pero acumulándose sus efectos, tal como se pone de manifiesto al comparar la tercera con la primera. Si nos fijamos en los resultados sobre la esfera de radio 72.5 mm, las diferencias entre campañas son similares, superando ligeramente los 2.0 mm, pero se vuelve a producir la acumulación de sus componentes, llegando a alcanzar los 4.1 mm de variación entre la primera y última observación. Se comprueba que, tanto en el caso de la observación de la red de apoyo utilizando teodolitos Wild T1 como elementos de colimación sobre los pilares, como en la observación de las esferas sobre ellos, para el vértice 1000 los efectos producidos por las variaciones obtenidas indican cierto sistematismo que pudiera suponer alguna variación, a lo largo del tiempo, en su estabilidad.

<u>Magnitud lineal de las diferencias entre campañas</u>				Código de Colores
<u>Esferas sobre pilares</u>				
<u>Coordenadas Geocéntricas Ecuatoriales</u>				
Punto	Segmentos entre campañas			
	1ª-2ª	2ª-3ª	1ª-3ª	
1001	0,0028	0,0011	0,0039	n ≤ 1 mm.
1002	0,0022	0,0021	0,0041	1 < n ≤ 2 mm.
2001	0,0019	0,0028	0,0039	2 < n ≤ 3 mm.
2002	0,0017	0,0036	0,0038	3 < n ≤ 4 mm.
3001	0,0021	0,0007	0,0026	4 < n ≤ 5 mm.
3002	0,0016	0,0018	0,0029	5 < n ≤ 10 mm.
4001	0,0033	0,0010	0,0032	10 < n ≤ 20 mm.
4002	0,0020	0,0016	0,0036	20 < n ≤ 40 mm.
				n > 40 mm.

Tabla 22. - Diferencias para esferas sobre pilares

Observando los resultados obtenidos para el pilar B-2000 se aprecia que, para ambas esferas la tendencia es análoga, produciéndose mayores variaciones entre las campañas segunda y tercera, al igual que sucede en la observación realizada sobre Wild T1. A lo largo de todo el proceso se origina una relativa suma de sus efectos, lo que indica que sus componentes no tienen direcciones plenamente coincidentes que pudieran sugerir posibles variaciones en su estabilidad.

Para el pilar B-3000 se aprecian diferencias que no se manifestaban en las observaciones realizada sobre Wild T1, lo que pudiera ser atribuido a la menor precisión en las observaciones efectuadas sobre las esferas, no pudiendo afirmarse de forma categórica, dado que si nos fijamos en el pilar B-4000, que para el caso de las esferas no se considera como punto fijo, es decir, se trata como puntos independientes respecto del observado mediante Wild T1, se ve que las variaciones entre las campañas primera y segunda son de 3.3 mm para la esfera pequeña y de 2.0 mm para la grande, siendo algo menores para el segundo periodo, y alcanzando unos valores acumulados de 3.2 mm y 3.6 mm respectivamente, lo cual puede ser indicativo de una posible falta de estabilidad también en dicho pilar que, lógicamente, afecta sobre el ajuste en bloque de la red.



Según los análisis realizados, en base a las variaciones detectadas, se podría inducir la idea de que a lo largo de todo el proceso de trabajo, se hayan producido ligeros cambios milimétricos en la estabilidad de los pilares, no homogéneos para el conjunto de los mismos ni para cada uno de los periodos de observación, lo que origina que, al realizar comparaciones entre los resultados obtenidos, se produzcan variaciones que superan ligeramente la precisión prevista a priori de 2,0 milímetros para visuales con autocolimación. Este análisis inicial, realizado a partir de las coordenadas geocéntricas, será ampliado a continuación utilizando las coordenadas topocéntricas horizontales.

Analizando las diferencias obtenidos a partir de las comparativas efectuadas entre las coordenadas calculadas para cada campaña, de los puntos de la red de control, conformada por las placas de puntería y esferas colocadas sobre fachadas de edificios, se observa (Tabla 23) que en ningún caso superan los 3.0 mm citados anteriormente como límite inferior de los errores a detectar. Las variaciones son más homogéneas para los grupos de señales 2º, 3º y 4º, no teniendo elementos de juicio suficientes para motivar las causas por las que en los grupos 1º, 5º y 6º no se cumple, pero la no acumulación de sus efectos es indicativa de la falta de sistematismos en el origen de las diferencias.

**Magnitud lineal de las diferencias entre campañas**  
**Placas y Esferas de la red de control**  
**Coordenadas Geocéntricas Ecuatoriales**

Punto	Segmentos entre campañas		
	1ª-2ª	2ª-3ª	1ª-3ª
100	0,0028	0,0014	0,0020
101	0,0026	0,0013	0,0020
102	0,0029	0,0012	0,0027
200	0,0016	0,0017	0,0013
201	0,0019	0,0017	0,0013
202	0,0013	0,0016	0,0012
300	0,0022	0,0019	0,0027
301	0,0023	0,0020	0,0024
302	0,0020	0,0019	0,0018
400	0,0012	0,0018	0,0013
401	0,0011	0,0016	0,0012
402	0,0012	0,0016	0,0013
500	0,0010	0,0025	0,0017
501	0,0010	0,0025	0,0019
502	0,0014	0,0023	0,0027
600	0,0010	0,0027	0,0025
601	0,0010	0,0027	0,0022
602	0,0013	0,0029	0,0026

Código de Colores

- $n \leq 1$  mm.
- $1 < n \leq 2$  mm.
- $2 < n \leq 3$  mm.
- $3 < n \leq 4$  mm.
- $4 < n \leq 5$  mm.
- $5 < n \leq 10$  mm.
- $10 < n \leq 20$  mm.
- $20 < n \leq 40$  mm.
- $n > 40$  mm.

Tabla 23.- Diferencias para Placas y Esferas (red de control).





Una vez analizados los resultados de las comparativas efectuadas con las coordenadas geocéntricas ecuatoriales, y comprobado que están dentro de las expectativas buscadas, se procede a la transformación de las coordenadas al Sistema de Referencia Topocéntrico Horizontal, tal como se ha expuesto en el capítulo 3.3.2.2, con el objetivo de realizar nuevos análisis en este Sistema, afín con los procesos de observación y, en consecuencia, con los resultados que se persiguen.

A partir de las coordenadas topocéntricas (Anexos 1 y 2) se obtienen nuevamente sus diferencias entre las respectivas campañas, desglosando ahora los resultados según los ejes cartesianos (Tabla 24), lo que permite determinar las direcciones en las que se producen las variaciones.

**Diferencias entre campañas (Coordenadas topocéntricas horizontales)**  
**Vértices de la red de apoyo**

Dif. 2ª respecto 1ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1000	0,0003	0,0013	0,0004	0,0014
2000	0,0009	0,0004	-0,0006	0,0012
3000	0,0007	0,0003	-0,0001	0,0008
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Dif. 3ª respecto 2ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1000	0,0001	0,0007	-0,0009	0,0011
2000	-0,0016	-0,0021	-0,0010	0,0028
3000	-0,0008	0,0001	0,0000	0,0008
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Dif. 3ª respecto 1ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1000	0,0004	0,0020	-0,0005	0,0021
2000	-0,0007	-0,0017	-0,0016	0,0024
3000	-0,0001	0,0004	-0,0001	0,0004
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Código de Colores

- $n \leq 1$  mm.
- $1 < n \leq 2$  mm.
- $2 < n \leq 3$  mm.
- $3 < n \leq 4$  mm.
- $4 < n \leq 5$  mm.
- $5 < n \leq 10$  mm.
- $10 < n \leq 20$  mm.
- $20 < n \leq 40$  mm.
- $n > 40$  mm.

Tabla 24.- Diferencias entre campañas (Red de apoyo).

Para el vértice 1000, se observa que la variación se produce principalmente según la dirección positiva del eje Y, siendo algo mayor en el primer periodo, y estando en todo momento dentro de tolerancia, pero el hecho de que se acumulen sus efectos hacen que sea algo significativa. En el caso del vértice B-2000, entre las dos primeras campañas apenas hay discrepancias, apareciendo éstas entre las comparativas del segundo periodo, obteniendo diferencias cuya dirección es próxima a la bisectriz del tercer cuadrante, obteniendo como máximo valor -2.1 mm en dirección de la meridiana; al comparar las coordenadas finales respecto las iniciales



ANÁLISIS MÉTRICO

se obtiene la tendencia de todo el proceso, observando que sus efectos son menores, no alcanzando los 2.0 mm en ningún caso; la variación en  $Z$  acumula sus efectos en sentido negativo, lo que podría ser indicativo de algún sistematismo, pero dado que su cuantía no supera el límite de apreciación establecido, no hay fundamento para asegurarlo. Para el pilar 3000, las diferencias son tan mínimas que no merecen comentario, pudiendo considerarse relativa estabilidad sobre el mismo.

De este estudio se puede deducir que, al desglosar según sus componentes cartesianas los vectores, generados a partir de las diferencias existentes entre las coordenadas de los vértices para cada campaña, dichas componentes están dentro del límite establecido a priori de 2.5 mm, alcanzando un máximo absoluto de 2.1 mm, que se encuentra, por consiguiente, dentro de la tolerancia.

Debe de tenerse en cuenta que, al considerar fijo el vértice B-4000 en el ajuste de la red, no se detectan las variaciones que puedan producirse sobre el mismo, siendo repercutidas sobre los demás. Para intentar paliar esta consecuencia, se procede a realizar el cálculo de las distancias, acimutes y ángulos verticales de todas las bases que conforman la red (Tabla 25), a partir de las cuales se efectúa nuevo estudio comparativo entre los resultados obtenidos para las tres campañas (Anexo 3).

Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales (Bases de la red de apoyo) Sistema Topocéntrico Horizontal				
Base	1ª campaña			
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
4000-1000	36,5178	9,7234	3,0696	96,9304
4000-2000	40,1893	53,4623	2,6006	97,3994
4000-3000	22,6003	90,0162	1,4113	98,5887
1000-2000	26,0418	123,0960	-0,2905	100,2905
1000-3000	36,6117	169,6941	-2,1898	102,1898
2000-3000	24,5090	220,0354	-2,9630	102,9630
Base	2ª campaña			
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
4000-1000	36,5191	9,7235	3,0702	96,9298
4000-2000	40,1902	53,4628	2,5996	97,4004
4000-3000	22,6010	90,0157	1,4110	98,5890
1000-2000	26,0427	123,0975	-0,2929	100,2929
1000-3000	36,6128	169,6942	-2,1906	102,1906
2000-3000	24,5092	220,0359	-2,9617	102,9617
Base	3ª campaña			
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
4000-1000	36,5198	9,7235	3,0686	96,9314
4000-2000	40,1876	53,4636	2,5982	97,4018
4000-3000	22,6002	90,0151	1,4110	98,5890
1000-2000	26,0422	123,1054	-0,2932	100,2932
1000-3000	36,6129	169,6961	-2,1891	102,1891
2000-3000	24,5068	220,0357	-2,9594	102,9594

Tabla 25.- Distancias y valores angulares (bases red de apoyo)



En la Tabla 26 se muestran las diferencias registradas al efectuar las comparaciones de los resultados calculados para cada campaña. Al analizar las variaciones entre las campañas primera y segunda, se observa que los valores acimutales apenas sufren alteraciones (la mayor variación es de 15 segundos centesimales, lo que implica una repercusión transversal de 0.6 mm); en cuanto a los ángulos cenitales, en la base B-1000/B-2000 se detecta la mayor variación de 24<sup>s</sup>, lo que supone una indeterminación en su desnivel que ronda el milímetro; linealmente, las longitudes de las bases B-1000/B-4000 y B-1000/B-3000 son las únicas que superan el milímetro, pudiendo hacer pensar que, al participar el punto B-1000 en ambas, sea sobre el mismo donde se produzca la mayor variación, lo que estaría en consonancia con lo indicado por las diferencias entre coordenadas. Resultaría aventurado hacer tal afirmación pues se observa gran homogeneidad en el resto de las bases, siendo las diferencias muy pequeñas y siempre por debajo del límite de la apreciación establecido a priori, lo cual es indicativo de que las variaciones producidas entre las campañas primera y segunda están dentro de los valores previstos y, por tanto, aceptables.

**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**(Bases de la red de apoyo con T1)**  
**Sistema Topocéntrico Horizontal**

Base	Campaña 2ª respecto 1ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1000	0,0013	0,0001	0,0001	-0,0006	0,0003
4000-2000	0,0009	0,0005	0,0003	0,0010	-0,0006
4000-3000	0,0007	-0,0006	-0,0002	0,0003	-0,0001
1000-2000	0,0009	0,0015	0,0006	0,0024	-0,0010
1000-3000	0,0011	0,0002	0,0001	0,0008	-0,0005
2000-3000	0,0001	0,0004	0,0002	-0,0013	0,0005

Base	Campaña 3ª respecto 2ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0016	-0,0009
4000-2000	-0,0026	0,0009	0,0005	0,0014	-0,0009
4000-3000	-0,0008	-0,0006	-0,0002	0,0000	0,0000
1000-2000	-0,0005	0,0079	0,0032	0,0003	-0,0001
1000-3000	0,0001	0,0019	0,0011	-0,0016	0,0009
2000-3000	-0,0024	-0,0001	0,0000	-0,0023	0,0009

Base	Campaña 3ª respecto 1ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1000	0,0020	0,0001	0,0001	0,0010	-0,0006
4000-2000	-0,0017	0,0013	0,0008	0,0024	-0,0015
4000-3000	0,0000	-0,0011	-0,0004	0,0003	-0,0001
1000-2000	0,0004	0,0094	0,0039	0,0027	-0,0011
1000-3000	0,0012	0,0020	0,0012	-0,0008	0,0004
2000-3000	-0,0022	0,0003	0,0001	-0,0036	0,0014

Código de Colores

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.

Tabla 26.- Diferencias longitudinales y angulares (entre campañas).



Entre las campañas segunda y tercera cabe destacar las diferencias longitudinales en las bases B-2000/B-4000 y B-2000/B-3000, rondando ambas los 2.5 mm en sentido negativo, lo que indica un teórico acortamiento en la longitud de ambas bases; esto afecta también a la diferencia acimutal en la base B-1000/B-2000, que manifiesta un giro dextrógiro de  $79^\circ$  con una repercusión transversal conjunta de 3.2 mm; analizando el resto de diferencias obtenidas, se observa que presentan gran homogeneidad, además de valores pequeños, todo parece centrar el foco de atención sobre el pilar B-2000, común a todas las bases afectadas, como posible objeto de la variación o anomalía en la medición.

Analizando el proceso en su conjunto, desde la campaña primera hasta la tercera, en base a los resultados obtenidos para la red de apoyo, a partir de las pruebas comparativas realizadas, se observa que para la base B-1000/B-4000 se acumulan las diferencias longitudinales indicando cierta tendencia a su alargamiento, o lo que es lo mismo, al aumento de la separación entre los pilares, sin producirse variación en su acimut, cuestión que ya quedaba indicada con las diferencias en coordenadas determinadas para el vértice B-1000 donde predominaba la variación sobre la componente Y, en consonancia con la orientación de la base, próxima a la dirección de la meridiana. Por otro lado, las bases B-2000/B-3000 y B-2000/B-4000 parecen experimentar un acortamiento, lo que implica el acercamiento entre los respectivos pilares. Dado que el resto de diferencias obtenidas son poco significativas al presentar valores muy pequeños, a excepción de la existente entre los acimutes de la base B-1000/B-2000, cuyo giro en sentido horario supone un valor de  $94^\circ$  que se traduce en una variación transversal conjunta de 3.9 mm la cual acumula, básicamente, los efectos expuestos para las bases anteriores poniendo de manifiesto, en consecuencia, que su repercusión transversal se reparte entre los vértices que determinan sus extremos. Si nos fijamos en la altimetría, las alineaciones en las que participa el vértice B-2000, muestran cierta similitud en las diferencias de sus desniveles, variando entre 1.1 y 1.5 mm y siempre en el mismo sentido, en consonancia con lo apreciado en la comparación entre coordenadas topocéntricas absolutas, todo ello indica una tendencia descendente en la cota del citado vértice, tal vez originada por algún problema en el asentamiento del pilar. En conclusión, se deduce que el pilar 1000 ha sufrido una pequeña variación hacia el norte, y el pilar B-2000 en dirección suroeste, además de un pequeño asentamiento, pero dado que los valores detectados están siempre por debajo o la límite de la apreciación estimada para el instrumento y la metodología aplicados, no es posible cuantificar la magnitud de dichas variaciones, pudiendo asegurar, eso sí, que todos los vértices de la red de apoyo cumplen, en su posicionamiento absoluto, con la precisión establecida a priori.

Analizando los resultados obtenidos para las observaciones realizadas sobre las esferas pequeñas y grandes, situadas en los pilares de la red de apoyo (Anexos 2, 4 y 5), lo primero que se advierte es una pequeña pérdida de precisión, tal como ya se ha indicado. En lo relativo a las diferencias altimétricas, son poco significativas en



ambos casos, apreciándose ligeramente, para las esferas pequeñas, el diferencial de cota del pilar B-2000. Las variaciones de distancias entre las campañas primera y segunda son bastante regulares para ambos tipos de esferas, y guardan relativa proporcionalidad con los valores obtenidos mediante T1, pero se observa un incremento en las diferencias de los acimutes, más acentuado sobre las esferas de menor radio. Entre las campañas segunda y tercera, las diferencias en las distancias son más irregulares, pero siguiendo la misma pauta marcada por las observaciones sobre T1; lo mismo sucede con las diferencias en los acimutes. Estudiando las diferencias entre las posiciones inicial y final se vuelve a detectar, para ambos tipos de esferas, un incremento de distancia sobre las líneas de pilares 1000-4000, 1000-2000 y 1000-3000, así como una disminución sobre la 2000-3000. Estas diferencias resultan mayores que las obtenidas para los T1, al serlo también las variaciones entre coordenadas para las observaciones con esferas (Tabla 27), produciéndose, en consecuencia, diferencias acimutales más acentuadas, con mayor influencia sobre la base 1000-2000, pero también se manifiestan sobre las alineaciones 1000-3000 y 2000-4000. De todo ello se deducen conclusiones análogas a las expuestas anteriormente, con la salvedad hecha de la pérdida de precisión.

Diferencias entre campañas (Coordenadas topocéntricas horizontales)												
Esferas pequeñas sobre pilares						Esferas grandes sobre pilares						Código de Colores
Dif. 2ª respecto 1ª				Dif. 2ª respecto 1ª								
Pto.	dX	dY	dZ	Pto.	dX	dY	dZ					
1001	0,0005	0,0024	-0,0014	1002	0,0003	0,0017	-0,0014					
2001	0,0011	-0,0008	-0,0013	2002	0,0011	0,0003	-0,0013					
3001	-0,0011	-0,0002	-0,0017	3002	-0,0002	-0,0002	-0,0016					
4001	-0,0029	0,0003	-0,0015	4002	-0,0013	0,0004	-0,0015					
Dif. 3ª respecto 2ª				Dif. 3ª respecto 2ª								
Pto.	dX	dY	dZ	Pto.	dX	dY	dZ					
1001	0,0001	0,0011	-0,0003	1002	0,0003	0,0021	-0,0003					
2001	-0,0013	-0,0020	-0,0015	2002	-0,0014	-0,0031	-0,0012					
3001	-0,0003	0,0003	-0,0005	3002	-0,0017	-0,0002	-0,0006					
4001	0,0006	0,0005	-0,0006	4002	-0,0015	0,0002	-0,0007					
Dif. 3ª respecto 1ª				Dif. 3ª respecto 1ª								
Pto.	dX	dY	dZ	Pto.	dX	dY	dZ					
1001	0,0006	0,0035	-0,0017	1002	0,0006	0,0038	-0,0016					
2001	-0,0002	-0,0027	-0,0028	2002	-0,0004	-0,0028	-0,0025					
3001	-0,0015	0,0001	-0,0022	3002	-0,0019	-0,0004	-0,0022					
4001	-0,0023	0,0009	-0,0021	4002	-0,0028	0,0007	-0,0022					

Tabla 27.- Diferencias entre coordenadas de esferas.

A partir de las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales calculados para todas las visuales realizadas desde cada vértice de la red de apoyo a cada una de las señales de puntería que conforman la red de control (Anexos 6, 8, 10 y 12) y efectuados los estudios comparativos entre las sucesivas campañas (Anexos 7, 9, 11 y 13), se observa que las diferencias en los desniveles, en su mayoría, están por debajo del milímetro; para el caso de las distancias y acimutes, las diferencias en



ocasiones superan los dos milímetros, y contadas veces los tres milímetros, situación que se produce en las visuales desde B-1000 a los grupos de dianas 500 y 600, con valores muy similares que se originan entre la segunda campaña y la tercera, poniendo de manifiesto cierto sistematismo, pero sin elementos de juicio suficientes para razonar una explicación lógica sobre sus motivos. A pesar de esto, todos los valores de las diferencias detectadas son admisibles, dado que del cálculo de las elipses de error se obtiene un valor de 4.5 mm para el semieje mayor. De lo que se deduce que todas las observaciones son válidas y están dentro de la tolerancia permitida para la instrumentación y metodología aplicadas.

Para poner de manifiesto esta afirmación, se determinan las relaciones existentes entre las coordenadas calculadas para las señales de puntería que constituyen la red de control. Dichas relaciones se llevan a cabo a través de las distancias y valores angulares calculados entre las mismas, para ello se procede según dos planteamientos diferentes. En el primero, se comparan entre sí las señales que conforman cada grupo, obteniendo valores que raras ocasiones difieren por encima del milímetro (Anexos 14 y 15), lo que demuestra una gran afinidad en los resultados obtenidos para cada bloque, garantizando las precisiones alcanzadas de forma zonal para cada grupo de señales. Con el segundo de los procedimientos se pretende determinar la precisión alcanzada para el conjunto de la red, para ello se compara cada tipo de señal con sus semejantes en el resto de los grupos (Anexos 16 a 21), a la vista de los resultados obtenidos se observa que las escasas ocasiones en que se alcanzan diferencias de tres milímetros, sucede siempre para distancias entre señales que superan los 45 metros, predominando las diferencias cuya magnitud está por debajo de los dos milímetros, pudiendo garantizar, en consecuencia, que el conjunto de la red de control, conformada por todos los grupos de las diferentes señales de puntería, cumple las precisiones previstas.

Después de todo el proceso de estudio y análisis llevado a cabo, se llega a la conclusión de que la red de apoyo, conformada por los cuatro pilares de estacionamiento y que ha sido observada mediante autocolimación sobre teodolitos Wild T1 y con medida de las distancias de todos sus lados, garantiza una precisión absoluta de 2,5 milímetros. Para las observaciones realizadas por intersección angular, sobre las esferas colocadas en dichos pilares de estacionamiento y sobre las señales de puntería colocadas en las fachadas, se obtiene una precisión absoluta de 4,5 milímetros. De lo que se deduce que la red en su conjunto puede ser utilizada como patrón para contrastar procedimientos de medición, permitiendo determinar las variaciones que superen el citado límite de apreciación.

#### 4.2. ANÁLISIS MÉTRICO: ESCÁNER LÁSER TRIMBLE GX

En este capítulo se van a realizar una serie de estudios, en los que únicamente se van a utilizar los datos obtenidos por medio del escáner láser Trimble GX, para



ello se realizarán pruebas comparativas sobre coordenadas obtenidas desde distintas estaciones, entre diferentes campañas, etc... con el objetivo de evaluar la precisión y fiabilidad del instrumento y su comportamiento en las diferentes condiciones y situaciones de uso, pero en todo momento sobre un entorno controlado, según se ha descrito anteriormente.

En cada campaña, se ha estacionado el escáner sobre los pilares B-4000 y B-2000 en forma secuencial, observando a las esferas colocadas en los tres restantes, por tanto, en cada proceso se obtienen las coordenadas, para las esferas de los pilares 1000 y 3000, desde ambos estacionamientos, lo que permite realizar un estudio comparativo de los resultados obtenidos (Tabla 28). Al ser observaciones que se han realizado en un intervalo de tiempo pequeño, sus condiciones de observación son muy similares, minimizando los efectos producidos por posibles variaciones en los pilares.

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000			Código de Colores		
Escáner Láser Trimble GX				1ª campaña					
Pto.	B-4000			B-2000			Diferencias		
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1001	5,5531	36,0529	1,5938	5,5502	36,0542	1,5921	-0,0029	0,0013	-0,0017
1002	5,5521	36,0479	1,6203	5,5535	36,0535	1,6267	0,0014	0,0056	0,0064
3001	22,3200	3,5290	0,3351	22,3166	3,5301	0,3330	-0,0035	0,0011	-0,0020
3002	22,3139	3,5290	0,3643	22,3153	3,5341	0,3674	0,0013	0,0051	0,0031

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000			Código de Colores		
Escáner Láser Trimble GX				2ª campaña					
Pto.	B-4000			B-2000			Diferencias		
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1001	5,5550	36,0527	1,5902	5,5488	36,0531	1,5931	-0,0062	0,0003	0,0029
1002	5,5569	36,0472	1,6275	5,5532	36,0512	1,6277	-0,0038	0,0040	0,0002
3001	22,3186	3,5290	0,3187	22,3173	3,5299	0,3319	-0,0014	0,0010	0,0132
3002	22,3175	3,5266	0,3552	22,3184	3,5335	0,3685	0,0009	0,0069	0,0133

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000			Código de Colores		
Escáner Láser Trimble GX				3ª campaña					
Pto.	B-4000			B-2000			Diferencias		
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1001	5,5396	36,0581	1,5970	5,5465	36,0603	1,5946	0,0069	0,0022	-0,0024
1002	5,5442	36,0550	1,6304	5,5439	36,0480	1,6292	-0,0003	-0,0070	-0,0011
3001	22,3253	3,5309	0,3340	22,3155	3,5241	0,3346	-0,0098	-0,0068	0,0007
3002	22,3206	3,5390	0,3704	22,3187	3,5270	0,3700	-0,0019	-0,0119	-0,0004

Tabla 28.- Comparativa coordenadas Trimble (por campañas)

Analizando los resultados obtenidos, lo primero que llama la atención es la aparición de diferencias que superan el centímetro, máxime cuando las coordenadas calculadas no responden a un único punto, sino a una nube de estos, a partir de la cual, el programa obtiene el centro de la correspondiente esfera ajustada (Figura 40, pag. 83), también presentan cierta frecuencia las diferencias que superan los cinco milímetros, observándose que en varias ocasiones el sentido de las variaciones cambia, lo cual acentúa las diferencias entre las campañas. Se presenta cierta aleatoriedad



ANÁLISIS MÉTRICO

en los resultados, no respondiendo a ningún criterio específico, lo que impide encontrar un razonamiento lógico de los motivos que puedan producir dichas variaciones.

A partir de las coordenadas obtenidas, desde cada estacionamiento del escáner, para las esferas situadas sobre los pilares restantes, se realiza el estudio comparativo de las mismas entre las sucesivas campañas (Tabla 29). A primera vista se observa que las diferencias resultan mayores para el estacionamiento realizado sobre el pilar B-4000, destacando las variaciones en las cotas, estando muy cerca de alcanzar los tres centímetros para la esfera 2001 (de R=38.1 mm sobre el pilar B-2000). Estudiando más detenidamente este fenómeno se observa que las diferencias encontradas entre las cotas de la 2ª campaña respecto de la 1ª, y las de la 3ª respecto de la 2ª guardan relativa proporcionalidad, dentro de lo que cabe, pero con sentido contrario, por lo que al comparar las posiciones finales con las iniciales las diferencias se reducen, a excepción de la esfera 1002, que se acumulan sus efectos alcanzando el centímetro de diferencia. En la segunda campaña se aprecia que las cotas de todas las esferas, a excepción de esta última, resultan menores, y dado que todas las direcciones se encuentran en un mismo cuadrante, tal sistematismo en los desniveles induce a considerar la falta de verticalidad del eje Z del instrumento, lo cual hace pensar en cierta irregularidad en el compensador automático del nivel electrónico del escáner para la estación B-4000 de la 2ª campaña. Esto pone de manifiesto que, de haberse tratado de una exploración aislada, que no permitiese realizar el contraste oportuno, no se hubiese podido detectar esta anomalía.

Coordenadas Topocéntricas Horizontales			Sistema 4000			Diferencias entre campañas			Código de Colores	
Escáner Láser Trimble GX			Estación B-4000							
Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª			
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	
1001	0,0019	-0,0002	-0,0035	-0,0155	0,0053	0,0067	-0,0136	0,0052	0,0032	n ≤ 1 mm.
1002	0,0048	-0,0007	0,0072	-0,0127	0,0078	0,0029	-0,0079	0,0071	0,0101	1 < n ≤ 2 mm.
2001	-0,0001	-0,0005	-0,0235	-0,0005	-0,0012	0,0287	-0,0006	-0,0017	0,0052	2 < n ≤ 3 mm.
2002	0,0037	-0,0008	-0,0114	-0,0082	0,0087	0,0193	-0,0045	0,0079	0,0079	3 < n ≤ 4 mm.
3001	-0,0014	0,0000	-0,0164	0,0067	0,0019	0,0152	0,0052	0,0019	-0,0011	4 < n ≤ 5 mm.
3002	0,0035	-0,0024	-0,0092	0,0031	0,0123	0,0153	0,0066	0,0099	0,0061	5 < n ≤ 10 mm.

Coordenadas Topocéntricas Horizontales			Sistema 4000			Diferencias entre campañas			Código de Colores	
Escáner Láser Trimble GX			Estación B-2000							
Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª			
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	
1001	-0,0014	-0,0012	0,0011	-0,0023	0,0072	0,0015	-0,0037	0,0060	0,0026	10 < n ≤ 20 mm.
1002	-0,0003	-0,0024	0,0010	-0,0093	-0,0032	0,0016	-0,0096	-0,0056	0,0026	20 < n ≤ 40 mm.
3001	0,0007	-0,0002	-0,0011	-0,0018	-0,0059	0,0027	-0,0011	-0,0060	0,0016	n > 40 mm.
3002	0,0031	-0,0006	0,0010	0,0003	-0,0065	0,0015	0,0034	-0,0071	0,0026	
4001	-0,0006	-0,0006	0,0015	-0,0017	-0,0016	0,0043	-0,0024	-0,0021	0,0058	
4002	-0,0001	-0,0005	-0,0005	0,0003	-0,0045	0,0030	0,0002	-0,0050	0,0025	

Tabla 29.- Comparativa coordenadas Trimble (por estaciones)





Siguiendo en la estación B-4000, también llaman la atención, las diferencias que se producen, para la componente X de las esferas 1001 y 1002, y para la Y en la esfera 3002, en las comparativas en que interviene la tercera campaña. Para profundizar en el análisis de estas variaciones, se procede a calcular los elementos ( $D$ ,  $\theta$ ,  $\hat{V}$ ) que determinan las bases de la red de apoyo (Anexo 25), en función de las observaciones realizadas con el escáner. A partir de nuevos estudios comparativos realizados sobre dichos elementos, se observa que los efectos de la variación detectada sobre la esfera 1001 se traducen en diferencias significativas en las longitudes de los lados 1001-2001 y 1001-3001, que superan holgadamente el centímetro y que pueden inducir a interpretarlo como un alargamiento sufrido por dichas bases; también se manifiesta un cambio, con repercusiones similares, en los acimutes de las direcciones 1001-4000 y 1001-3001 que podrían ser interpretados, igualmente, de forma errónea, como se deduce de los resultados obtenidos mediante la estación total TCA-2003, los cuales ponen de manifiesto que no se han producido variaciones tan grandes sobre dichas esferas. Se pone de manifiesto que las discrepancias originadas, son debidas a las coordenadas calculadas para la tercera campaña. Estudiando los efectos producidos para las esferas 1002 y 3002, siguiendo el mismo procedimiento (Anexo 26), se aprecia que las diferencias en las distancias resultan menos significativas, no alcanzando el centímetro en ningún caso, siendo mayores las repercusiones detectadas para los acimutes de la direcciones 4000-1002, 4000-2002, 4000-3002 y 1002-3002, especialmente en el transcurso entre la segunda campaña y la tercera, donde sus diferencias ocasionan valores transversales representativos, que sugieren un giro acimutal del escaneado.

Para los estacionamientos del escáner realizados sobre el vértice B-2000, se observa que las diferencias detectadas entre las coordenadas de las esferas, situadas en el resto de los pilares, son menores que en el caso anterior, no superando en ningún caso el centímetro, pero encontrando un número representativo de valores que sobrepasan los 5.0 mm (Tabla 29), lo que puede originar errores relativos que excedan aquel. Para comprobar esta cuestión, se ha procedido de nuevo a calcular las distancias geométricas, acimutes y distancias cenitales de las bases conformadas por las esferas sobre los pilares para dicho estacionamiento, realizando el estudio comparativo de los resultados obtenidos entre las campañas (Anexos 27 y 28), se comprueba que, efectivamente, en alguna ocasión se alcanza y sobrepasa el centímetro.

Analizando en conjunto todos los estudios comparativos, realizados a partir de los valores obtenidos para la red de apoyo observada con el escáner, aislados los efectos producidos en la altimetría por el estacionamiento realizado en la segunda campaña sobre el vértice B-4000, se puede deducir que los valores de las diferencias detectadas se encuentran en su mayoría por debajo del centímetro, encontrando un número muy representativo de las mismas que superan los cinco milímetros, así como otra cantidad, nada despreciable, de valores que superan, y en ocasiones con creces, el centímetro. Éstas últimas pueden estar ocasionadas por la acumulación de los



## ANÁLISIS MÉTRICO

---

efectos de diferencias menores. Dado que el reparto de las diferencias se produce de forma un tanto aleatoria, sin unas pautas de comportamiento bien definidas que permitan razonar su origen, se induce que se encuentran dentro del rango de apreciación limitado por el instrumento y del método de trabajo desarrollado, pudiendo deducir que, en base a ello, la máxima precisión conjunta de la red así observada se puede cifrar en torno al centímetro.

Una vez estudiado el comportamiento del escáner sobre las esferas de referencia colocadas en los pilares de la red de apoyo, se pasa a efectuar el análisis comparativo sobre las esferas y placas de puntería que constituyen la red de control, situada sobre las fachadas.

Para ello se llevan a cabo los estudios comparativos entre las diferentes campañas, para las coordenadas obtenidas desde cada estación de escáner. A la vista de los resultados obtenidos para la estación B-4000 (Anexo 22), estos resultan análogos a los de la red de apoyo: se pone de manifiesto la irregularidad en el compensador automático del nivel electrónico, siendo ahora las diferencias entre las cotas de mayor magnitud debido al aumento de las distancias; en las componentes planimétricas, las diferencias obtenidas mantienen la tónica general, salvo en el primer grupo de señales, donde se alcanzan diferencias que incluso superan los 4 cm, en la placa de puntería 601 se acerca a este valor, y en la 401 también se supera el centímetro, lo que supone que sobre estas señales de puntería se ha obtenido peor definición. En la estación B-2000 (Anexo 23), igual que sucedía para la red de apoyo, es menor el número de diferencias que superan el centímetro, produciéndose estas sobre las placas 100, 201 y 301.

También se realizan estudios comparativos entre las dos estaciones para cada campaña (Anexo 24). En la primera campaña los valores que superan el centímetro se producen para la componente Y de la placa 401 y para la componente Z de las placas 100 y 401, y de las esferas 202 y 402. En la segunda campaña se aprecia claramente el sistematismo producido por el problema del compensador de la vertical, aparte de esto, son significativas las diferencias en las componentes X del primer grupo de señales. En la tercera campaña vuelven a ser representativas las citadas diferencias en el primer grupo de señales, y en sentido contrario a la campaña anterior, acumulándose sus efectos según se ha visto en la comparativa realizada en el párrafo anterior; se observa una variación de tres centímetros en la componente Y de la señal 601 y, también superan el centímetro, las diferencias en Z de las placas 201, 301 y 601.

A partir de las coordenadas calculadas para todas las señales de puntería, se obtienen las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales para todas las alineaciones que se generan desde las estaciones de escáner en B-4000 y B-2000 respectivamente (Anexos 29 y 31), realizando el proceso comparativo entre las diferentes campañas (Anexos 30 y 32), se obtienen las variaciones entre las mismas.



Analizando los resultados para la estación B-4000, se vuelve a observar claramente el problema de compensación en la vertical de la segunda campaña, si se aíslan sus efectos, sigue habiendo diferencias en altimetría que superan el centímetro, tal es el caso de las placas de puntería 301 y 601, y de las esferas 402 y 602; para la esfera 202 las diferencias superan los dos centímetros. Para el primer grupo de señales de puntería, las diferencias detectadas afectan principalmente en el sentido transversal respecto de la teórica visual, alcanzando valores que superan los cuatro centímetros, aunque para la placa 101, las diferencias en distancia y cota también son significativas. Para las distancias geométricas se observa que, salvo la citada, sus diferencias están todas por debajo de los siete milímetros. Respecto de las diferencias en sentido transversal, además de las ya indicadas, destaca la que se produce en la placa 601, que supera holgadamente los tres centímetros, mientras que en las placas 200, 201 y 401, y en las esferas 202 y 302 se iguala o supera el centímetro.

Para la estación B-2000 se comprueba que, tal como era de esperar a la vista en los procesos anteriores, son pocas las diferencias que superan el centímetro. Para las distancias geométricas, aunque hay valores que se aproximan a dicha cifra, ninguno la rebasa. Para la componente transversal, encontramos que para las placas 100 y 401, así como la esfera 102 se aprecian diferencias que alcanzan o superan ligeramente el centímetro. En la altimetría, esto sucede para las placas 100 y 201, con diferencias que alcanzan el centímetro y medio.

Analizando en su conjunto los estudios realizados con las señales de la red de control, se observa que las diferencias más significativas se producen en placas de puntería situadas sobre fondo negro y para esferas de radio mayor. En lo que respecta a las primeras, el motivo por el cual disminuye su definición puede estar relacionado con el hecho de que en ninguna de las exploraciones realizadas, tal como se ha expuesto en el capítulo 3.4.1.1, el escáner ha reconocido la geometría de dichas placas, efectuándose para todas ellas en el proceso posterior de gabinete. Para las esferas de radio mayor, no se encuentra ningún motivo lógico que lo justifique, pues todas fueron correctamente asociadas a su geometría en la fase de exploración; la única observación que se puede hacer al respecto es que, en dicho proceso de campo, al cambiar en el menú del programa PointScape el valor del radio, de 38.1 mm (esferas Trimble) a 72.5 mm (esferas Faro), el programa cambia automáticamente la resolución de la exploración de 1 a 2 mm, y sin posibilidad de ser modificado por el operador, lógicamente esto no puede originar diferencias apreciables, pues aunque se duplica el intervalo entre los puntos registrados, la nube que generan para encajar la esfera no sufre merma, al aumenta la superficie de esta. Con las esferas de radio 38.1 mm, que son las suministradas por el fabricante, se produjeron frecuentes fallos en las exploraciones cuando las distancias superaban los 40 metros, lo que obligaba a repetir las hasta que el escáner aceptaba la geometría, pudiendo ser el motivo por el que las esferas 102 y 302, cuyas distancias desde la estación B-4000 superan los 60 metros, ofrezcan una peor definición. También se ha verificado en campo que, cuando



las distancias superan los 50 metros, el escáner comienza a presentar dificultades en la identificación de las señales de puntería, incluidas las placas sobre fondo verde recomendadas por la marca, pudiendo ser el origen de las discrepancias obtenidas para la placa 100.

A continuación se procede al estudio de los efectos producidos sobre cada grupo compuesto por tres señales de puntería de distintas características. Para ello, a partir de las coordenadas obtenidas, se calculan las distancias geométricas, los acimutes y los ángulos verticales de los vectores que se forman entre las señales. Estos elementos son diferentes, por serlo las coordenadas, para cada estación en una misma campaña, así como para una misma estación en las sucesivas campañas.

Realizados los cálculos comparativos entre los valores obtenidos para la estación B-4000 (Anexos 33 y 34) y para la B-2000 (Anexos 35 y 36), respectivamente, en las sucesivas campañas, así como los derivados de comparar entre los de ambas estaciones para cada campaña (Anexo 37), a la vista de los resultados se hace innecesario hacer un estudio pormenorizado de cada uno de ellos, pues se observa en su conjunto que conducen a conclusiones análogas a las ya expuestas, encontrando un mayor porcentaje de diferencias por debajo del centímetro, pero existe un número representativo de ellas que varían desde esta cifra hasta los cuatro centímetros y que aparecen en la mayoría de las ternas, llegando a un valor máximo relativo de 41.3 mm. Esto conduce a la conclusión de que, en cada grupo de señales, podemos establecer las relaciones entre ellas con una aproximación del centímetro, pero si queremos garantizar los resultados, habrá que precisarlo en dos centímetros.

Para estudiar los efectos producidos sobre el conjunto de la red de control, se procede nuevamente a calcular las distancias y los ángulos, realizándose ahora entre las señales de puntería según el tipo de las mismas (Anexos 38 y 39). Los resultados obtenidos nos conducen nuevamente a las mismas conclusiones, siendo los rangos de las diferencias, así como sus frecuencias, similares a los determinados para los procedimientos anteriores. Se puede deducir, no obstante, una nueva conclusión, que las diferencias entre los puntos escaneados no dependen directamente de la distancia que los separa, sino de la propia precisión con que está determinado cada uno de ellos.

El programa PointScape, utilizado para la captura de los datos, permite asociar a las placas de puntería su geometría correspondiente, cuando en el momento de la exploración no se reconoce dicha geometría, se realiza en gabinete mediante la aplicación RealWorks, en ambos casos, las coordenadas del centro de las señales de puntería son determinadas por el programa a partir de las nubes de puntos que las configuran. Por otro lado, el programa RealWorks facilita las coordenadas de cualquier punto, sin más que posar el puntero del ratón sobre él, en la imagen generada. En todas las exploraciones realizadas en el presente trabajo, se ha



aplicado la máxima resolución que permitía PointScape en cada situación (para las placas o tarjetas lo fija en 2 mm, aunque en ocasiones lo cambia a 3.8 mm sin posibilidad de intervenir), por tanto, esta densidad de puntos permite garantizar que, al colocar el puntero en el centro de una señal de puntería, nos muestra las coordenadas de un punto de la nube cuya separación de aquel no excede el margen establecido por la resolución. Para verificar el grado de coincidencia entre las coordenadas obtenidas por ambos métodos, se procede a realizar su comparación (Anexos 50 y 51) (los números seguidos de "c" corresponden a los obtenidos mediante el posado de puntero), se observa que la mayoría de las diferencias se encuentran por debajo de los 5 mm, no obstante son frecuentes las discrepancias que superan el centímetro y en algunos casos los dos centímetros, produciéndose generalmente sobre placas de puntería colocadas sobre fondo negro, en el caso de la placa 100 de fondo verde, visada desde B-2000, la mala definición puede estar producida por la oblicuidad de la visual. Nuevamente, el hecho de que se produzcan diferencias que se aproximan o superan los dos centímetros, en una operación de contraste tan simple y evidente, limita el grado de confianza sobre la precisión facilitada en el manual del instrumento.

Como resumen de los estudios realizados, mediante pruebas comparativas, entre los diferentes resultados obtenidos con las exploraciones realizadas con el escáner Trimble GX en sus diferentes estacionamientos y en las sucesivas campañas, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- en la mayoría de los casos las diferencias detectadas no superan el centímetro, incluso un gran número de ellas se encuentran por debajo de los cinco milímetros, pero el hecho de que siempre aparezcan valores que exceden considerablemente los citados, impide que se puedan garantizar los resultados obtenidos dentro de dicho rango mayoritario, y por supuesto se alejan significativamente de los facilitados por el fabricante en las características técnicas del equipo.
- respecto de las observaciones realizadas sobre los pilares de la red de apoyo, las diferencias obtenidas entre ellas indican que la apreciación ronda los 7 u 8 mm, por lo que al ser diferencias relativas las que se han obtenido, puede producirse su acumulación, llegando a las máximas obtenidas que alcanzan los 15 mm, salvedad hecha de las variaciones en cota que, como se ha comprobado, han sido producidas por una anomalía de verticalidad en un estacionamiento.
- un fallo en el compensador automático del nivel electrónico no puede detectarse en campo, ni en gabinete si no se dispone de al menos dos observaciones, al igual que pueda suceder con otro tipo de anomalía que pueda presentarse, de lo que se deduce que sacar conclusiones con un única exploración del escáner es muy arriesgado, siendo recomendable realizar un mínimo de tres observaciones o campañas



- que permitan realizar los estudios comparativos necesarios para obtener criterios objetivos de análisis.
- se verifica que las placas de puntería colocadas sobre fondo negro no son recomendables para trabajar con el escáner Trimble GX, al no reconocer su geometría como tales, además, el ajuste que permite realizar en el proceso de gabinete no resulta muy satisfactorio, a la vista de las diferencias detectadas en los estudios comparativos.
  - algo parecido sucede con las esferas de radio mayor ( $R= 72.5$  mm), suministradas con el equipo Faro Photon 80, para las cuales sí que reconoce su geometría en la exploración, realizando su ajuste, aparentemente con total exactitud, a pesar de lo cual se obtienen diferencias en las comparativas que indican una menor definición en el cálculo de sus centros.
  - para las señales de puntería facilitadas por el fabricante (placas de puntería sobre fondo verde; esferas de radio 38.1 mm), a partir de los cincuenta metros se presentan problemas para su reconocimiento, dificultando seriamente que el escáner reconozca su geometría, lo que se traduce en aumento considerable de tiempo en la fase de exploración además de pérdida en su definición y, en consecuencia, de precisión. Esto origina que las observaciones realizadas desde el vértice B-4000, más alejado del conjunto de puntos de control, ofrezcan, por lo general, variaciones más significativas en los estudios realizados.
  - se deduce que las variaciones producidas en las relaciones (longitudinales, angulares) entre los puntos escaneados, no dependen directamente de la cercanía o lejanía entre ellos, sino más bien de la propia precisión con la que se han determinado dichos puntos. Lo cual no debe sorprender, pues en definitiva estamos trabajando con puntos obtenidos por el método de radiación.

#### 4.3. ANÁLISIS MÉTRICO: ESCÁNER TRIMBLE FRENTE A ESTACIÓN TCA-2003

Todos los estudios comparativos del apartado anterior se han realizado utilizando únicamente los valores aportados por las exploraciones efectuadas con el escáner Trimble GX, por lo tanto, las diferencias obtenidas son siempre valores relativos entre ellas. Para poder determinar la precisión alcanzada en cada una de las exploraciones, es necesario utilizar un patrón de referencia que permita hacerlo con mayor exactitud. Dicho patrón debe de garantizar este cometido, por lo que se tiene que observar y calcular mediante procedimientos que aseguren su mayor precisión.

La red observada utilizando la estación total TCA-2003, según la metodología expuesta en el capítulo 3.3 y los resultados obtenidos y analizados en el apartado 4.1, cumple dichas expectativas pues su precisión es superior a la obtenida con el escáner



laser Trimble GX, permitiendo realizar el contraste de este. Para llevarlo a cabo, se efectúan estudios comparativos entre los resultados obtenidos en cada estacionamiento del escáner (B-4000 y B-2000) y los valores calculados a partir de las observaciones realizadas mediante la estación total. Dichos estudios se realizan por campañas, con el fin de igualar las condiciones de las observaciones. Siguiendo el procedimiento de capítulos anteriores, se efectúa por una parte con la red de apoyo y por otra con la de puntos de control.

Se comienza el análisis para las observaciones realizadas sobre la red de apoyo, y más concretamente por el estudio comparativo de las coordenadas absolutas obtenidas en el sistema topocéntrico horizontal (Anexo 52). En la primera campaña, para la estación de escáner B-4000, lo primero que llama la atención es que las coordenadas  $Z$  en las esferas de radio mayor presentan errores que superan el centímetro, todos en sentido negativo y con valores relativamente próximos; para las esferas de radio menor los valores resultan también menores, rondando los cinco milímetros, pero todos ellos muy similares (Tabla 30), lo que indica un cierto sistematismo con tendencia a determinar cotas inferiores para todos los puntos, con más imprecisión para las esferas de radio mayor. Respecto de las componentes planimétricas, se observa que las  $X$  superan en su mayoría los tres milímetros, siendo la esfera 1001 la que presenta mayores discrepancias, superando los 4 mm para ambas.

Siguiendo con el mismo estacionamiento, en la segunda campaña, las diferencias en  $Z$  adquieren un valor muy significativo, especialmente en los pilares 3000 y 2000, superando en éste, con creces, los dos centímetros, lo que pone de manifiesto el error de verticalidad ya expuesto, y debido a un fallo en el compensador del nivel, afectando en menor grado para la dirección al vértice 1000. Para la componente  $X$  se aprecia una mayor diferencia en las esferas situadas sobre el vértice 1000, alcanzando los 7.5 mm. Para las esferas de radio mayor, las diferencias en  $Y$  se mantienen, con valores muy similares, por encima de los tres milímetros.

En la tercera campaña, los valores obtenidos muestran mayor aleatoriedad lo que impide focalizar las posibles causas de error. Destaca la discrepancia obtenida en la coordenada  $X$  de la esfera 1001, superando el centímetro; se observa que la mayoría de las diferencias superan los 3 mm, con un número significativo que sobrepasa los 5 mm; las coordenadas  $Z$  presentan más coherencia.



**Sistema Topocéntrico Horizontal (Sistema 4000)**  
**Diferencias entre coordenadas (escáner Trimble respecto TCA 2003)**

1ª campaña						
Pto.	Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
1001	0,0041	0,0044	-0,0049	0,0012	0,0057	-0,0066
1002	0,0030	-0,0009	-0,0133	0,0043	0,0048	-0,0069
2001	0,0033	0,0011	-0,0049			
2002	0,0004	-0,0028	-0,0126			
3001	0,0016	-0,0009	-0,0046	-0,0019	0,0002	-0,0066
3002	-0,0037	-0,0011	-0,0104	-0,0023	0,0039	-0,0073
4001				-0,0019	0,0001	-0,0109
4002				0,0016	0,0028	-0,0088

2ª campaña						
Pto.	Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
1001	0,0055	0,0018	-0,0070	-0,0007	0,0021	-0,0041
1002	0,0075	-0,0032	-0,0047	0,0038	0,0008	-0,0045
2001	0,0021	0,0014	-0,0271			
2002	0,0030	-0,0038	-0,0226			
3001	0,0013	-0,0007	-0,0192	-0,0001	0,0002	-0,0060
3002	0,0000	-0,0033	-0,0180	0,0009	0,0036	-0,0047
4001				0,0004	-0,0008	-0,0079
4002				0,0028	0,0018	-0,0078

3ª campaña						
Pto.	Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
1001	-0,0101	0,0061	0,0001	-0,0032	0,0082	-0,0023
1002	-0,0056	0,0025	-0,0015	-0,0059	-0,0046	-0,0027
2001	0,0029	0,0022	0,0032			
2002	-0,0037	0,0079	-0,0021			
3001	0,0083	0,0009	-0,0035	-0,0015	-0,0059	-0,0029
3002	0,0048	0,0091	-0,0021	0,0029	-0,0028	-0,0026
4001				-0,0020	-0,0029	-0,0030
4002				0,0046	-0,0029	-0,0041

Código de Colores	
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red-Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.

Tabla 30.- Diferencias coordenadas Trimble respecto ET (Resumen)

Para los estacionamientos de escáner sobre el vértice B-2000 se observa que en las dos primeras campañas las diferencias mayores se producen en las Z, con valores que superan en muchas ocasiones los 6 mm, llegando a superar el centímetro, cosa que ya no sucede en la tercera campaña, donde las diferencias se reducen, estando, salvo una, por debajo de los 4 mm, es indicativo que en todas las campañas las cotas obtenidas resultan menores que las del patrón de referencia. Las componentes planimétricas presentan diferencias que se comportan de manera más aleatoria, superando en pocas ocasiones los 4 mm, llegando a un máximo de 8 mm, y con sentidos cambiantes.





A partir de los estudios comparativos realizados sobre las coordenadas absolutas obtenidas sobre los pilares de la red de apoyo, prescindiendo de los valores altimétricos de la estación B-4000 en la segunda campaña, se observa que las diferencias se encuentran, salvo raras excepciones, por debajo del centímetro, comportándose de forma un tanto aleatoria, lo cual las hace imprevisibles dentro de dicho rango, llegando a la conclusión de que no se pueden garantizar los valores obtenidos con el escáner para precisiones que superen el centímetro, haciendo notar que en ocasiones se puede superar dicho valor en la determinación de las coordenadas del centro de las esferas escaneadas.

Para ampliar el análisis se procede a calcular, a partir de las coordenadas obtenidas para los centros de las esferas, las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales de todas las alineaciones formadas entre dichos centros, para ambos tamaños de esferas, realizando el estudio comparativo entre las mismas (Anexos 53 a 58), esto permite poner de manifiesto las diferencias que se producen, para cada una de las bases de la red de apoyo, según su sentido longitudinal, transversal y en desnivel, observando que los valores obtenidos ratifican los ya vistos y por tanto llegamos a la misma conclusión anterior.

Para completar el estudio métrico se realiza el análisis sobre la manera en que se transmiten los errores detectados para las coordenadas de los centros de las esferas, obtenidas con el escáner láser Trimble GX. Para ello se establecen, en el centro de cada esfera, sistemas particulares de coordenadas cartesianas. Cada uno de estos sistemas queda definido de la forma siguiente: su origen está determinado por las coordenadas del centro de la esfera correspondiente, calculadas a partir de la observación clásica; el eje Y queda definido por la dirección de la visual procedente del correspondiente estacionamiento, considerando como sentido positivo el que se aleja de éste; el eje Z se encuentra en el plano vertical que contiene a la citada visual, formando con ésta un ángulo recto, considerando como sentido positivo el que se acerca más a la dirección del cenit; el eje X es ortogonal al plano definido por los dos anteriores, tomando como valor positivo el que, junto con ellos, forma una terna directa.

Más adelante realizaremos esta misma operación sobre las esferas y placas de puntería que configuran la red de control, utilizando el mismo criterio para definir los sistemas particulares de coordenadas cartesianas. Según lo expuesto, en cada esfera o placa de puntería se establecerán dos de estos sistemas, en cada campaña, uno por cada estacionamiento del escáner (B-4000; B-2000). En lo sucesivo, nos referiremos a estos sistemas denominándoles Sistemas Topocéntricos Locales.

Estos sistemas topocéntricos locales nos permiten calcular los datos de lo que vamos a denominar *vector error* para cada punto, dichos vectores error tiene su origen en el punto de coordenadas calculadas por topografía clásica, origen a su vez del sistema local, y su extremo en el punto de coordenadas obtenidas por el escáner



láser. Según esto, se determina la magnitud, orientación y ángulo de elevación para cada vector error en su correspondiente sistema topocéntrico local, así como sus tres componentes cartesianas y, por consiguiente, las componentes longitudinal y transversal según las cuales se transmite el error, así como la dirección de esta última, medida desde el eje Z positivo.

Analizando los resultados obtenidos (Anexos 59 y 60), se observa que para las dos primeras campañas, las componentes longitudinales de los errores no superan en ningún caso los cinco milímetros, cosa que sí que sucede en la tercera campaña, alcanzando los 8.2 mm para la esfera 3001 escaneada desde el pilar B-4000, igualmente se comprueba que el sentido de los errores entre las campañas primera y segunda concuerdan, en unos casos por exceso y en otros por defecto, mientras que en la tercera no sucede así, siendo todos ellos por exceso, salvo uno. Esto implica que al comparar coordenadas obtenidas con el escáner, para un mismo punto en diferentes campañas, el error se puede acumular, incrementando sus diferencias, tal como se vio en el capítulo 4.2. Es fácil comprobar que para la esfera 3002 escaneada desde el vértice B-4000, entre las campañas primera y tercera se acumula una discrepancia longitudinal de 9.7 mm.

Las componentes transversales de los errores son, por regla general salvo raras excepciones, mayores que las longitudinales. Para las dos primeras campañas predominan las componentes Z del error, siendo en todo momento negativas, mientras que las componentes X resultan, casi en su totalidad, positivas, esto implica un cierto sistematismo que origina un aumento constante en los acimutes y una disminución, también constante, en los ángulos de pendiente, y como consecuencia en las cotas. En la tercera campaña, por el contrario, prevalecen las componentes X adquiriendo, mayoritariamente, sentido negativo, lo que rompe la tendencia de las campañas anteriores. Las componentes Z siguen siendo negativas, salvo una excepción.

De los estudios realizados a partir de las coordenadas de los centros de las esferas colocadas sobre los pilares de la red de apoyo, obtenidas mediante las exploraciones realizadas con el escáner, se deducen las conclusiones siguientes:

- en los errores detectados, salvo muy raras excepciones, predomina la componente transversal sobre la longitudinal, siendo sus diferencias, en un elevado número de ocasiones, bastante marcadas.
- esto indica que el escáner determina con mayor precisión las distancias que los ángulos.
- los errores longitudinales en su mayoría se encuentran por debajo de los 4 mm, no obstante se han alcanzado los 8.2 mm, que supone un error relativo de 364 ppm.
- se puede deducir, en consecuencia, que la precisión con la que se han determinado las distancias, teniendo en cuenta el error relativo obtenido, se aproxima al centímetro.



- los errores transversales, hecha la salvedad de la estación B-4000 de la segunda campaña por los motivos ya expuestos, superan en su mayoría los 4 mm, llegando hasta los 13.6 mm. Dado que los errores transversales, siendo originados por imprecisiones angulares, son directamente proporcionales a las distancias de radiación, se hace factible determinar sus valores relativos respecto de éstas, de forma análoga al caso de los errores longitudinales, de donde se obtiene que el error transversal relativo más desfavorable alcanza las 467 ppm, equivalente a una apreciación angular del orden de los tres minutos centesimales.
- analizando los errores transversales, se observa el predominio de la componente Z, con un claro sistematismo en sentido negativo, lo que conlleva obtener siempre cotas inferiores.
- se puede establecer la precisión para la determinación de las coordenadas, en función de la componente transversal de los errores, en una cifra que se aproxima a los 15 mm.
- con respecto a los tamaños de las esferas, aunque para el estacionamiento sobre B-4000 de la primera campaña se obtiene claramente peores resultados sobre las de mayor radio, no se puede concluir nada al respecto, pues en el resto de observaciones no se produce tal efecto.
- todas las longitudes de las bases están por debajo de los 41 m, pudiendo por tanto exponer que, para distancias que no superen dicha magnitud, realizando exploraciones sobre esferas colocadas con sistema de centrado forzado, se pueden determinar las coordenadas del centro de las mismas con una precisión que ronda los 15 mm, siempre que no sean exploraciones aisladas y permitan, por tanto, efectuar su contraste.

Realizando ahora el estudio sobre los puntos de la red de control, conformada por las esferas y placas de puntería colocadas en las fachadas, a partir de las discrepancias observadas sobre las coordenadas absolutas en el sistema topocéntrico horizontal (Anexos 61 a 63), se obtienen resultados similares a los de la red de apoyo. Se destaca que los errores en las cotas para el estacionamiento sobre B-4000 en la segunda campaña, debidos al error en el compensador vertical, aumentan con motivo de ser mayores las distancias. Los valores de las diferencias siguen mostrándose de manera aleatoria, sin manifestar de forma evidente tendencias de los errores o sistematismos. Destacan las discrepancias producidas en la componente X de la placa de puntería 101, desde B-4000 en la 2ª campaña, alcanzando los 31 mm, así como para las componentes Y y Z de la placa 601, desde la misma estación para la 3ª campaña, donde se llegan a 35.6 y 21.5 mm respectivamente, teniendo en común que ambas señales están colocadas sobre fondo negro. Se observa un número significativo de discrepancias que superan los 10 mm, distribuidos de forma aleatoria para las diferentes componentes cartesianas y distintos tipos de señales.



Calculando las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales de todas las direcciones que se obtienen desde cada estación de escáner a cada una de las placas y esferas, y comparándolas con las determinadas con la estación total (Anexo 114), se observa que las discrepancias mayores, que superan el centímetro y en algún caso extremo los 30 mm, se producen sobre las componentes transversales y en los desniveles, es decir, en las producidas por las variaciones angulares; siendo menores las correspondientes a las determinaciones de distancias, donde las diferencias que superan los 5 mm son relativamente pocas, alcanzando la más desfavorable un valor de 10.4 mm.

Al efectuar el estudio zonal en cada uno de los grupos compuesto por tres señales, una vez calculadas las distancias, acimutes y ángulos verticales de los tres lados que se forman entre ellas, y realizadas las comparaciones, para cada estación de escáner y por campaña, con los valores obtenidos a partir de la red compensada por métodos clásicos (Anexo 114), aparecen las discrepancias ya detectadas según los párrafos anteriores, superando en algunos casos los 30 mm, lo cual, y dado que los triángulos formados por cada grupo de señales en ningún caso superan los 60cm de lado, dichas diferencias suponen unos errores relativos muy grandes.

Analizando el comportamiento sobre todo el conjunto de la red de apoyo, para lo que se realiza el estudio comparativo entre las distancias y valores angulares que se obtienen entre señales de puntería en función de sus diferentes tipos (Anexo 114), se observa que con las placas sobre fondo negro se producen las mayores discrepancias, superando muchas de ellas los 20 mm y llegando a alcanzar los 41.6 mm. Para las placas sobre fondo verde y las esferas, las discrepancias son algo menores, no superando los dos centímetros, si exceptuamos la segunda campaña de la estación B-4000, no obstante, es elevado el número de aquellas que superan los 5 mm, y en varios casos el centímetro.

Para completar el estudio métrico se procede a analizar la forma en que se transmiten los errores obtenidos, para ello se establecen en los centros de cada una de las placas y esferas los correspondientes sistemas topocéntricos locales, tal como se ha descrito anteriormente. Sobre cada sistema establecido se obtienen la magnitud, orientación y ángulo de elevación del vector error, a partir de las cuales se determinan sus componentes cartesianas y, como consecuencia, la longitudinal y transversal en que se descompone el error, así como la dirección de esta última respecto del eje Z positivo.

Analizando los resultados (Anexos 64 a 69) se observa que las componentes longitudinales de los errores son, por regla general, menores que las transversales, lo que confirma que el escáner determina con mayor precisión las distancias que los valores angulares. Con respecto a sus magnitudes, los errores longitudinales en su mayoría están por debajo de los 5 mm, pero el número de ocasiones en que se supera esta cifra es lo bastante representativo como para ser considerado en la



determinación de la precisión alcanzada, aunque debido a su variación no es posible concretar ningún sistematismo en función de las distancias, de los ángulos de incidencia o de los tipos de señales, cabe indicar, eso sí, que en ninguna ocasión se supera el centímetro.

Para los errores transversales se observa que mayoritariamente superan los 5 mm, y en múltiples ocasiones el centímetro, llegando al caso extremo de 41.6 mm para la placa número 601, situada sobre fondo negro. Se aprecia que en las dos primeras campañas, las componentes que predominan en el error son las verticales (dz), consecuencia de las variaciones en las pendientes, lo que puede ser indicativo de falta de precisión en el sistema automático de compensación de la vertical; en la tercera campaña se rompe esta tendencia, aumentando el predominio de las componentes horizontales (dx), en la que cobra mayor peso la orientación del vector error, es decir, las variaciones acimutales que se producen al determinar cada punto. Ambos casos vienen afectados por la resolución angular con la que quedan definidos los puntos. En general, y a pesar de la magnitud de los errores, no se pueden obtener conclusiones claras sobre sistematismos; para el primer grupo de dianas, donde el error es siempre considerable, puede ser debido, para la estación B-4000 a la distancia de radiación, que supera los 60 m, mientras que para la estación B-2000 con respecto a las placas de puntería, al ángulo de incidencia de la visual, motivo que no se puede utilizar para la esfera, lo que genera ciertas dudas sobre los motivos de dichos errores. En el caso citado de la placa de puntería 601, en su exploración desde la estación B-4000 en la tercera campaña, donde la distancia de radiación es inferior a 42m y el ángulo de incidencia es próximo a la ortogonal, el error tan excesivo que se produce no tiene justificación lógica, sólo es achacable a una mala determinación o cálculo del centro de la nube de puntos, por parte del escáner, que a pesar de ser un caso único y aislado, es necesario tener en consideración. Este error grosero puede ser detectar en el proceso de gabinete, mediante el programa RealWorks, sin más que situarse sobre el punto en cuestión y cotejar las coordenadas.

De todo el conjunto de estudios realizados a partir de las coordenadas obtenidas con el escáner Trimble GX, para los centros de esferas y placas de puntería que conforman la red de control, se deducen las siguientes conclusiones:

- se ratifica que los errores se manifiestan con mayor magnitud en direcciones transversales a la visual, es decir, quedan mejor determinadas las distancias de radiación que los ángulos que las definen.
- la precisión con la que se obtienen las coordenadas absolutas de los centros de placas y esferas viene condicionada por los errores de mayor magnitud, a la vista de los resultados obtenidos se podría cifrar la precisión media, en condiciones normales, en valores que rondarían entre los 10 y los 15 mm, pero en la práctica se observa que



si se pretende tener garantías de los resultados, la precisión se sitúa próxima a los 20 mm.

- debido a la magnitud de los errores absolutos en las coordenadas, al efectuar mediciones entre puntos de la red de control, se produce la acumulación de sus efectos haciendo que las diferencias detectadas superen, en un número considerable de casos, los 25 mm y, ocasionalmente, los 30 mm, lo que se traduce en unos errores relativos muy grandes, especialmente cuando los puntos están próximos entre sí. Por consiguiente, su utilización no es válida para trabajos que requieran precisiones por encima de dicha cifra.

#### 4.4. ANÁLISIS MÉTRICO: ESCÁNER LÁSER FARO PHOTON 80

En este capítulo se realizan estudios sobre los datos obtenidos únicamente con el escáner láser Faro Photon 80, con el objetivo de realizar diversos análisis comparativos entre las coordenadas obtenidas desde sus estacionamientos en las diferentes campañas. Con esto se pretende evaluar su comportamiento, utilizando el entorno controlado, sobre el que se ha desarrollado todo el trabajo.

Al igual que con el modelo de escáner visto anteriormente, se ha estacionado, de forma secuencial, sobre los pilares B-4000 y B-2000 en cada una de las campañas, realizando exploraciones sobre las esferas, de dos tamaños diferentes, colocadas en el resto de los pilares, así como sobre las placas de puntería y esferas colocadas en fachadas y que conforman la red de control.

Comenzando el estudio sobre la red de apoyo, desde cada pilar se han observado las esferas colocadas sobre los otros tres, por consiguiente, en cada campaña se obtienen las coordenadas de las esferas situadas sobre los pilares B-1000 y B-3000 desde ambos estacionamientos y con observaciones próximas en el tiempo, lo que supone unas condiciones de toma muy similares. Esto nos conduce a un primer análisis realizado mediante la comparación de los valores obtenidos en cada campaña, tal como se muestra en la Tabla 31, donde, a la vista de las diferencias que se observan, sorprende el gran número de ellas que superan los 10 mm, y en el caso de la componente X de la esfera 3001, en las dos primeras campañas ronda los 20 mm y en la tercera supera los 28 mm. Todo esto toma mayor relevancia desde el momento en que las coordenadas que se están utilizando, no están obtenidas como puntos aislados, sino en base al promedio de una nube de puntos que realiza el programa de gestión del escáner por medio del ajuste de una esfera de radio definido.

A continuación se procede a estudiar los resultados obtenidos para cada estacionamiento, realizando las comparativas entre las coordenadas obtenidas en las sucesivas campañas (Tabla 32).



**Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000**  
**Escáner Láser Faro Photon 80 Diferencias entre estaciones por campañas**

Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	B-4000	B-2000	Diferencias	B-4000	B-2000	Diferencias	B-4000	B-2000	Diferencias
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1001	5,5468	36,0569	1,8440	5,5406	36,0537	1,8608	-0,0061	-0,0031	0,0168
1002	5,5532	36,0464	1,8763	5,5511	36,0469	1,8957	-0,0021	0,0004	0,0195
3001	22,3267	3,5340	0,5714	22,3071	3,5207	0,5785	-0,0196	-0,0133	0,0071
3002	22,3152	3,5250	0,6188	22,3147	3,5300	0,6343	-0,0005	0,0049	0,0155

Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	B-4000	B-2000	Diferencias	B-4000	B-2000	Diferencias	B-4000	B-2000	Diferencias
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1001	5,5484	36,0553	1,8724	5,5425	36,0558	1,8724	-0,0060	0,0005	0,0000
1002	5,5466	36,0472	1,9074	5,5484	36,0440	1,9105	0,0018	-0,0032	0,0031
3001	22,3277	3,5291	0,5901	22,3055	3,5218	0,5926	-0,0222	-0,0074	0,0025
3002	22,3168	3,5259	0,6207	22,3152	3,5301	0,6262	-0,0016	0,0043	0,0055

Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	B-4000	B-2000	Diferencias	B-4000	B-2000	Diferencias	B-4000	B-2000	Diferencias
	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1001	5,5449	36,0607	1,8297	5,5453	36,0617	1,8398	0,0005	0,0010	0,0101
1002	5,5429	36,0498	1,8656	5,5536	36,0611	1,8708	0,0107	0,0113	0,0052
3001	22,3273	3,5290	0,5755	22,2988	3,5265	0,5903	-0,0285	-0,0025	0,0148
3002	22,3128	3,5368	0,6118	22,3000	3,5360	0,6239	-0,0128	-0,0008	0,0120

**Código de Colores**

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.

Tabla 31.- Comparativa coordenadas Faro (por campañas)

**Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000**  
**Escáner Láser Faro Photon 80 Estación B-4000 Diferencias entre campañas**

Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
1001	0,0017	-0,0016	0,0284	-0,0036	0,0054	-0,0427	-0,0019	0,0038	-0,0142
1002	-0,0066	0,0008	0,0311	-0,0037	0,0026	-0,0418	-0,0103	0,0034	-0,0107
2001	0,0009	-0,0017	0,0180	0,0006	-0,0025	-0,0279	0,0015	-0,0042	-0,0099
2002	0,0009	0,0004	0,0119	-0,0012	-0,0018	-0,0248	-0,0003	-0,0014	-0,0129
3001	0,0010	-0,0048	0,0187	-0,0004	-0,0001	-0,0146	0,0006	-0,0050	0,0041
3002	0,0017	0,0008	0,0019	-0,0040	0,0109	-0,0089	-0,0023	0,0117	-0,0070

**Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000**  
**Escáner Láser Faro Photon 80 Estación B-2000 Diferencias entre campañas**

Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
1001	0,0018	0,0021	0,0117	0,0029	0,0059	-0,0326	0,0047	0,0080	-0,0210
1002	-0,0026	-0,0029	0,0147	0,0051	0,0171	-0,0397	0,0025	0,0142	-0,0250
3001	-0,0016	0,0011	0,0141	-0,0067	0,0048	-0,0023	-0,0083	0,0059	0,0118
3002	0,0006	0,0002	-0,0081	-0,0152	0,0058	-0,0024	-0,0146	0,0060	-0,0104
4001	0,0007	0,0023	0,0227	-0,0010	0,0037	-0,0237	-0,0003	0,0060	-0,0010
4002	-0,0011	-0,0010	-0,0058	0,0015	0,0013	-0,0170	0,0004	0,0003	-0,0228

**Código de Colores**

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.

Tabla 32.- Comparativa coordenadas Faro (por estaciones)



Se observa que para cada estacionamiento, a lo largo de todo el periodo de trabajo, las componentes planimétricas presentan de forma esporádica diferencias superiores al centímetro, llegando a alcanzar, eso sí, los 17 mm y presentando no pocos casos en los que sobrepasan los 5 mm. En las componentes altimétricas se observan mayores discrepancias, superando en su gran mayoría los 10 mm, llegando a rozar la cifra de los 43 mm, y con bastantes valores que superan los 20 mm.

De este primer análisis, a partir de las diferencias en las componentes cartesianas de los centros de las esferas se deduce una primera conclusión que resulta evidente, y es que los valores altimétricos están determinados con menor precisión que los planimétricos, siendo difícil a priori garantizar precisiones por encima del centímetro para éstos y de los cuatro centímetros para aquellos.

Para continuar con el estudio, se calculan los elementos de las líneas bases que se forman entre los citados centros de esferas, esto es, sus distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales, procediendo a realizar las comparativas correspondientes, calculando la repercusión transversal de las diferencias acimutales y en desnivel de las cenitales (Anexos 72 a 75). Se observa que para las esferas de radio menor (del equipo Trimble) las diferencias en distancias y en componentes transversales se mueven generalmente por debajo del centímetro, superándolo en pocas ocasiones, siendo más frecuentes estas situaciones para las esferas de radio mayor (del equipo Faro). Para las diferencias altimétricas, consecuencia de las discrepancias cenitales, los valores superan en muchas ocasiones los 20 mm para ambos tamaños de esferas, de forma un tanto aleatoria y alcanzando las cifras ya vistas en las comparativas de coordenadas.

Analizando las comparativas realizadas a partir de las coordenadas obtenidas con el escáner láser Faro Photon 80, sobre las esferas situadas en la red de apoyo, se puede deducir que las precisiones alcanzadas en planimetría rondan los 20 mm, pero en altimetría es más del doble, lo que muestra un claro desequilibrio en las prestaciones del equipo.

A continuación se pasa a estudiar el comportamiento del escáner en las observaciones realizadas sobre los puntos de la red de control. Mediante las comparaciones realizadas entre las coordenadas obtenidas en las diferentes campañas desde la estación B-4000 (Anexo 70), siguen prevaleciendo las discrepancias en la altimetría, produciéndose un incrementando en las magnitudes, achacable al aumento en las distancias. Destacan valores que superan los 60 mm, como son la componente Z de la placa 300 sobre fondo verde y la componente Y de la esfera 302 de radio menor, siendo la distancia de radiación, para ambas, de poco más de 65 metros. Se observan igualmente valores que superan los 40 mm para señales cuyas distancias rondan los 60 metros.





Para las coordenadas obtenidas desde la estación B-2000 (Anexo 71) las diferencias presentan valores menores en comparación con los de la anterior, lo cual se justifica al ser menores las distancias radiadas, también se observa que las diferencias entre altimetría y planimetría son más parecidas, manifestándose en esta última las mayores, que llegan a alcanzar los 34 mm, produciéndose sobre los grupos de señales en los que la visual es más oblicua.

Realizando los estudios comparativos en cada campaña, entre las coordenadas obtenidas desde cada estacionamiento (Anexo 114), se observa que la tercera campaña es la que presenta, dentro de lo que cabe, una mayor homogeneidad entre diferencias planimétricas y altimétricas. Las mayores discrepancias se producen en el tercer grupo de señales, en consonancia con lo dicho en párrafo anterior, y en las dos primeras campañas, en concreto 68.4 mm de diferencia en planimetría en la 1ª campaña, mientras que en altimetría se producen en ambas, llegando a 69.3 mm en la 2ª; no obstante, en la tercera campaña disminuyen considerablemente, lo que indica cierta aleatoriedad en los resultados obtenidos.

Con las coordenadas de los puntos de control se obtienen las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales para todas las visuales que se generan desde los respectivos estacionamientos de escáner (Anexos 76 a 79) procediendo a su comparación entre las diferentes campañas. Para la estación B-4000 se comprueba que para la esfera 302, los seis centímetros de diferencia cometidos en la 1ª campaña coinciden con el sentido lineal de la distancia, mientras que en el sentido transversal alcanzan los 35.4 mm. El resto de diferencias planimétricas que superan el centímetro suelen producirse con mayor frecuencia en sentido transversal, con mayor intensidad en los tres primeros grupos de señales y en la primera campaña. En lo referente a la altimetría, como era de esperar, los resultados son similares a los vistos anteriormente. Para la estación B-2000 se observa que las diferencias que superan el centímetro se encuentran sobre el primer grupo de puntos, en la tercera campaña, con repercusión transversal y en desnivel principalmente, así como para los grupos 5º y 6º en sentido transversal. Se encuentran también discrepancias de magnitudes análogas para otros puntos y de forma esporádica.

Siguiendo con el estudio, se procede a continuación a estudiar las repercusiones que tienen las diferencias detectadas en las coordenadas, sobre las relaciones que vinculan a los puntos de control entre sí. Para ello se procede según dos planteamientos, por un lado se realiza el análisis para cada uno de los grupos de tres señales, lo que permite el estudio para zonas pequeñas, y el otro planteamiento pretende estudiar el comportamiento sobre el conjunto total de la red de control, abarcando una zona más amplia, para lo cual se procede a comprobar las relaciones existentes entre las señales del mismo tipo en cada grupo. Dichas relaciones viene dadas por las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales existentes entre los puntos de control.



Comenzando por los grupos, formados por tres señales cada uno de ellos, y calculados sus elementos a partir de las coordenadas obtenidas desde B-4000 (Anexo 80 y 81), al comparar los resultados obtenidos para cada campaña se observa que las diferencias son más acusadas cuanto mayor es la distancia de los puntos de control respecto del instrumento, destacando que para el grupo de señales 3°, distante del orden de 65 metros, se alcanzan discrepancias de 109 mm, como consecuencia de la acumulación de las ya detectadas en los respectivos puntos, y debidas a la mala definición que se tiene para dichas distancias. Los grupos de señales 1°, 2° y 4°, todos ellas a distancias que superan los 49 metros, presentan diferencias que superan el centímetro. Pero se observa que para los grupos 5° y 6°, con distancias que se encuentran entre los 40 y los 45 metros, también se producen de forma esporádica.

Para los elementos calculados sobre las coordenadas obtenidas desde la estación B-2000 (Anexos 82 y 83), el grupo de señales más alejado es el primero, que supera ligeramente los 40 metros de distancia de radiación, siendo sobre el mismo donde se producen la mayoría de las discrepancias que superan el centímetro, tanto en planimetría como en altimetría, llegando en ésta a los 24.7 mm, pudiendo estar justificadas en parte por la oblicuidad de las visuales. No obstante, la mayor diferencia se produce sobre el grupo 2°, donde se detectan 28.7 mm, aparte de otros valores que se aproximan o superan el centímetro, lo que resulta muy significativo, pues dichas señales de puntería distan menos de 22 metros y sus visuales son bastante ortogonales. Para el resto de grupos, las diferencias suelen estar por debajo de los 5 mm, pero en todos ellos aparece alguna que supera esta magnitud, llegando a los 10.7 mm.

Para analizar la red en conjunto, se realizan los estudios comparativos vinculando los puntos de control según la tipología de estos (Anexos 84 a 95). Para las placas de puntería sobre fondo verde observadas desde B-4000, las mayores diferencias se obtienen para los segmentos definidos por 300-400, 300-500 y 300-600, con respecto a los valores obtenidos desde B-2000 no se destaca ninguna en concreto, pero en ambos casos las discrepancias suponen valores relativos que limitan seriamente las precisiones de escáner. Mediante la comparación entre los dos estacionamientos para cada campaña, se pone de manifiesto que es en las dos primeras cuando se producen las discrepancias mayores en diferencias altimétricas, mientras que en la tercera se fijan más las planimétricas. Con respecto a las placas de puntería sobre fondo negro, las mayores discrepancias se observan en los segmentos en que interviene la señal 101. Para las esferas, respecto de los valores obtenidos a partir de B-4000, se obtienen las mayores discrepancias en los todos los segmentos en los que participa el punto 302, lo que está motivado por la mala definición con la que está obtenido este punto, como ya se ha visto. Analizando en conjunto todas las comparativas realizadas entre puntos de la red de apoyo, se producen unas diferencias que, originadas por la deficiente precisión en la obtención



de cada uno de ellos, alcanzan valores que limitan considerablemente la utilización del escáner cuando se pretende garantizar los resultados con tolerancias pequeñas.

Como resumen del conjunto de análisis realizados, mediante estudios comparativos entre los resultados obtenidos por medio del escáner láser Faro Photon 80, en sus diferentes estacionamientos y campañas, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- respecto de las exploraciones realizadas sobre esferas situadas en los pilares con centrado forzado, pertenecientes a la red de apoyo, para un mismo punto, en una misma campaña, dependiendo de la situación del escáner, las diferencias llegan a superar los 20 mm, siendo incluso mayores para observaciones realizadas en distintas campañas, donde se han determinado diferencias que superan los 42 mm. Resulta significativo que estas discrepancias son mucho más marcadas en los valores altimétricos, lo que induce a pensar en una incorrecta compensación realizada por el clinómetro del instrumento. Teniendo en cuenta que las bases no superan en ningún caso los 41 metros, se deduce que las precisiones obtenidas se alejan considerablemente de las previstas por el fabricante, según las características técnicas facilitadas con el equipo.
- sobre las placas de puntería y esferas que configuran la red de control, las conclusiones que se deducen son análogas, eso sí, agravadas por el aumento de las distancias y, en ocasiones por la oblicuidad de los ángulos de incidencia. Dada la magnitud de las diferencias obtenidas, resulta difícil efectuar estudios pormenorizados sobre el comportamiento en los diferentes tipos de señales utilizadas, lo que sí se puede deducir es que para distancias en torno a los 65 metros, los resultados obtenidos son de una precisión muy deficiente; para puntos situados en un rango entre 45 y 60 metros de distancia de radiación, las coordenadas presentan bastante incertidumbre, superando con relativa facilidad los 20 mm de discrepancia, y para distancias de radiación por debajo de los 45m, se encuentran diferencias que rondan, e incluso superan, dicha cifra.

#### 4.5. ANÁLISIS MÉTRICO: ESCÁNER FARO FRENTE A ESTACIÓN TCA-2003

Los estudios efectuados en el capítulo anterior están realizados a partir de valores obtenidos únicamente con las exploraciones del escáner Faro Photon 80, siendo, por consiguiente, diferencias relativas entre ellas. Con el objetivo de poder determinar las precisiones reales alcanzadas en dichas mediciones del escáner, es necesario realizar su comparación con un patrón de referencia que garantice una mayor exactitud. Dicho patrón, ya ha quedado definido con anterioridad, siendo el



observado con la estación total TCA-2003, según metodología expuesta en el punto 3.3 y cuya precisión, analizada en el apartado 4.1, supera con creces la obtenida para el escáner. Para evaluar la precisión de éste, se efectúan los estudios comparativos entre sus resultados y los valores calculados mediante la estación total. Dichos estudios se realizan por campañas, con el objetivo de igualar las condiciones de observación, manteniendo el criterio de separar las redes de apoyo y de control, con el fin de analizar los efectos sobre cada una de ellas.

Comenzando por las coordenadas de la red de apoyo, se procede a comparar las obtenidas con el escáner, con las ajustadas por topografía clásica (Anexo 96). En líneas generales se observa cierta aleatoriedad en las diferencias obtenidas, tal como se aprecia en el cuadro resumen de la Tabla 33, donde se aprecia que, para un mismo punto escaneado desde la misma estación en diferentes campañas, las diferencias pueden suponer algunos centímetros, por ejemplo, la Z de la esfera 1002, tomada desde la estación B-2000, discrepa 39.4 mm entre la 2ª y 3ª campañas, pudiendo observarse más situaciones parecidas. Debido a estas diferencias, y dado que no siguen una regla clara, no es posible deducir de forma pormenorizada los motivos que las originan. Se puede concluir que las mayores diferencias se producen siempre en las cotas, llegando al valor de 61.5 mm, lo que confiere una menor precisión en las determinaciones altimétricas del escáner. Para las componentes planimétricas las diferencias son menores, pero no por ello irrelevantes, llegando a alcanzar los 18.2 mm.

Para la siguiente fase del estudio, se realiza el cálculo de las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales de todos los segmentos que configuran las bases de la red de apoyo, las cuales quedan delimitadas por las coordenadas de los centros de las esferas, tratando por separado para cada tamaño de éstas, y comparando dichos valores con los obtenidos para la red observada con la estación total (Anexos 97 a 102), esto permite analizar cómo repercuten las discrepancias observadas sobre la configuración de la red, determinando sus diferencias según las direcciones longitudinal, transversal y en desnivel de las propias bases.

Como era de prever, las mayores diferencias se producen en los desniveles pero, debido a que las diferencias en coordenadas absolutas se manifiestan prácticamente siempre en el mismo sentido, sus valores relativos resultan algo menores. Si nos fijamos en la estación sobre B-4000, para las esferas de radio menor, en la segunda campaña es claro el predominio de las discrepancias en Z, alcanzando los 37 mm, mientras que en las otras dos campañas las diferencias en distancias se acercan e incluso superan aquellas, en la tercera campaña, en concreto, la diferencia mayor es de 15.3 mm en la distancia de la base B-1001/B-3001. Para las esferas de mayor radio, en las dos primeras campañas, las diferencias transversales y en distancia están por debajo de los 5 mm, salvo dos excepciones en que la superan llegando a los 7 mm, por el contrario las diferencias en desnivel rebasan con facilidad



el centímetro, alcanzando los 37.3 mm, mientras que en la tercera campaña, se observa una disminución considerables en éstas y un aumento en aquellas.

Sistema Topocéntrico Horizontal				Sistema 4000			Código de Colores
Diferencias entre coordenadas (escáner FARO respecto TCA 2003)							
1ª campaña							
Pto.	FARO B 4000 - TCA 2003			FARO B 2000 - TCA 2003			
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	
1001	-0,0023	0,0084	0,0073	-0,0084	0,0052	0,0242	n ≤ 1 mm.
1002	0,0040	-0,0023	0,0047	0,0019	-0,0019	0,0242	1 < n ≤ 2 mm.
2001	0,0057	0,0033	0,0072				2 < n ≤ 3 mm.
2002	-0,0033	-0,0048	0,0200				3 < n ≤ 4 mm.
3001	0,0082	0,0041	-0,0063	-0,0114	-0,0092	0,0009	4 < n ≤ 5 mm.
3002	-0,0024	-0,0051	0,0061	-0,0029	-0,0002	0,0215	5 < n ≤ 10 mm.
4001				-0,0092	-0,0065	0,0373	10 < n ≤ 20 mm.
4002				-0,0001	0,0003	0,0591	20 < n ≤ 40 mm.
2ª campaña							n > 40 mm.
Pto.	FARO B 4000 - TCA 2003			FARO B 2000 - TCA 2003			
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	
1001	-0,0011	0,0044	0,0372	-0,0071	0,0049	0,0372	
1002	-0,0028	-0,0032	0,0372	-0,0010	-0,0064	0,0403	
2001	0,0055	0,0023	0,0265				
2002	-0,0035	-0,0046	0,0332				
3001	0,0103	-0,0006	0,0141	-0,0119	-0,0080	0,0167	
3002	-0,0006	-0,0041	0,0095	-0,0022	0,0002	0,0151	
4001				-0,0056	-0,0046	0,0615	
4002				0,0001	-0,0011	0,0548	
3ª campaña							
Pto.	FARO B 4000 - TCA 2003			FARO B 2000 - TCA 2003			
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	
1001	-0,0048	0,0087	-0,0052	-0,0043	0,0097	0,0049	
1002	-0,0069	-0,0027	-0,0043	0,0038	0,0086	0,0009	
2001	0,0074	0,0018	0,0001				
2002	-0,0032	-0,0034	0,0096				
3001	0,0103	-0,0010	0,0000	-0,0182	-0,0035	0,0148	
3002	-0,0029	0,0070	0,0012	-0,0157	0,0062	0,0133	
4001				-0,0073	-0,0014	0,0384	
4002				0,0031	0,0000	0,0385	

Tabla 33.- Resumen diferencias entre coordenadas (Faro respecto ET)

Para los valores obtenidos a partir del estacionamiento sobre B-2000, las diferencias en desnivel superan en su gran mayoría el centímetro, llegando a la cifra de 44.6 mm, produciéndose fluctuaciones que superan los 20 mm, sobre una misma esfera. Las diferencias en distancias, sobre las esferas pequeñas presentan valores que mayoritariamente superan los 6 mm, hasta alcanzar los 12.3 mm, mantienen



cierta homogeneidad, con fluctuaciones que llegan a alcanzar los 8 mm; para las esferas grandes, por el contrario, los diferencias no suelen superar los 6 mm, a pesar de lo cual en la base 4002-3002 se alcanzan los 18.2 mm. Para las discrepancias transversales, sobre las esferas de radio menor se destacan las producidas en las bases 1001-3001 y 2001-3001, que para las primeras campañas rondan el centímetro, mientras que en la 3ª llegan a los 18.4 mm, para el resto de bases las diferencias suelen ser inferiores a los 5 mm en valores absolutos, no obstante se encuentran fluctuaciones de alcanzan los 4 mm; si nos fijamos ahora en las esferas de mayor radio, en las dos primeras campañas las diferencias no superan los 6 mm en valor absoluto, a pesar de lo cual se aprecian fluctuaciones que rebasan los 5 mm, en la tercera campaña, nuevamente en las bases B-1002/B-3002 y B-2002/B-3002 las diferencias superan los 17 mm, y en las bases B-1002/B-2002 y B-3002/B-4002 se aproximan al centímetro, lo que suponen algunas discrepancias, respecto de la segunda campaña, por encima de los 14 mm e incluso de los 20 mm.

Analizando el conjunto de resultados obtenidos para las bases de la red de apoyo, se observa que las diferencias altimétricas llegan a alcanzar valores relativos que superan con gran facilidad los 30 mm, para las distancias y componentes transversales esta cifra disminuye, no alcanzando en ningún caso los 20 mm, pero sí que se producen fluctuaciones entre ellas que alcanzan, e incluso superan esta cifra, lo que pone de manifiesto cierta inestabilidad en los resultados obtenidos, permitiendo asegurar que no se puede garantizar, en ningún caso, precisiones en la red observada con el escáner Faro Photon 80 por encima de los citados 20 mm para los valores planimétricos, ni de 40 mm para los altimétricos.

Para completar el estudio, y con el objetivo de analizar cómo se transmiten los errores producidos en la determinación de las coordenadas de los centros de las esferas, con el escáner, se establece en el centro de cada una de ellas un sistema de referencia topocéntrico local, tal como se ha definido en el capítulo 4.3, lo que permite determinar los respectivos vectores de error y, en consecuencia, sus componentes longitudinales y transversales, así como la dirección de éstas respecto del eje Z positivo.

A la vista de los resultados obtenidos (Anexos 103 y 104), se observa que para las exploraciones realizadas desde B-4000, en las tres campañas se repite que todos los errores longitudinales para las esferas de radio menor son por exceso y para las de radio mayor por defecto, para las primeras con valores comprendidos entre 5.9 y 10.5 mm, y para las segundas entre -1.3 y -7.1 mm, lo que induce a pensar en una mejor precisión sobre las esferas de radio mayor aportadas por el propio equipo del escáner. Esto no se cumple para los errores transversales, donde se observan los valores mayores sobre las esferas grandes, lo que anula la idea de que sobre unas esferas se obtengan mejores resultados que sobre las otras. En la primera campaña, dichos errores transversales en su mayoría se encuentran entre 6.4 y 7.8 mm, en cierta consonancia con los errores longitudinales, pero ésta se



rompe para la esfera 2002 con un error de 19.8 mm, se observa igualmente, que en su mayoría son errores de componente ascendente y en sentido dextrógiro. En la segunda campaña los errores transversales adquieren unos valores muy significativos, todos ellos superan el centímetro, llegando a los 37.1 mm, todos tienen componente ascendente, y el sentido es levógiro para el pilar B-1000 y dextrógiro para los otros pilares. En la tercera campaña, los valores vuelven a tener cierta similitud con los longitudinales, alternando ahora las componentes ascendentes y descendentes, así como sus sentidos.

Para la estación B-2000 los errores longitudinales en las esferas menores oscilan entre 4.7 y 12.3 mm, y en las de radio mayor entre 1.0 y -2.7 mm, de nuevo induce a atribuir mayor precisión a estas últimas, e igualmente, a la vista de los errores transversales, se diluye el planteamiento. Examinados los errores transversales, en las tres campañas adquieren valores muy representativos, superando en su mayoría los 20 mm, llegando a la cifra de 61.7 mm, siendo sus componentes básicamente verticales, y en todos los casos ascendentes, dado que las distancias de exploración son cortas, se induce que la causa es debida a alguna anomalía en la determinación de la vertical del escáner.

Del conjunto de pruebas realizadas sobre las coordenadas, determinadas por el escáner Faro Photon 80, de las esferas situadas en los pilares de la red de apoyo, se deducen las siguientes conclusiones:

- en la determinación de las distancias a los puntos escaneados, los errores cometidos son por lo general menores del centímetro, pero en ocasiones, como se ha visto, se sobrepasa esta cifra, y dado que las distancias de radiación están todas por debajo de los 41 metros, los errores relativos cobran cierta importancia, alcanzando las 500ppm.
- transversalmente hay ocasiones en que los errores son análogos a los longitudinales, lo que confiere cierta homogeneidad al instrumento, pero en otras, siendo mayoría en el presente trabajo, estos errores aumenta considerablemente debido a la componente vertical.
- se puede deducir que la precisión en la determinación del posicionamiento absoluto de los puntos en planimetría ronda el centímetro, lo que supone que el posicionamiento relativo entre ellos se acerca a los 20 mm de error, como se ha comprobado sobre las bases de la red.
- para las determinaciones en altimetría se hace muy difícil establecer un rango de error debido a que el escáner presenta gran inestabilidad en los resultados obtenidos, de lo que se deduce un incorrecto funcionamiento del sistema automático del clinómetro.
- respecto al tamaño de las esferas, obviando la componente vertical de los vectores error de todos los puntos, la tendencia es a obtener mejores resultados con las de radio mayor, facilitadas con el equipo.



A continuación se realiza el estudio sobre la red de control, efectuando el contraste entre los valores obtenidos con el escáner y los calculados mediante el ajuste realizado por topografía clásica. Comenzando por el análisis de las coordenadas absolutas en el sistema topocéntrico horizontal (Anexos 105 y 107).

En la estación B-4000, en la primera campaña, destacan las diferencias de 39.5 mm en X y 68.9 mm en Y obtenidas para la esfera de radio menor nº 302, que se encuentra a una distancia de 65 metros, estando originadas por su mala definición (ver Figura 55). En los grupos de señales cuyas distancias superan los 50 metros, se producen un número significativo de diferencias que superan los 10 mm, aproximándose en algún caso a los dos centímetros, para distancias menores de 50 metros las diferencias, las diferencias se encuentran, salvo una excepción, por debajo del centímetro. Las Z son caso aparte, pues sus diferencias están siempre por encima del centímetro, muchas de ellas superan los 25 mm, llegando al extremo de los 46.7 mm para la placa de puntería sobre fondo verde nº 300, que se encuentra a 65,2 metros de distancia. En la segunda campaña se observa que las diferencias en altimetría se mantienen, e incluso se agravan, sin embargo para las componentes planimétricas se produce una mejoría, siendo escasas las diferencias que superan el centímetro, todas ellas para distancias superiores a 50 metros, estando el resto por debajo, pero con bastantes de ellas que sobrepasan los 5 mm, alcanzando los 13.5 mm. En la tercera campaña, las diferencias en altimetría, al igual que sucedía para los pilares, adquieren valores que podríamos considerar razonables, estando en su mayoría por debajo de los 5 mm, siendo el mayor de 10.3 mm, en planimetría las diferencias adquieren valores análogos a los de la campaña anterior, con un valor máximo de 13.2 mm.

En la estación B-2000 se siguen observando las irregularidades en la altimetría, pero se observa una mayor arbitrariedad. Para el primer grupo de señales las diferencias rondan los tres centímetros en las dos primeras campañas, mientras que en la tercera lo hacen alrededor de los 15 mm; para el 2º grupo, en la primera campaña los valores rondan los 5 mm, mientras que en las otras dos tienden a superar el centímetro; para el tercer grupo, sorprendentemente las discrepancias entre campañas se reducen, y las diferencias detectadas se encuentran entre los 5.2 y 9.8 mm; para el grupo 4º, solamente en la segunda campaña se obtienen valores que superan el centímetro, siendo además prácticamente iguales a 12mm para las tres señales; para el grupo 5º es en la primera campaña donde las diferencias superan el centímetro; para el grupo 6º las diferencias superan los 15 mm en las campañas primera y tercera, llegando a alcanzar un máximo valor de 20.5 mm. En lo que se refiere a la planimetría, en las dos primeras campañas se obtienen diferencias con valores que en su mayoría están por debajo del centímetro, salvo raras excepciones en que se supera, llegando a los 13.9 mm; en la tercera campaña por el contrario, aparecen un número representativo de diferencias que superan el centímetro, destaca el grupo 6º de señales, donde se superan los dos centímetros, con un máximo de 21.9 mm, y en el grupo 1º donde se alcanzan los 32 mm.





Del conjunto de estudios comparativos entre las coordenadas de los centros de esferas y placas de puntería que configuran la red de control, un primer análisis que se extrae es la inconsistencia que presentan los resultados obtenidos con el escáner, lo que se deduce de las fluctuaciones observadas en los mismos.

Para continuar el estudio se procede a continuación a calcular las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales de las correspondientes visuales que se forman desde cada estación de escáner a los centros de las respectivas señales, y su comparación con las obtenidas mediante el ajuste por topografía clásica (Anexo 114). A la vista de los resultados, no se hace necesario un análisis exhaustivo de los mismos, pues conducen a las mismas conclusiones obtenidas anteriormente, sirviendo de ratificación de las mismas.

Siguiendo el mismo criterio utilizado con el otro modelo de escáner, a continuación se procede a estudiar la repercusiones de las discrepancias obtenidas, sobre las medidas entre puntos del objeto escaneados, para el caso que nos ocupa, entre las placas de puntería y esferas utilizadas como señales en la red de control. Para llevarlo a cabo se calculan las distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales entre los centros de las señales y se comparan con los correspondientes obtenidos mediante el ajuste por topografía clásica.

En primer lugar se procede a su estudio por zonas, realizándolo entre las señales que conforman un mismo grupo (Anexo 114). Observando los resultados, y sin entrar en pormenores que, a la vista de la variabilidad y magnitud de las diferencias obtenidas, alargarían innecesariamente las explicaciones, para alcanzar las mismas conclusiones, las cuales se pueden reducir a que un gran número de diferencias superan, de forma indiscriminada, el centímetro, muchas de las cuales sobrepasan los dos y tres centímetros, y en el caso extremo del grupo 3º, el más alejado desde B-4000, se superan los 80 mm. De todo ello se deduce que es difícil establecer una precisión fiable entre las medidas realizadas en cada grupo de señales.

A continuación se realiza el estudio para todo el conjunto de la red de control, realizando las comparativas según los diferentes tipos de señales (Anexo 114). Siguiendo el mismo planteamiento del párrafo anterior, se hace innecesario un análisis exhaustivo para cada tipo de señal, desde cada estacionamiento y para cada campaña, que resultaría extenso pero poco productivo, pues en definitiva se llega a la misma conclusión que en el punto anterior.

Por último, y para completar el análisis, se procede a estudiar la dimensión y el modo en que se transmite el error cometido en cada señal. Para ello se establece, en el centro de cada una de éstas, un sistema de referencia topocéntrico local, tal como quedó definido en el capítulo 4.3, sobre el que se obtendrán la magnitud del vector error, así como sus componentes longitudinal y transversal, y la dirección de ésta respecto del eje positivo de la Z.



A partir de los resultados obtenidos para la estación B-4000 (Anexos 108, 110 y 112), se observa que las magnitudes de los vectores de error para cada señal varían significativamente de una campaña a otra; en la primera se encuentran entre los 16.0 y los 53.0 mm, exceptuando la señal nº 302 que alcanza el valor de 80.0 mm; en la segunda campaña entre 7.6 y 63.2 mm; y en la tercera entre 2.4 y 15.4 mm; con fluctuaciones que superan, en múltiples ocasiones, los 20 mm para un mismo punto en las diferentes campañas. Analizando los errores longitudinales, se aprecia que la mayoría se encuentran por debajo del centímetro, siendo pocos los casos que lo superan, que alcanzan los 16.3 mm, y dejando aparte el error cometido sobre la esfera número 302, que presenta un valor de 74.9 mm. En la dirección transversal es donde se manifiestan mayoritariamente los errores, y concretamente en su componente vertical, la cual absorbe casi en su totalidad al vector error en la gran mayoría de los casos, con valores que, en las dos primeras campañas, superan los 20 mm prácticamente en todas las señales. En la tercera campaña, por el contrario, se obtienen valores similares para los errores longitudinales y transversales, en su mayoría por debajo del centímetro, y con un error máximo de 13.1 mm, lo que confiere a esta exploración homogeneidad en sus resultados.

Del estudio de los resultados obtenidos desde la estación B-2000 (Anexos 109, 111 y 113) se obtiene que las magnitudes de los vectores de error para cada campaña varían entre 5.4 y 35.3 mm para la primera, entre 7.2 y 35.4 mm para la segunda, y entre 10.4 y 37.4 mm para la tercera, estando todas, por consiguiente, en una franja similar, además, las fluctuaciones para cada punto en las diferentes campañas no superan los 10 mm, por término medio, de todo ello se deduce cierta homogeneidad en la exploración entre todas las campañas. Al igual que sucede en la estación anterior, los errores longitudinales son siempre menores que los transversales, y en pocas ocasiones superan el centímetro, a pesar de lo cual llegan a alcanzar un máximo de 22.9 mm. Nuevamente es en la dirección transversal donde se asume la mayor parte del vector error, en las dos primeras campañas prevalece su componente vertical, pero en la tercera se alterna con la componente horizontal. Observando las magnitudes de los errores transversales, en la primera campaña, en el grupo 1º de señales sus valores oscilan entre 25.5 y 35.1 mm, en el grupo 6º entre 18.2 y 20.4 mm, y para el resto de grupos suelen estar por debajo del centímetro; en la segunda campaña, el grupo 1º tiene todos sus valores por encima de los 30 mm, y el resto, excepto el grupo 5º, superan los 10 mm; en la tercera campaña, es el 6º grupo el que se mueve entre los 23 y los 30 mm, y el resto supera el centímetro, salvo dos que se quedan en los 9 mm.

Del conjunto de estudios realizados sobre las coordenadas de los centros de esferas y placas de puntería, que conforman la red de control, y que se han obtenido a partir de las exploraciones realizadas con el escáner Faro Photon 80, se deducen las conclusiones siguientes:



- los errores longitudinales son menores que los transversales, es decir, quedan mejor definidas las distancias de radiación que sus ángulos.
- en los errores transversales, salvo raras excepciones, prevalece la componente vertical sobre la horizontal, lo que indica una peor definición de los ángulos cenitales. Debido a esta prevalencia, y a la trascendencia de su magnitud, se induce un problema en el automatismo del compensador de la vertical, o en la transformación que aplica para corregirlo.
- la precisión con la que se determinan las coordenadas en planimetría, de los centros de las señales, podría establecerse, en función de los valores más frecuentes de los errores, por debajo del centímetro para distancias menores de 50 metros, por debajo de 15 mm para distancias mayores de 50 metros y a partir de los 60 metros es arriesgado fijar una precisión fiable. Pero estas cifras no se pueden garantizar por causa de la inestabilidad en los resultados obtenidos, pues se encuentran errores que superan los 20 e incluso los 30 mm para distancias inferiores a 50 metros, lo que imposibilita garantizar dichas precisiones.
- en el caso de la altimetría, como se ha visto, es aventurado establecer cualquier cifra para determinar la precisión, pudiéndola estimar, prescindiendo de los valores más extremos, en torno a los 30 ó 40 mm.
- de todo ello se deduce la inseguridad que presenta el equipo para realizar trabajos con precisiones por encima de los 50 mm, y aconsejable no rebasar los 60 metros de distancia.



## **5.-CONCLUSIONES**





## 5. CONCLUSIONES

Una vez finalizados todo el proceso de trabajo, llega el momento de exponer los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas, debiendo de ser concordantes con los objetivos planteados al inicio de esta Tesis. Recordemos que los objetivos marcados fueron:

- El primero, consistente en establecer una red topográfica con la precisión necesaria, que sirva como marco de referencia para realizar el proceso de contraste.
- El segundo, y objetivo fundamental, pretende determinar las precisiones efectivas alcanzadas por los escáneres láser Trimble GX y Faro Photon 80, para observaciones realizadas en unas condiciones de trabajo y un entorno reales.

### 5.1. CONCLUSIONES: MARCO DE REFERENCIA

La red de apoyo configurada por los cuatro pilares, dotados de sistema de estacionamiento con centrado forzado, que ha sido observada con la estación total TCA 2003 y aplicando la metodología descrita en el capítulo 3.3, garantiza una precisión, tanto en planimetría como en altimetría, de 2.5 mm.

En base a los estudios comparativos realizados entre las tres campañas efectuadas, tal como se ha desarrollado en el capítulo 4.1, se observa que las desviaciones en las componentes de las coordenadas absolutas no superan los 2.1 mm, alcanzando el vector error un máximo de 2.8 mm, tal como se aprecia en el resumen que muestra la Tabla 34.

Las diferencias entre las campañas están en el mismo orden que la precisión de la observación, por consiguiente no se tienen indicios sobre posibles desplazamientos en los pilares, y de producirse, sus valores se encuentran por debajo de aquella. Se puede establecer que la precisión con la que se han determinado las coordenadas de los pilares de la red de apoyo, entre las diferentes campañas, es mejor, en todo caso, que 3 mm. De cualquier modo, estas posibles diferencias a lo largo del tiempo, no afectan en el proceso de contraste de los escáneres, pues los estudios comparativos se realizan entre los resultados de éstos y las coordenadas obtenidas para los puntos de apoyo en la misma campaña. Este mismo planteamiento se aplica sobre los puntos que configuran la red de control.



CONCLUSIONES

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Topografía clásica (TCA 2003) Pilares Red Apoyo**  
**Diferencias entre coordenadas absolutas (entre campañas)**

Dif. 2ª campaña respecto 1ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1000	0,0003	0,0013	0,0004	0,0014
2000	0,0009	0,0004	-0,0006	0,0012
3000	0,0007	0,0003	-0,0001	0,0008
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Dif. 3ª campaña respecto 2ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1000	0,0001	0,0007	-0,0009	0,0011
2000	-0,0016	-0,0021	-0,0010	0,0028
3000	-0,0008	0,0001	0,0000	0,0008
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Dif. 3ª campaña respecto 1ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1000	0,0004	0,0020	-0,0005	0,0021
2000	-0,0007	-0,0017	-0,0016	0,0024
3000	-0,0001	0,0004	-0,0001	0,0004
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Código de Colores

- $n \leq 1$  mm.
- $1 < n \leq 2$  mm.
- $2 < n \leq 3$  mm.
- $3 < n \leq 4$  mm.

Tabla 34.- Desviaciones en coordenadas (Red de apoyo).

Para las esferas colocadas sobre los pilares de la red de apoyo y observadas mediante métodos de intersección angular directa, se obtiene una precisión mejor que 3.5 mm. Las desviaciones en sus coordenadas altimétricas entre campañas llegan a 2.8 mm y en el caso de la planimetría alcanzan los 3.8 mm, con un vector error máximo de 4.1 mm, según se aprecia en la Tabla 35, pero tal como se ha dicho en el párrafo anterior, estas diferencias entre campañas, debido al método de trabajo, no afectan a los procesos de contraste.

Para las coordenadas de la red de control, compuesta por las placas de puntería y esferas situadas en las fachadas del edificio, mediante anclajes que garantizan su exacta reposición, y que se han observado igualmente por intersección angular directa, su precisión es de 3.5 mm. No obstante, las desviaciones en sus coordenadas se encuentran siempre por debajo de los 3.0 mm (Tabla 36), pudiendo garantizar, en consecuencia, que están establecidas con precisión que mejora dicha cifra.

Tanto la red de apoyo, compuesta por los pilares, como la red de control, configurada por las señales puntería, garantizan una precisión en su posicionamiento absoluto que supera los 3.0 mm. Por consiguiente, constituyen un marco de referencia que permite contrastar instrumentos de igual o menor precisión.





**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Topografía clásica (TCA 2003) Esferas sobre Red de Apoyo**  
**Diferencias entre coordenadas absolutas (entre campañas)**

Dif. 2ª campaña respecto 1ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1001	0,0005	0,0024	-0,0014	0,0028
1002	0,0003	0,0017	-0,0014	0,0022
2001	0,0011	-0,0008	-0,0013	0,0019
2002	0,0011	0,0003	-0,0013	0,0017
3001	-0,0011	-0,0002	-0,0017	0,0021
3002	-0,0002	-0,0002	-0,0016	0,0016
4001	-0,0029	0,0003	-0,0015	0,0033
4002	-0,0013	0,0004	-0,0015	0,0020

Dif. 3ª campaña respecto 2ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1001	0,0001	0,0011	-0,0003	0,0011
1002	0,0003	0,0021	-0,0003	0,0021
2001	-0,0013	-0,0020	-0,0015	0,0028
2002	-0,0014	-0,0031	-0,0012	0,0036
3001	-0,0003	0,0003	-0,0005	0,0007
3002	-0,0017	-0,0002	-0,0006	0,0018
4001	0,0006	0,0005	-0,0006	0,0010
4002	-0,0015	0,0002	-0,0007	0,0016

Dif. 3ª campaña respecto 1ª				
Pto.	dX	dY	dZ	Vector
1001	0,0006	0,0035	-0,0017	0,0039
1002	0,0006	0,0038	-0,0016	0,0041
2001	-0,0002	-0,0027	-0,0028	0,0039
2002	-0,0004	-0,0028	-0,0025	0,0038
3001	-0,0015	0,0001	-0,0022	0,0026
3002	-0,0019	-0,0004	-0,0022	0,0029
4001	-0,0023	0,0009	-0,0021	0,0032
4002	-0,0028	0,0007	-0,0022	0,0036

Código de Colores

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.

Tabla 35.- Desviaciones en coordenadas (esferas sobre pilares)

Para el caso de las esferas situadas sobre la red de apoyo, donde una serie de vectores error entre campañas, superan los citados 3.0 mm, alcanzando un máximo de 4.1 mm, y siendo una muestra pequeña, sólo se dispone de tres campañas, no se pueden establecer las causas que lo han originado. Por consiguiente, y para este caso, podría quedar limitada a dicha cifra la precisión particular para este otro marco de referencia.

Mediante los análisis métricos realizados en los capítulos 4.2 y 4.4, para los escáneres láser Trimble GX y Faro Photon 80 respectivamente, a partir de los resultados obtenidos se comprueba que las redes topográficas que configuran ambos marcos de referencia reúnen la precisión suficiente para el objetivo con el que se han creado, consistente en realizar el contraste de ambos instrumentos.



CONCLUSIONES

Sistema Topocéntrico Horizontal Topografía clásica (TCA 2003) Diferencias entre coordenadas absolutas (entre campañas)																			
Sistema 4000 Red de control				Dif. 2ª campaña respecto 1ª				Dif. 3ª campaña respecto 2ª				Dif. 3ª campaña respecto 1ª							
Pto.	dX	dY	dZ	Vector	Pto.	dX	dY	dZ	Vector	Pto.	dX	dY	dZ	Vector	Pto.	dX	dY	dZ	Vector
100	-0,0002	0,0028	-0,0003	0,0028	100	-0,0003	-0,0012	-0,0007	0,0014	100	-0,0005	0,0016	-0,0010	0,0020	100	-0,0005	0,0016	-0,0010	0,0020
101	-0,0002	0,0026	-0,0003	0,0026	101	-0,0002	-0,0010	-0,0008	0,0013	101	-0,0002	-0,0010	-0,0008	0,0013	101	-0,0005	0,0016	-0,0011	0,0020
102	-0,0003	0,0027	-0,0011	0,0029	102	-0,0006	-0,0008	-0,0006	0,0012	102	-0,0006	-0,0008	-0,0006	0,0012	102	-0,0009	0,0019	-0,0017	0,0027
200	0,0011	0,0010	-0,0006	0,0016	200	-0,0006	-0,0016	-0,0004	0,0017	200	0,0006	-0,0006	-0,0010	0,0013	200	0,0006	-0,0006	-0,0010	0,0013
201	0,0011	0,0015	-0,0004	0,0019	201	-0,0003	-0,0016	-0,0005	0,0017	201	0,0009	-0,0001	-0,0009	0,0013	201	0,0009	-0,0001	-0,0009	0,0013
202	0,0009	0,0010	-0,0002	0,0013	202	-0,0004	-0,0013	-0,0009	0,0016	202	0,0004	-0,0003	-0,0010	0,0012	202	0,0004	-0,0003	-0,0010	0,0012
300	0,0014	0,0010	-0,0012	0,0022	300	0,0007	-0,0018	-0,0002	0,0019	300	0,0021	-0,0008	-0,0014	0,0027	300	0,0021	-0,0008	-0,0014	0,0027
301	0,0019	0,0012	-0,0003	0,0023	301	0,0002	-0,0020	-0,0004	0,0020	301	0,0021	-0,0008	-0,0007	0,0024	301	0,0021	-0,0008	-0,0007	0,0024
302	0,0016	0,0012	-0,0003	0,0020	302	0,0000	-0,0019	-0,0002	0,0019	302	0,0016	-0,0007	-0,0005	0,0018	302	0,0016	-0,0007	-0,0005	0,0018
400	0,0009	0,0007	-0,0003	0,0012	400	-0,0017	-0,0002	-0,0006	0,0018	400	-0,0008	0,0005	-0,0010	0,0013	400	-0,0008	0,0005	-0,0010	0,0013
401	0,0009	0,0005	-0,0004	0,0011	401	-0,0015	-0,0003	-0,0006	0,0016	401	-0,0006	0,0002	-0,0010	0,0012	401	-0,0006	0,0002	-0,0010	0,0012
402	0,0008	0,0008	-0,0002	0,0012	402	-0,0012	-0,0002	-0,0009	0,0016	402	-0,0004	0,0006	-0,0011	0,0013	402	-0,0004	0,0006	-0,0011	0,0013
500	0,0008	0,0004	-0,0003	0,0010	500	-0,0021	-0,0013	-0,0003	0,0025	500	-0,0013	-0,0010	-0,0006	0,0017	500	-0,0013	-0,0010	-0,0006	0,0017
501	0,0009	0,0002	-0,0005	0,0010	501	-0,0021	-0,0014	-0,0003	0,0025	501	-0,0013	-0,0012	-0,0008	0,0019	501	-0,0013	-0,0012	-0,0008	0,0019
502	0,0008	-0,0005	-0,0010	0,0014	502	-0,0016	-0,0016	-0,0005	0,0023	502	-0,0008	-0,0020	-0,0016	0,0027	502	-0,0008	-0,0020	-0,0016	0,0027
600	0,0008	-0,0003	-0,0003	0,0010	600	-0,0020	-0,0019	-0,0004	0,0027	600	-0,0011	-0,0022	-0,0008	0,0025	600	-0,0011	-0,0022	-0,0008	0,0025
601	0,0010	-0,0001	-0,0003	0,0010	601	-0,0020	-0,0017	-0,0005	0,0027	601	-0,0010	-0,0018	-0,0008	0,0022	601	-0,0010	-0,0018	-0,0008	0,0022
602	0,0012	-0,0002	-0,0006	0,0013	602	-0,0023	-0,0018	-0,0006	0,0029	602	-0,0011	-0,0019	-0,0013	0,0026	602	-0,0011	-0,0019	-0,0013	0,0026

Código de Colores
n ≤ 1 mm.
1 < n ≤ 2 mm.
2 < n ≤ 3 mm.
3 < n ≤ 4 mm.
4 < n ≤ 5 mm.
5 < n ≤ 10 mm.
10 < n ≤ 20 mm.
20 < n ≤ 40 mm.
n > 40 mm.

Tabla 36.- Desviaciones en coordenadas (Red de control)



## 5.2. CONCLUSIONES: ESCÁNER TRIMBLE GX

En el capítulo 4.3 se ha realizado el estudio métrico, sobre los resultados obtenidos con el escáner Trimble GX, con el fin de determinar la precisión del mismo, tomando como patrón de referencia el ya citado. De dicho estudio se obtienen una serie de conclusiones, que se exponen a continuación.

Los errores longitudinales son, por regla general, de menor magnitud que los errores transversales, lo que indica que el escáner determina con mayor precisión las distancias que los valores angulares. Dentro de los errores transversales, en la mayoría de ellos predomina la componente vertical sobre la horizontal.

En la segunda campaña, para la estación B-4000, se observa un considerable aumento de las desviaciones en Z, lo que puede estar originado por cierta anomalía en el compensador vertical del escáner. Dicho error ha sido detectado gracias a los estudios comparativos entre campañas y con el marco de referencia, de no ser así, y se hubiese tratado de una única observación, no se habrían podido detectar, lo que produce cierta desconfianza en la utilización aislada del escáner. Estos errores alcanzan magnitudes de 27.2 mm sobre la red de apoyo (Tabla 37) y de 40.8 mm sobre la red de control (Tabla 39), con una fluctuación que alcanza los 28.0 mm y una máxima dispersión de 20.5 mm.

Para determinar de forma más concreta la precisión del escáner, se analizan por separado la magnitud de los errores cometidos sobre las esferas de la red de apoyo (Tabla 37) y sobre la red de control (Tabla 38 y Tabla 39), tratándose de forma consecutiva y comenzando por aquella.

Todos los errores longitudinales, en valor absoluto, son inferiores a un centímetro, pero se alcanza un máximo de 8.2 mm, lo que en función de las distancias de exploración, supone un error relativo de 364 ppm. Se observa igualmente que el intervalo en el que fluctúa el error en una misma campaña es también de 8.2 mm (esta coincidencia en el valor es casual, pues se producen en distintas campañas). Dentro de que la muestra es pequeña, se observa cierta homogeneidad en sus resultados (ver gráficos superiores Figura 62), no obstante, el intervalo de error entre campañas alcanza un valor de 9.7 mm. Se puede concluir que la precisión en las medidas lineales se cifra en el entorno de los 10 mm.

Relativo a los errores transversales, se observan claras diferencias entre la estación B-2000 y B-4000 (ver gráficos inferiores Figura 62). Para el caso de la primera, todas las desviaciones, salvo una, se encuentran por debajo del centímetro, siendo los intervalos en los que fluctúa cada una de las campañas inferiores a 5 mm, y con dispersiones muy similares, a pesar de lo cual, el intervalo del error entre campañas alcanza la cifra de 7.9 mm y el máximo error registrado es de 10.9 mm, por consiguiente, esta cifra es indicativa de la precisión alcanzada.



## CONCLUSIONES

---

Para la estación B-4000, las exploraciones presentan mayor irregularidad en sus componentes transversales, la frecuencia con la que superan el centímetro, e incluso los dos centímetros, aumenta considerablemente. Se alcanzan un error máximo, en la 2ª campaña, de 27.2 mm, con un intervalo de 18.4 mm, lo que indica una disminución significativa de la precisión respecto de las determinaciones longitudinales. En el caso de que se prescindiera de la 2ª campaña, por supuesta anomalía instrumental, el error máximo alcanzado es de 13.6 mm, lo que implica un error angular que supera los dos minutos centesimales, es más, debido a las distancias de exploración, se llega a alcanzar los tres minutos centesimales en errores angulares, en concreto sobre la esfera 3002 en la 1ª campaña, con una repercusión transversal de 10.5 mm.

Se deduce por tanto, que la precisión en la determinación de la componente transversal de los errores cometidos, según la mayoría de las observaciones, podría fijarse en un valor que ronda los 14 mm, dado que todas las distancias son menores de 41 m, suponen errores angulares que llegan a alcanzar los tres minutos centesimales. No obstante, se observa que pueden cometerse errores mayores, pudiendo estar originados por cuestiones instrumentales que no es posible detectar en exploraciones aisladas, y que alcanzan valores próximos a los 30 mm, que para la observación realizada supone errores angulares por encima de los cinco minutos centesimales, lo que implica un riesgo a la hora de garantizar las precisiones.

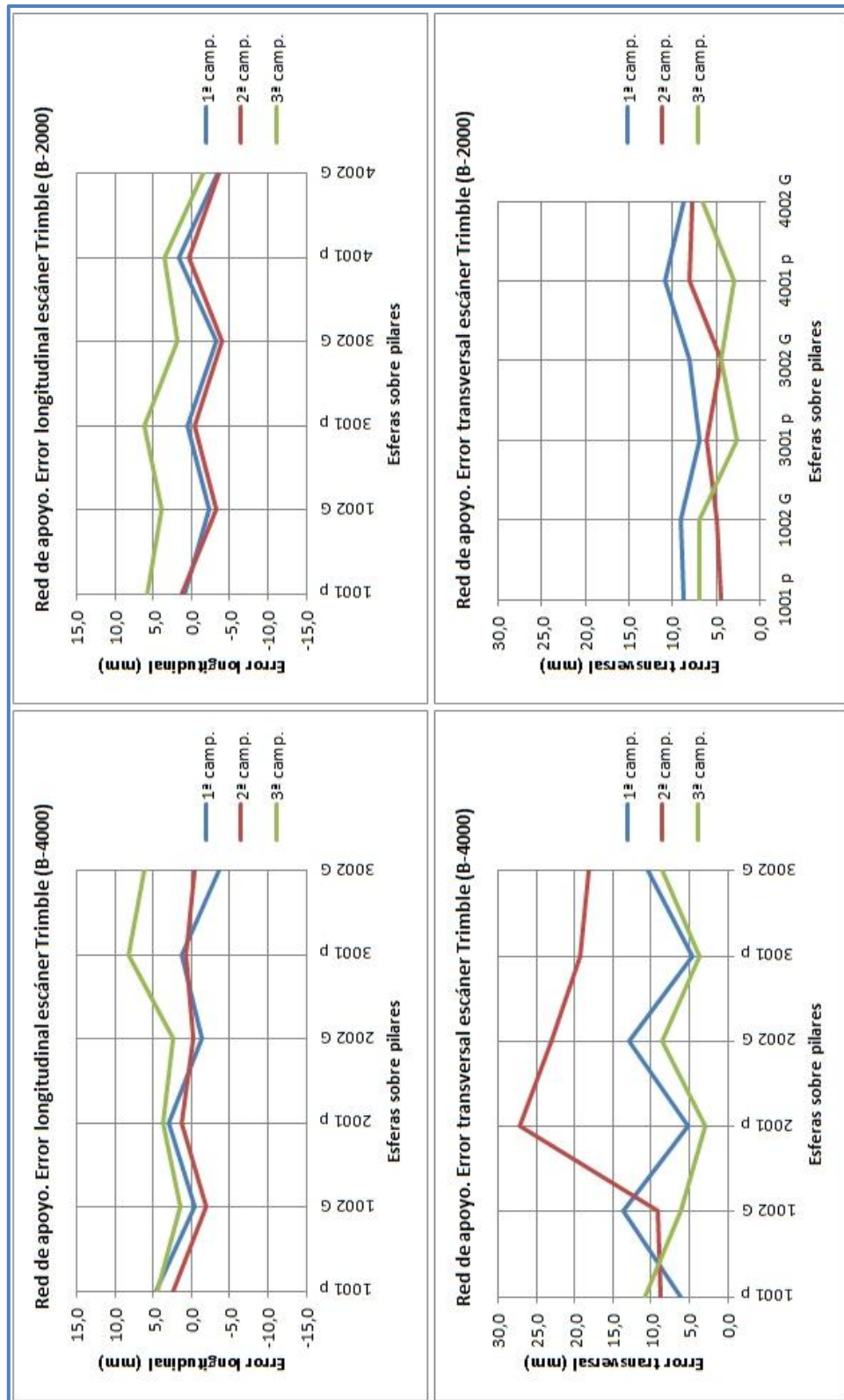


Figura 62.- Gráficos de errores de la red de apoyo (Trimble GX)



CONCLUSIONES

Sistema Topocéntrico Local Estación B-4000				Vectores error			Trimble GX			Código de Colores
Pto.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.	
1001	0,0077	0,0047	0,0061	0,0091	0,0025	0,0087	0,0118	0,0045	0,0109	n ≤ 1 mm.
1002	0,0136	-0,0003	0,0136	0,0094	-0,0020	0,0092	0,0063	0,0016	0,0061	1 < n ≤ 2 mm.
2001	0,0060	0,0030	0,0052	0,0272	0,0014	0,0272	0,0048	0,0037	0,0030	2 < n ≤ 3 mm.
2002	0,0129	-0,0013	0,0128	0,0231	-0,0003	0,0231	0,0090	0,0025	0,0086	3 < n ≤ 4 mm.
3001	0,0049	0,0013	0,0047	0,0193	0,0008	0,0193	0,0091	0,0082	0,0038	4 < n ≤ 5 mm.
3002	0,0111	-0,0035	0,0105	0,0183	-0,0004	0,0183	0,0106	0,0062	0,0086	5 < n ≤ 10 mm.
Valor máximo	0,0136	0,0047	0,0136	0,0272	0,0025	0,0272	0,0118	0,0082	0,0109	10 < n ≤ 20 mm.
Valor mínimo	0,0049	-0,0035	0,0047	0,0091	-0,0020	0,0087	0,0048	0,0016	0,0030	20 < n ≤ 40 mm.
Intervalo	0,0087	0,0082	0,0089	0,0181	0,0044	0,0184	0,0069	0,0067	0,0079	n > 40 mm.
Promedio	0,0094	0,0007	0,0088	0,0177	0,0003	0,0176	0,0086	0,0044	0,0068	
Desv. estándar	0,0033	0,0027	0,0036	0,0067	0,0014	0,0068	0,0024	0,0022	0,0028	
Máx. dispersión	0,0045	0,0042	0,0048	0,0095	0,0023	0,0095	0,0038	0,0038	0,0041	
Frecuencia ≤ 10 mm.	3	6	3	2	6	2	4	6	5	
10 < n ≤ 20 mm.	3	0	3	2	0	2	2	0	1	
20 < n ≤ 30 mm.	0	0	0	2	0	2	0	0	0	
30 < n ≤ 40 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
n > 40 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Sistema Topocéntrico Local Estación B-2000				Vectores error			Trimble GX		
Pto.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.
1001	0,0088	0,0009	0,0087	0,0046	0,0014	0,0044	0,0091	0,0059	0,0070
1002	0,0094	-0,0023	0,0091	0,0059	-0,0032	0,0050	0,0079	0,0039	0,0069
3001	0,0069	0,0005	0,0069	0,0060	-0,0004	0,0060	0,0068	0,0062	0,0026
3002	0,0086	-0,0032	0,0080	0,0059	-0,0039	0,0045	0,0048	0,0018	0,0044
4001	0,0110	0,0017	0,0109	0,0080	0,0004	0,0080	0,0046	0,0036	0,0030
4002	0,0093	-0,0034	0,0087	0,0085	-0,0036	0,0077	0,0068	-0,0016	0,0066
Valor máximo	0,0110	0,0017	0,0109	0,0085	0,0014	0,0080	0,0091	0,0062	0,0070
Valor mínimo	0,0069	-0,0034	0,0069	0,0046	-0,0039	0,0044	0,0046	-0,0016	0,0026
Intervalo	0,0042	0,0051	0,0041	0,0039	0,0053	0,0036	0,0045	0,0078	0,0044
Promedio	0,0090	-0,0010	0,0087	0,0065	-0,0016	0,0059	0,0067	0,0033	0,0051
Desv. estándar	0,0012	0,0021	0,0012	0,0013	0,0021	0,0014	0,0016	0,0026	0,0018
Máx. dispersión	0,0021	0,0027	0,0022	0,0020	0,0029	0,0021	0,0025	0,0048	0,0025
Frecuencia ≤ 10 mm.	5	6	5	6	6	6	6	6	6
10 < n ≤ 20 mm.	1	0	1	0	0	0	0	0	0
20 < n ≤ 30 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 < n ≤ 40 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n > 40 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 37.- Errores y estadísticas de la red de apoyo (Trimble GX)

Para los puntos de la red de control, nuevamente todos los errores longitudinales se encuentran, en valor absoluto, por debajo del centímetro (ver Figura 63, gráficos superiores), alcanzando la magnitud máxima de 9.4 mm, con valores por exceso y por defecto que se mueven en intervalos entre los 10.7 y los 14.6 mm (Tabla 38 y Tabla 39), siendo análogos entre campañas. Se puede concluir que la precisión en la determinación de las distancias, para los puntos de la red de control, está en torno a los 15 mm.

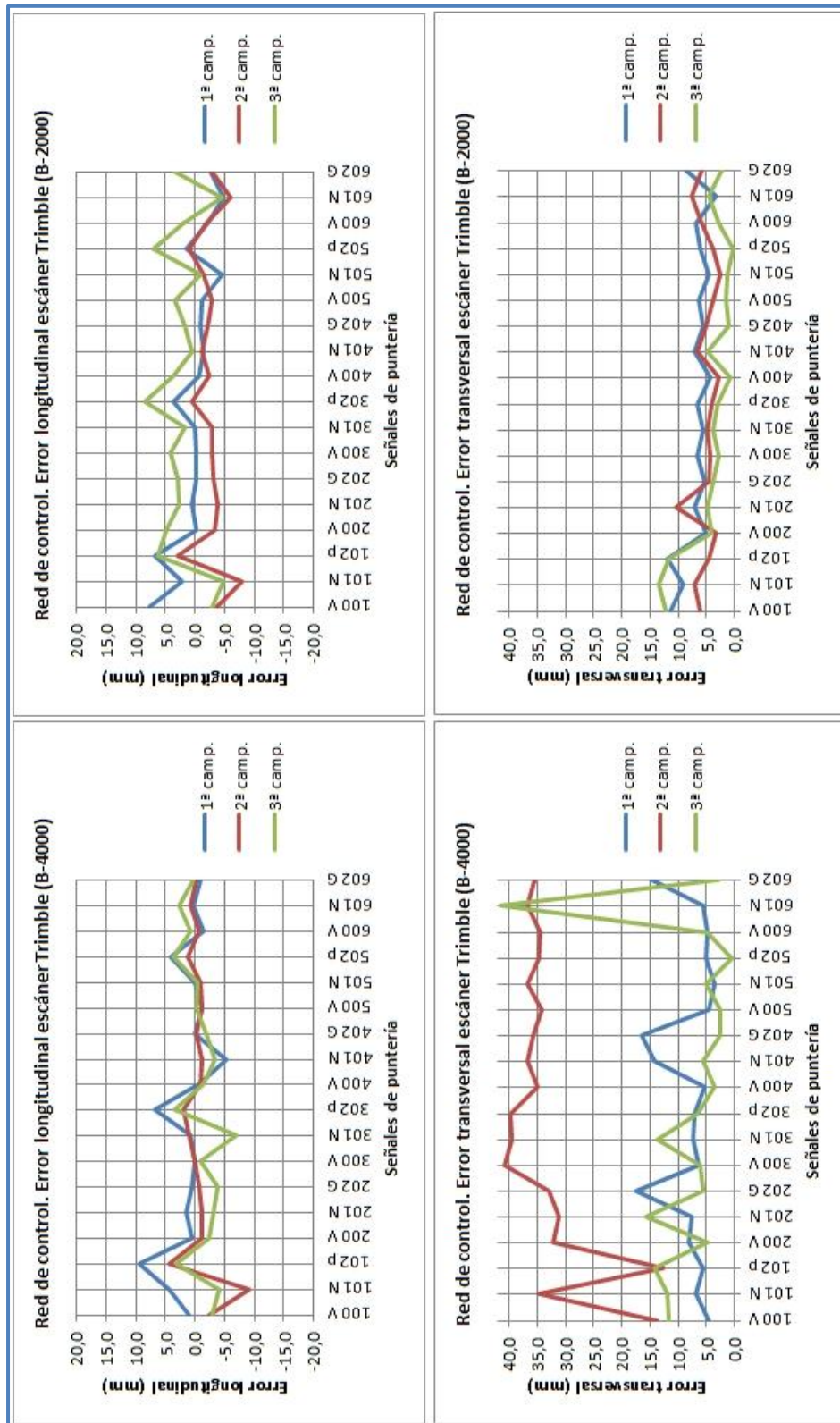


Figura 63. - Gráficos de errores de la red de control (Trimble GX)



## CONCLUSIONES

---

Para los errores transversales, las diferencias entre los estacionamientos B-4000 y B-2000 son significativas, tal como se aprecia en los gráficos inferiores de la Figura 63. Las exploraciones realizadas desde B-2000 presentan más homogeneidad. La mayoría de sus errores están por debajo del centímetro, superándolo en contadas ocasiones, produciéndose generalmente para distancias en torno a los 40 metros, alcanzando un error máximo de 13.4 mm (Tabla 38), que prácticamente coincide con el valor de mayor intervalo de error. Las variaciones para cada punto en las sucesivas campañas no superan los 5 mm, pudiendo considerar todas ellas bastante homogéneas, estando todas las señales en distancias comprendidas entre los 15 y los 30 metros.

En el caso de la estación B-4000 (Tabla 39), los errores transversales muestran mayores disparidad, tal como se aprecia en el gráfico inferior izquierdo de la Figura 63, que concuerda con lo visto para la red de apoyo, aumentando la magnitud de los errores de la 2ª campaña debido al incremento en las distancias a los puntos, que se encuentran entre los 41 y los 65 metros, lo que corrobora la anomalía en el compensador vertical del escáner, situándose el promedio del error en 33.2 mm, y alcanzando el máximo de 40.8 mm. Para la 1ª campaña el promedio del error se sitúa en 8.1 mm, alcanzando un máximo de 17.4 mm. En la 3ª campaña el promedio del error es similar al anterior, pero se produce un máximo de 41.6 mm, sobre una placa de puntería a una distancia algo superior a los 41 metros, que incrementa considerablemente su dispersión.

Las desviaciones para un mismo punto en diferentes campañas se aproximan en varias ocasiones a los 35 mm. Si se prescinde de la 2ª campaña y del punto 601 de la 3ª campaña, todavía aparece alguna desviación que se acerca a los 14 mm.

En vista de estas anomalías, se hace difícil establecer la precisión, en sentido transversal, con la que se determinan las posiciones de los puntos de control, pudiendo concluir que, en líneas generales se podría fijar en 15 mm para distancias por debajo de los 40 metros y de 20 mm para las distancias comprendidas entre los 40 y los 65 metros, no obstante, se producen discrepancias al respecto que pueden ocasionar errores que superan los 40 mm, siendo de difícil localización en el caso de realizar exploraciones aisladas, lo que origina pérdida de confianza sobre los resultados obtenidos.





Pto.	Sistema Topocéntrico Local Estación B-2000				Vectores error				Trimble GX			
	1ª campaña		2ª campaña		3ª campaña		3ª campaña		3ª campaña		3ª campaña	
	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.
100 V	0,0138	0,0078	0,0114	0,0071	-0,0037	0,0061	0,0124	-0,0028	0,0121			
101 N	0,0094	0,0021	0,0092	0,0107	-0,0079	0,0072	0,0141	-0,0047	0,0134			
102 p	0,0138	0,0068	0,0120	0,0055	0,0028	0,0047	0,0134	0,0064	0,0118			
200 V	0,0051	-0,0002	0,0051	0,0048	-0,0034	0,0034	0,0063	0,0049	0,0040			
201 N	0,0073	0,0005	0,0073	0,0110	-0,0037	0,0104	0,0055	0,0027	0,0048			
202 G	0,0053	-0,0001	0,0053	0,0055	-0,0031	0,0045	0,0048	0,0028	0,0039			
300 V	0,0066	-0,0003	0,0066	0,0052	-0,0027	0,0044	0,0051	0,0041	0,0029			
301 N	0,0057	0,0002	0,0057	0,0057	-0,0028	0,0050	0,0042	0,0018	0,0038			
302 p	0,0075	0,0037	0,0065	0,0042	0,0004	0,0042	0,0089	0,0084	0,0031			
400 V	0,0043	-0,0006	0,0043	0,0038	-0,0024	0,0029	0,0038	0,0037	0,0009			
401 N	0,0073	-0,0015	0,0072	0,0066	-0,0012	0,0065	0,0048	0,0006	0,0048			
402 G	0,0058	-0,0008	0,0057	0,0054	-0,0021	0,0050	0,0020	0,0016	0,0012			
500 V	0,0065	-0,0012	0,0064	0,0047	-0,0027	0,0039	0,0038	0,0034	0,0016			
501 N	0,0065	-0,0046	0,0046	0,0030	-0,0014	0,0027	0,0016	-0,0009	0,0013			
502 p	0,0064	0,0015	0,0062	0,0039	0,0011	0,0037	0,0070	0,0070	0,0002			
600 V	0,0073	-0,0022	0,0070	0,0061	-0,0020	0,0058	0,0034	0,0019	0,0028			
601 N	0,0058	-0,0047	0,0034	0,0097	-0,0059	0,0077	0,0065	-0,0046	0,0046			
602 G	0,0090	-0,0026	0,0086	0,0066	-0,0029	0,0059	0,0041	0,0034	0,0023			
Valor máximo	0,0138	0,0078	0,0120	0,0110	0,0028	0,0104	0,0141	0,0084	0,0134			
Valor mínimo	0,0043	-0,0047	0,0034	0,0030	-0,0079	0,0027	0,0016	-0,0047	0,0002			
Intervalo	0,0095	0,0125	0,0086	0,0080	0,0107	0,0077	0,0126	0,0130	0,0132			
Promedio	0,0074	0,0002	0,0068	0,0061	-0,0024	0,0052	0,0062	0,0022	0,0044			
Desv. estándar	0,0026	0,0032	0,0022	0,0022	0,0023	0,0018	0,0036	0,0035	0,0038			
Máx. dispersión	0,0064	0,0076	0,0052	0,0049	0,0055	0,0052	0,0079	0,0069	0,0089			
Frecuencia ≤ 10 mm.	16	18	16	16	18	17	15	18	15			
10 < n ≤ 20 mm.	2	0	2	2	0	1	3	0	3			
20 < n ≤ 30 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
30 < n ≤ 40 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
n > 40 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Código de Colores

□	n ≤ 1 mm.
□	1 < n ≤ 2 mm.
□	2 < n ≤ 3 mm.
□	3 < n ≤ 4 mm.
□	4 < n ≤ 5 mm.
□	5 < n ≤ 10 mm.
□	10 < n ≤ 20 mm.
□	20 < n ≤ 40 mm.
□	n > 40 mm.

Tabla 38.- Errores y estadísticas de la red de control (B-2000 Trimble GX)



CONCLUSIONES

Sistema Topocéntrico Local Estación B-4000				Vectores error				Trimble GX			
Pto.	1ª campaña		E. transv.	2ª campaña		E. transv.	3ª campaña		E. transv.	Código de Colores	
	Dg	E. long.		Dg	E. long.		Dg	E. long.			
100 V	0,0048	0,0010	0,0047	0,0140	-0,0025	0,0138	0,0121	-0,0028	0,0118	n ≤ 1 mm.	
101 N	0,0082	0,0044	0,0069	0,0360	-0,0092	0,0348	0,0126	-0,0041	0,0119	1 < n ≤ 2 mm.	
102 P	0,0110	0,0094	0,0057	0,0135	0,0043	0,0127	0,0146	0,0031	0,0142	2 < n ≤ 3 mm.	
200 V	0,0081	0,0005	0,0081	0,0322	-0,0012	0,0322	0,0054	-0,0023	0,0049	3 < n ≤ 4 mm.	
201 N	0,0079	0,0016	0,0077	0,0313	-0,0012	0,0313	0,0162	-0,0032	0,0158	4 < n ≤ 5 mm.	
202 G	0,0174	0,0005	0,0174	0,0330	-0,0006	0,0330	0,0068	-0,0039	0,0055	5 < n ≤ 10 mm.	
300 V	0,0063	0,0001	0,0063	0,0408	0,0000	0,0408	0,0061	-0,0009	0,0060	10 < n ≤ 20 mm.	
301 N	0,0074	0,0009	0,0073	0,0396	0,0010	0,0396	0,0153	-0,0070	0,0136	20 < n ≤ 40 mm.	
302 P	0,0099	0,0069	0,0071	0,0399	0,0020	0,0398	0,0074	0,0035	0,0066	n > 40 mm.	
400 V	0,0053	-0,0006	0,0053	0,0351	-0,0008	0,0350	0,0039	-0,0013	0,0037		
401 N	0,0151	-0,0052	0,0142	0,0369	-0,0013	0,0368	0,0065	-0,0034	0,0056		
402 G	0,0166	0,0000	0,0166	0,0358	-0,0002	0,0358	0,0032	-0,0018	0,0027		
500 V	0,0048	-0,0012	0,0046	0,0342	-0,0012	0,0342	0,0027	-0,0001	0,0027		
501 N	0,0036	0,0000	0,0036	0,0368	-0,0010	0,0368	0,0051	-0,0004	0,0051		
502 P	0,0067	0,0042	0,0052	0,0348	0,0012	0,0348	0,0038	0,0038	0,0009		
600 V	0,0050	-0,0014	0,0048	0,0345	-0,0006	0,0345	0,0049	0,0009	0,0048		
601 N	0,0055	0,0004	0,0055	0,0368	0,0009	0,0367	0,0417	0,0027	0,0416		
602 G	0,0147	-0,0009	0,0147	0,0356	-0,0001	0,0356	0,0028	0,0003	0,0028		
Valor máximo	0,0174	0,0094	0,0174	0,0408	0,0043	0,0408	0,0417	0,0038	0,0416		
Valor mínimo	0,0036	-0,0052	0,0036	0,0135	-0,0092	0,0127	0,0027	-0,0070	0,0006		
Intervalo	0,0138	0,0146	0,0138	0,0273	0,0135	0,0280	0,0390	0,0107	0,0410		
Promedio	0,0088	0,0012	0,0081	0,0334	-0,0006	0,0332	0,0095	-0,0009	0,0089		
Desv. estándar	0,0043	0,0032	0,0043	0,0073	0,0026	0,0075	0,0089	0,0029	0,0091		
Máx. dispersión	0,0086	0,0082	0,0093	0,0199	0,0086	0,0205	0,0322	0,0060	0,0327		
Frecuencia ≤ 10 mm.	13	18	14	0	18	0	12	18	12		
10 < n ≤ 20 mm.	5	0	4	2	0	2	5	0	5		
20 < n ≤ 30 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
30 < n ≤ 40 mm.	0	0	0	15	0	15	0	0	0		
n > 40 mm.	0	0	0	1	0	1	1	0	1		

Tabla 39.- Errores y estadísticas de la red de control (B-4000 Trimble GX)



### 5.3. CONCLUSIONES: ESCÁNER FARO PHOTON 80.

En el capítulo 4.5 se realizó el estudio métrico de los resultados obtenidos con el escáner láser Faro Photon 80 para determinar la precisión del mismo, en contraste con el marco de referencia establecido por métodos clásicos de topografía, resultado de dicho estudio se obtienen una serie de conclusiones, que se detallan a continuación.

En las esferas colocadas sobre los pilares de la red de apoyo, los errores longitudinales, en valor absoluto, están en su mayoría por debajo del centímetro, llegando a un máximo de 12.3 mm (Tabla 40), no obstante, los intervalos en los que fluctúan los errores superan todos, menos uno, el centímetro, alcanzando los 17.6 mm.

A la vista de los dos gráficos superiores de la Figura 64, se observa que en todas las exploraciones los errores longitudinales mantienen cierta homogeneidad, con desviaciones para cada punto entre campañas, que en el peor de los casos alcanza los 5 mm. Estos errores son, para las esferas de radio menor, marcadamente positivos superando, prácticamente en su totalidad, los 5 mm hasta alcanzar los 12.3 mm. Para las esferas de radio mayor, los errores oscilan entre +1 mm y -7.1 mm. Se deduce que las esferas de radio 38.1 mm producen errores por exceso en las mediciones de distancias y ofrecen precisiones ligeramente menores que las facilitadas con el equipo, cuyo radio, recordemos, es de 72.5 mm.

Dado que todas las distancias entre pilares son menores de 41 metros, se puede concluir que, para longitudes que no superen dicha magnitud, las precisiones en las medidas lineales rondan los 8 mm empleando las esferas propias del escáner, y los 12 mm, que supone un error relativo de 500 ppm, con las esferas facilitadas con el escáner Trimble GX.

Con respecto a los errores transversales, la 3ª campaña desde la estación B-4000 es la que presenta mayor regularidad (Figura 64, gráficos inferiores), no obstante el promedio de los errores está en 6.7 mm. La 1ª campaña presenta también cierta regularidad, sin embargo alcanza un error máximo de 19.8 mm, que implica un error angular que supera los tres minutos centesimales. El resto de exploraciones evidencian gran inestabilidad en los resultados, como se puede observar en la Tabla 40, donde en la 2ª campaña desde B-4000 se alcanza un error de 37.1 mm lo que supone un error angular que supera los seis minutos centesimales, siendo el intervalo de los errores de 26.7 mm.

Para la estación B-2000 la situación se complica considerablemente, prevaleciendo los errores que superan los 20 mm, llegando a la cifra de 61.7 mm, que se corresponde con un error angular próximo a los diez minutos centesimales, dado que las distancias entre los pilares no superan los 41 metros.



CONCLUSIONES

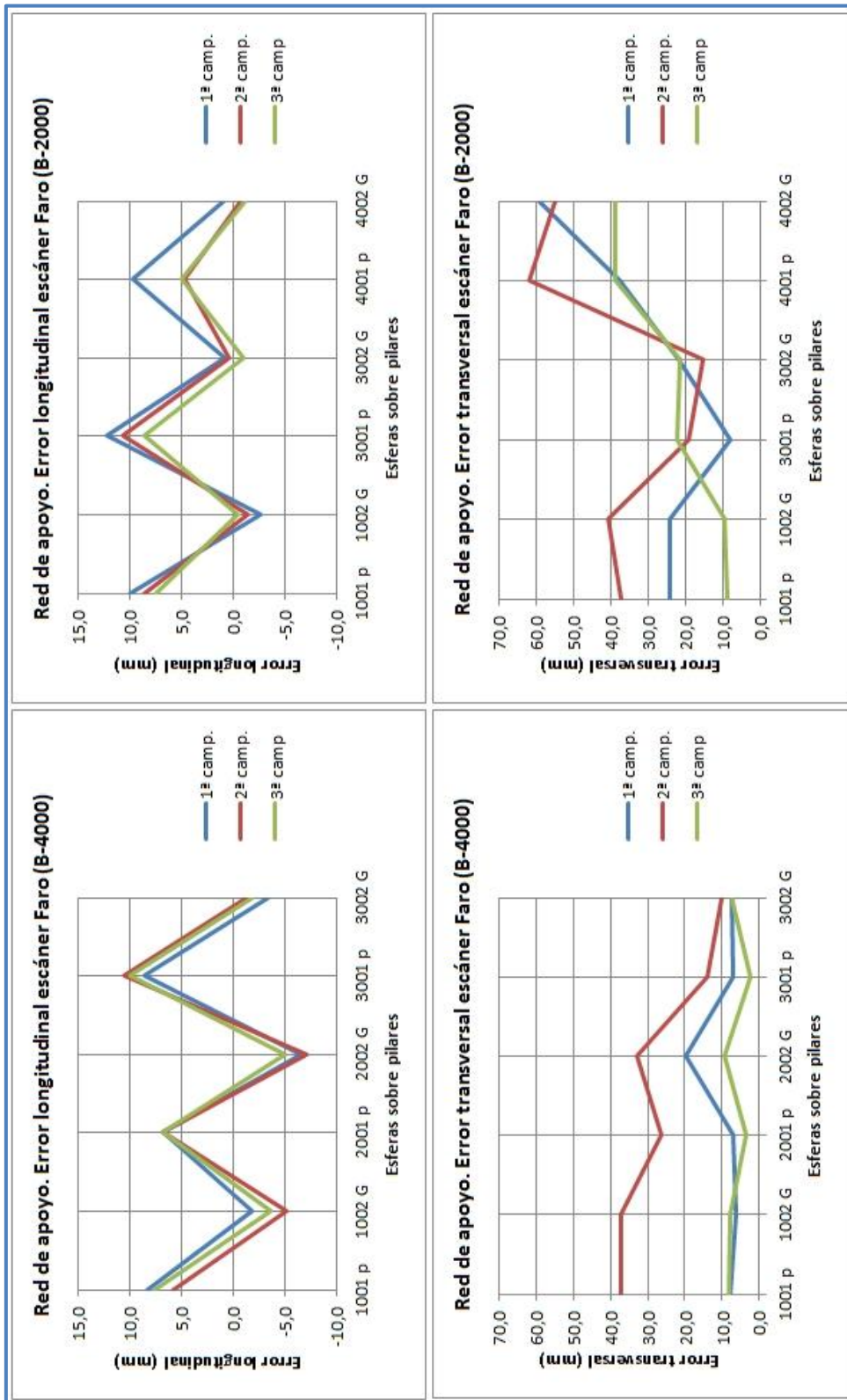


Figura 64.- Gráficos de errores de la red de apoyo (Faro Photon 80)



Tal como se ha visto en el capítulo 4.5, las componentes horizontales, de estos errores transversal cometidos en la red de apoyo, generalmente se encuentra por debajo de los 5 mm, pocas veces lo superan, y en tan solo dos ocasiones rebasa el centímetro, alcanzando su error máximo el valor de 16.3 mm, es decir, la componente que predomina en los errores transversales es la vertical, por tanto la inestabilidad se produce en la determinación de los ángulos verticales, lo que induce a pensar en una incorrecta determinación de los mismos o de la transformación que el programa Faro Scene realiza, de forma automática, para compensar la verticalidad.

Sistema Topocéntrico Local Estación B-4000				Vectores error Red de apoyo			Faro Photon 80			Código de Colores
Pto.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.	Dg	E. long.	E. transv.	
1ª campaña										
1001	0,0114	0,0082	0,0078	0,0375	0,0059	0,0370	0,0112	0,0076	0,0082	n ≤ 1 mm.
1002	0,0066	-0,0018	0,0064	0,0374	-0,0052	0,0371	0,0086	-0,0036	0,0078	1 < n ≤ 2 mm.
2001	0,0098	0,0068	0,0070	0,0272	0,0067	0,0263	0,0076	0,0067	0,0036	2 < n ≤ 3 mm.
2002	0,0208	-0,0065	0,0198	0,0337	-0,0071	0,0329	0,0106	-0,0050	0,0094	3 < n ≤ 4 mm.
3001	0,0111	0,0086	0,0070	0,0175	0,0105	0,0140	0,0103	0,0100	0,0026	4 < n ≤ 5 mm.
3002	0,0083	-0,0033	0,0076	0,0104	-0,0013	0,0103	0,0077	-0,0018	0,0075	5 < n ≤ 10 mm.
2ª campaña										
Valor máximo	0,0208	0,0086	0,0198	0,0375	0,0105	0,0371	0,0112	0,0100	0,0094	10 < n ≤ 20 mm.
Valor mínimo	0,0066	-0,0065	0,0064	0,0104	-0,0071	0,0103	0,0076	-0,0050	0,0026	20 < n ≤ 40 mm.
Intervalo	0,0142	0,0151	0,0134	0,0271	0,0176	0,0267	0,0035	0,0150	0,0067	n > 40 mm.
Promedio	0,0113	0,0020	0,0093	0,0273	0,0016	0,0263	0,0093	0,0023	0,0065	
Desv. estándar	0,0045	0,0061	0,0047	0,0102	0,0065	0,0106	0,0014	0,0060	0,0025	
Máx. dispersión	0,0095	0,0085	0,0105	0,0169	0,0089	0,0160	0,0018	0,0077	0,0039	
Frecuencia ≤ 10 mm.	3	6	5	0	5	0	3	5	6	
10 < n ≤ 20 mm.	2	0	1	2	1	2	3	1	0	
20 < n ≤ 30 mm.	1	0	0	1	0	1	0	0	0	
30 < n ≤ 40 mm.	0	0	0	3	0	3	0	0	0	
n > 40 mm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3ª campaña										
1001	0,0261	0,0099	0,0241	0,0382	0,0086	0,0372	0,0117	0,0075	0,0089	
1002	0,0244	-0,0027	0,0242	0,0408	-0,0014	0,0408	0,0094	-0,0005	0,0094	
3001	0,0147	0,0123	0,0081	0,0220	0,0106	0,0192	0,0237	0,0086	0,0221	
3002	0,0217	0,0008	0,0217	0,0153	0,0004	0,0153	0,0215	-0,0010	0,0215	
4001	0,0390	0,0097	0,0378	0,0619	0,0047	0,0617	0,0391	0,0050	0,0388	
4002	0,0591	0,0010	0,0591	0,0548	-0,0006	0,0548	0,0386	-0,0011	0,0386	
4ª campaña										
Valor máximo	0,0591	0,0123	0,0591	0,0619	0,0106	0,0617	0,0391	0,0086	0,0388	
Valor mínimo	0,0147	-0,0027	0,0081	0,0153	-0,0014	0,0153	0,0094	-0,0011	0,0089	
Intervalo	0,0444	0,0149	0,0510	0,0466	0,0121	0,0465	0,0297	0,0098	0,0299	
Promedio	0,0308	0,0052	0,0292	0,0388	0,0037	0,0382	0,0240	0,0031	0,0232	
Desv. estándar	0,0146	0,0056	0,0159	0,0165	0,0047	0,0169	0,0116	0,0041	0,0121	
Máx. dispersión	0,0283	0,0078	0,0299	0,0236	0,0069	0,0236	0,0151	0,0055	0,0156	
Frecuencia ≤ 10 mm.	0	5	1	0	5	0	1	6	2	
10 < n ≤ 20 mm.	1	1	0	1	1	2	1	0	0	
20 < n ≤ 30 mm.	3	0	3	1	0	0	2	0	2	
30 < n ≤ 40 mm.	1	0	1	1	0	1	2	0	2	
n > 40 mm.	1	0	1	3	0	3	0	0	0	

Tabla 40.- Errores y estadísticas de la red de apoyo (Faro Photon 80)



CONCLUSIONES

Con respecto a la red de control, se sigue observando cierta homogeneidad en los valores de los errores longitudinales que se producen, tal como se aprecia en los dos gráficos superiores de la Figura 65, resultando evidente que para las esferas de menor radio, los errores que se producen son siempre por exceso, en un intervalo comprendido entre 7.6 mm y 16.3 mm, destacando el error que se comete sobre la esfera 302 en la 1ª campaña desde la estación B-4000, que alcanza los 74.9 mm, el cual se debe a una mala definición del objeto originada por la distancia de exploración, que alcanza los 65 metros, tal como se ha puesto de manifiesto en el capítulo 4.5 y se aprecia en la Figura 55, dicho error se detecta en el proceso de contraste sobre el marco de referencia y también en las comparativas entre al menos tres campañas; en el caso de una exploración aislada podría pasar inadvertido o incluso poder ser considerado dentro de tolerancia, pues se observa que, la repetición del ajuste de geometría sobre el objeto, permite detectar cierta anomalía indicativa de pérdida de precisión, tal como se aprecia en la Tabla 41, pudiendo estar lejos del error real que se comete.

<b>Estación B-4000</b>		<b>1ª Campaña</b>		
<b>Coordenadas instrumentales esfera 302p</b>				
<b>Ajuste de geometría (Selector de esferas)</b>				
		Coordenadas instrumentales		
	Punto	X	Y	Z
1ª	302p	18,240236	62,464872	4,101622
2ª	302p	18,235254	62,465358	4,112181
3ª	302p	18,235254	62,465358	4,112181
4ª	302p	18,230059	62,470680	4,088310
Promedio		18,235201	62,466567	4,103574
Máximo		18,240236	62,470680	4,112181
Mínimo		18,230059	62,464872	4,088310
Intervalo		0,010177	0,005808	0,023871
Desv. Estand.		0,003599	0,002383	0,009810

Tabla 41.- Resultados del ajuste de geometría para la esfera 302p.

Los errores longitudinales para el resto de señales de puntería varían entre 6.2 y -10.3 mm para la estación B-4000, y entre 2.6 y -13.0 mm para la B-2000, produciéndose un error aislado de -22.9 mm en la placa 101, originado posiblemente por una mala definición debida a la oblicuidad de la visual, error que pasaría desapercibido para una exploración aislada del escáner.

Respecto de los errores transversales, las exploraciones realizadas desde B-4000 presentan bastante incoherencia en sus resultados, siendo la 3ª campaña la que presenta mayor normalidad (Figura 65), con errores por debajo del centímetro casi



en su totalidad, llegando a los 12 mm, con un intervalo de un centímetro (Tabla 42). En las otras dos campañas los errores superan en su mayoría los 20 mm, alcanzando magnitudes por encima de los cinco e incluso seis centímetros, siendo sus intervalos de incertidumbre muy amplios.

Para la estación B-2000, es en los grupos de señales primero y sexto donde se producen los mayores errores transversales (Tabla 43), superando con frecuencia los 20 mm y alcanzando un máximo de 35.1 mm; para el resto de señales, los errores oscilan entre 4.4 y 17.4 mm.

Nuevamente, salvo raras excepciones, predomina la componente vertical del error, lo que corrobora el planteamiento realizado anteriormente.



CONCLUSIONES

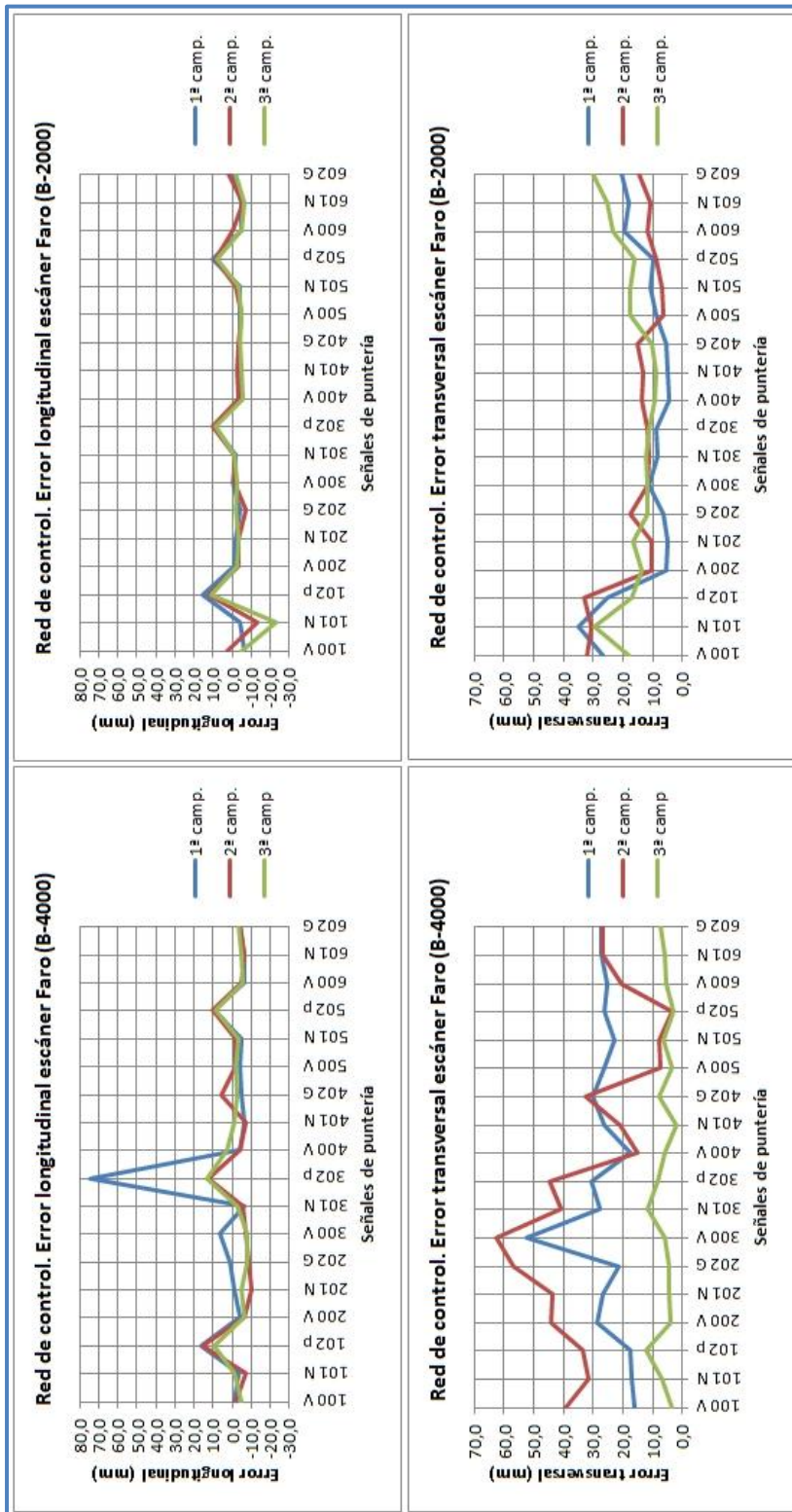


Figura 65. - Gráficos de errores de la red de control (Faro Photon 80)





Sistema Topocéntrico Local Estación B-4000				Vectores error Red de control				Faro Photon 80			
Pto.	1ª campaña		E. transv.	2ª campaña		E. transv.	3ª campaña		E. transv.	Código de Colores	
	Dg	E. long.		Dg	E. long.		Dg	E. long.			
100 V	0,0160	-0,0008	0,0159	0,0395	-0,0022	0,0394	0,0060	-0,0047	0,0037	n ≤ 1 mm.	
101 N	0,0173	-0,0030	0,0171	0,0324	-0,0075	0,0315	0,0071	-0,0015	0,0069	1 < n ≤ 2 mm.	
102 p	0,0240	0,0163	0,0176	0,0370	0,0156	0,0335	0,0154	0,0096	0,0120	2 < n ≤ 3 mm.	
200 V	0,0292	-0,0038	0,0289	0,0446	-0,0066	0,0441	0,0079	-0,0067	0,0041	3 < n ≤ 4 mm.	
201 N	0,0268	-0,0014	0,0268	0,0450	-0,0103	0,0438	0,0063	-0,0046	0,0044	4 < n ≤ 5 mm.	
202 G	0,0214	0,0012	0,0214	0,0574	-0,0087	0,0568	0,0092	-0,0081	0,0044	5 < n ≤ 10 mm.	
300 V	0,0530	0,0062	0,0526	0,0632	-0,0072	0,0628	0,0096	-0,0078	0,0057	10 < n ≤ 20 mm.	
301 N	0,0285	-0,0067	0,0277	0,0413	-0,0060	0,0409	0,0120	-0,0029	0,0117	20 < n ≤ 40 mm.	
302 p	0,0808	0,0749	0,0305	0,0465	0,0128	0,0447	0,0154	0,0131	0,0082	n > 40 mm.	
400 V	0,0183	-0,0043	0,0178	0,0157	-0,0044	0,0151	0,0065	0,0029	0,0058		
401 N	0,0269	-0,0064	0,0262	0,0223	-0,0074	0,0210	0,0024	-0,0014	0,0019		
402 G	0,0303	-0,0045	0,0299	0,0331	0,0059	0,0325	0,0086	-0,0030	0,0081		
500 V	0,0267	-0,0040	0,0264	0,0076	-0,0020	0,0074	0,0043	-0,0022	0,0037		
501 N	0,0232	-0,0047	0,0227	0,0079	-0,0017	0,0078	0,0070	-0,0031	0,0062		
502 p	0,0278	0,0093	0,0262	0,0108	0,0101	0,0037	0,0093	0,0088	0,0030		
600 V	0,0261	-0,0064	0,0253	0,0213	-0,0052	0,0207	0,0077	-0,0056	0,0053		
601 N	0,0278	-0,0063	0,0271	0,0276	-0,0067	0,0267	0,0077	-0,0050	0,0059		
602 G	0,0273	-0,0040	0,0270	0,0272	-0,0039	0,0269	0,0082	-0,0036	0,0074		
Valor máximo	0,0808	0,0749	0,0526	0,0632	0,0156	0,0628	0,0154	0,0131	0,0120		
Valor mínimo	0,0160	-0,0067	0,0159	0,0076	-0,0103	0,0037	0,0024	-0,0081	0,0019		
Intervalo	0,0649	0,0816	0,0367	0,0556	0,0259	0,0591	0,0131	0,0212	0,0101		
Promedio	0,0295	0,0029	0,0259	0,0322	-0,0020	0,0311	0,0084	-0,0014	0,0060		
Desv. estándar	0,0146	0,0185	0,0079	0,0157	0,0075	0,0162	0,0032	0,0059	0,0026		
Máx. dispersión	0,0513	0,0720	0,0267	0,0310	0,0176	0,0317	0,0071	0,0145	0,0060		
Frecuencia ≤ 10 mm.	0	16	0	2	15	3	15	17	16		
10 < n ≤ 20 mm.	3	1	4	2	3	1	3	1	2		
20 < n ≤ 30 mm.	12	0	12	4	0	4	0	0	0		
30 < n ≤ 40 mm.	1	0	1	4	0	4	0	0	0		
n > 40 mm.	2	1	1	6	0	6	0	0	0		

Tabla 42. - Errores y estadísticas de la red de control (B-4000 Faro Photon 80)



CONCLUSIONES

Sistema Topocéntrico Local Estación B-2000			Vectores error Red de control			Faro Photon 80		
1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
Pto.	Dg	E. long. E. transv.	Dg	E. long. E. transv.	Dg	E. long. E. transv.	Dg	E. long. E. transv.
100 V	0,0275	-0,0065 0,0268	0,0322	0,0026 0,0321	0,0188	-0,0051 0,0181	0,0188	-0,0051 0,0181
101 N	0,0353	-0,0040 0,0351	0,0334	-0,0130 0,0307	0,0374	-0,0229 0,0296	0,0374	-0,0229 0,0296
102 p	0,0297	0,0152 0,0255	0,0354	0,0124 0,0331	0,0202	0,0109 0,0171	0,0202	0,0109 0,0171
200 V	0,0058	-0,0015 0,0056	0,0105	-0,0031 0,0101	0,0139	-0,0025 0,0137	0,0139	-0,0025 0,0137
201 N	0,0054	-0,0017 0,0051	0,0109	-0,0037 0,0103	0,0168	-0,0032 0,0165	0,0168	-0,0032 0,0165
202 G	0,0078	-0,0043 0,0066	0,0188	-0,0071 0,0174	0,0117	-0,0016 0,0116	0,0117	-0,0016 0,0116
300 V	0,0114	-0,0001 0,0114	0,0118	-0,0013 0,0118	0,0122	-0,0025 0,0119	0,0122	-0,0025 0,0119
301 N	0,0085	-0,0015 0,0084	0,0113	-0,0008 0,0112	0,0123	-0,0010 0,0122	0,0123	-0,0010 0,0122
302 p	0,0133	0,0099 0,0090	0,0156	0,0102 0,0118	0,0143	0,0090 0,0111	0,0143	0,0090 0,0111
400 V	0,0061	-0,0043 0,0044	0,0138	-0,0031 0,0134	0,0110	-0,0059 0,0093	0,0110	-0,0059 0,0093
401 N	0,0066	-0,0043 0,0050	0,0137	-0,0029 0,0134	0,0104	-0,0052 0,0091	0,0104	-0,0052 0,0091
402 G	0,0064	-0,0037 0,0052	0,0154	-0,0032 0,0151	0,0112	-0,0042 0,0104	0,0112	-0,0042 0,0104
500 V	0,0095	-0,0039 0,0087	0,0077	-0,0046 0,0062	0,0180	-0,0048 0,0173	0,0180	-0,0048 0,0173
501 N	0,0113	-0,0038 0,0107	0,0072	-0,0018 0,0069	0,0177	-0,0034 0,0174	0,0177	-0,0034 0,0174
502 p	0,0141	0,0101 0,0099	0,0124	0,0087 0,0088	0,0179	0,0076 0,0162	0,0179	0,0076 0,0162
600 V	0,0200	-0,0045 0,0195	0,0115	-0,0004 0,0115	0,0238	-0,0046 0,0234	0,0238	-0,0046 0,0234
601 N	0,0189	-0,0051 0,0182	0,0122	-0,0056 0,0108	0,0262	-0,0063 0,0254	0,0262	-0,0063 0,0254
602 G	0,0205	-0,0005 0,0204	0,0147	0,0016 0,0146	0,0302	-0,0017 0,0301	0,0302	-0,0017 0,0301
Valor máximo	0,0353	0,0152 0,0351	0,0354	0,0124 0,0331	0,0374	0,0109 0,0301	0,0374	0,0109 0,0301
Valor mínimo	0,0054	-0,0065 0,0044	0,0072	-0,0130 0,0062	0,0104	-0,0229 0,0091	0,0104	-0,0229 0,0091
Intervalo	0,0299	0,0218 0,0307	0,0282	0,0254 0,0270	0,0270	0,0338 0,0211	0,0270	0,0338 0,0211
Promedio	0,0144	-0,0008 0,0131	0,0160	-0,0008 0,0150	0,0180	-0,0026 0,0167	0,0180	-0,0026 0,0167
Desv. estándar	0,0088	0,0059 0,0088	0,0083	0,0061 0,0081	0,0072	0,0070 0,0064	0,0072	0,0070 0,0064
Máx. dispersión	0,0209	0,0160 0,0220	0,0193	0,0132 0,0182	0,0194	0,0202 0,0134	0,0194	0,0202 0,0134
Frecuencia ≤ 10 mm.	8	16 10	2	16 3	0	17 2	0	17 2
10 < n ≤ 20 mm.	5	2 4	13	2 12	13	1 12	13	1 12
20 < n ≤ 30 mm.	4	0 3	0	0 0	3	0 3	3	0 3
30 < n ≤ 40 mm.	1	0 1	3	0 3	2	0 1	2	0 1
n > 40 mm.	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0

Código de Colores

n ≤ 1 mm.	
1 < n ≤ 2 mm.	
2 < n ≤ 3 mm.	
3 < n ≤ 4 mm.	
4 < n ≤ 5 mm.	
5 < n ≤ 10 mm.	
10 < n ≤ 20 mm.	
20 < n ≤ 40 mm.	
n > 40 mm.	

Tabla 43. - Errores y estadísticas de la red de control (B-2000 Faro Photon 80)



#### 5.4. CONCLUSIONES GENERALES

Escáner Trimble GX:

- La precisión longitudinal estimada en la determinación de las distancias a los puntos es, de 10 mm para distancias menores de 40 metros, y de 15 mm para las comprendidas entre 40 y 65 metros.
- La precisión transversal estimada es de 15 mm para distancias menores de 40 metros y de 20 mm para las comprendidas entre 40 y 65 metros, lo que implica errores angulares que llegan a superar los tres minutos centesimales.
- En los errores transversales predomina la componente vertical sobre la horizontal, siendo ésta similar a la longitudinal, por lo que se puede asimilar la precisión en el posicionamiento absoluto de los puntos en planimetría con la precisión longitudinal, y en altimetría con la transversal.
- En las medidas de distancias y ángulos entre diferentes puntos del conjunto escaneado, puede producirse acumulación de los errores cometidos en el posicionamiento absoluto, pudiendo llegar a duplicarse sus efectos para dichas determinaciones relativas.
- Pueden producirse errores sistemáticos en una exploración o errores puntuales en un objeto, que sobrepasen con creces las precisiones indicadas, siendo difícil su localización si se trata de observaciones únicas. Esto puede producir cierta inseguridad sobre escaneados aislados.
- No se aprecian diferencias en la precisión atribuibles a la variación en el radio de las esferas utilizadas.
- Las placas de puntería sobre fondo negro no son reconocidas en la fase de exploración, siendo asignada su geometría en fase de post-proceso, y aunque en su mayoría se alcanzan precisiones análogas, para distancias que superan los 50 metros se hace necesario repetir el proceso múltiples veces hasta obtener resultados aceptables.
- No se presentan indicios que pongan de manifiesto variaciones debidas a la estacionalidad en las exploraciones, ni tampoco que las condiciones meteorológicas sean causantes de variaciones significativas.
- Para distancias que superan los 50 metros, comienzan a presentarse ciertas dificultades en la correcta identificación de las señales de puntería, siendo frecuente tener que repetir las exploraciones hasta obtener resultados satisfactorios.
- En múltiples ocasiones, una vez finalizado el proceso de captura, muestra un mensaje de error informando que no se ha producido el registro, debiendo repetirlo, duplicando el tiempo de trabajo invertido.



## CONCLUSIONES

---

### Escáner Faro Photon 80:

- Para distancias que no superen los 60 metros, la precisión longitudinal estimada es de 10 mm para exploraciones realizadas sobre las esferas de radio 72.5 mm, y de 17 mm para las esferas de radio 38.1 mm. en el caso de las placas de puntería se estima en 20 mm.
- Para los errores transversales, en base a los estudios realizados en los capítulos 4.4 y 4.5, se comprueba que prevalecen las componentes verticales, asumiendo prácticamente su totalidad, siendo las componentes horizontales menores y de un nivel similar al de los errores longitudinales. Se puede considerar que la magnitud de dichos errores se debe fundamentalmente a errores en el plano vertical.
- Las desviaciones que se producen sobre estos errores presentan gran incoherencia, siendo difícil establecer su precisión. Se llega a la conclusión de que el sistema de compensación de la vertical presenta cierta inestabilidad, o que el equipo tiene alguna anomalía en su funcionamiento.
- La precisión estimada en el posicionamiento absoluto de los puntos en planimetría, que se deduce de lo expuesto, está en los 20 mm.
- Al realizar determinaciones angulares o de distancias entre los diferentes puntos que conforman el conjunto de las exploraciones, pueden producirse efectos de acumulación que incrementen el valor para los errores relativos.
- Como se ha observado, para el caso de la esfera 302 escaneada desde B-4000, pueden producirse errores, de incierta localización cuando se trata de exploraciones únicas, que excedan de las precisiones estimadas, con la inseguridad que esto pueda ocasionar.
- No se presentan indicios que pongan de manifiesto variaciones debidas a la estacionalidad en las exploraciones, ni tampoco que las condiciones meteorológicas sean las causantes de las fuertes desviaciones observadas.
- En la fase de campo, al no realizar ajuste de geometrías, no se presentan problemas, siendo en la fase de gabinete cuando se producen, en ocasiones por mala definición del objeto. También se ha comprobado que, para un mismo objeto con buena definición, si se repite el proceso de ajuste de la geometría se obtienen diferencias que con facilidad alcanzan los 3 mm.

Igualmente se llega a la conclusión de que la metodología de observación con escáner láser, basada en la radiación, no permite determinar la precisión alcanzada en cada punto registrado, corriendo cierto riesgo si se quiere garantizar mediciones entre ellos, según la precisión exigida en cada caso. El problema se agrava trabajando con más de un estacionamiento y utilizando las esferas como elementos para vincularlos.



Cabe recordar que los valores obtenidos, para ambos escáneres, se refieren a exploraciones efectuadas todas ellas con el máximo de resolución posible, asignando la geometría correspondiente sobre la nube de puntos que define cada señal de puntería, y obteniendo las coordenadas de sus centros mediante la operación de promedio que realiza la aplicación informática facilitada con cada escáner.

A la vista de los resultados obtenidos, para las condiciones y características del entorno de trabajo establecido, las precisiones alcanzadas se alejan significativamente de las prescritas en las características técnicas de cada equipo, las cuales están reflejadas en el capítulo 2.2. Podemos concluir que ambos son instrumentos adecuados para llevar a cabo el registro y documentación de objetos, pero con las limitaciones en precisión que han quedado demostradas en el trabajo desarrollado en esta Tesis.

Tratándose de un trabajo, dentro del ámbito de la investigación tecnológica o aplicada, cuya finalidad es analizar y determinar la precisión métrica alcanzado por ciertos equipos que utilizan el sistema láser para la exploración de objetos, se hace necesario emplear metodología conocida cuya precisión está contrastada, con el objetivo de establecer el marco de referencia fiable .

La aportación original que se realiza en esta Tesis, consiste en llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento de dos modelos concretos de escáner láser, para unas condiciones de trabajo específicas y acordes con una utilización usual de dichos equipos, utilizando el marco de referencia citado, y realizando el estudio pormenorizado de las precisiones métricas efectivas alcanzadas por ambos.

La red topográfica implantada, conforma un marco de referencia de características conocidas, que la convierte en un laboratorio de campo donde pueden realizarse nuevos estudios y calibraciones. Pudiéndose aumentar sus prestaciones mediante la observación y compensación utilizando instrumental de mayor precisión.

Sobre este entorno se puede ampliar el estudio realizado sobre los escáneres Trimble GX y Faro Photon 80, utilizando puntos de control con mayores ángulos de pendiente; estudiar la precisión alcanzada sobre elementos puntuales de los objetos escaneados; analizar los efectos sobre diferentes tipos de dispositivos, según colores, texturas, etc...; realizar estudios para diferentes grados de iluminación, para diferentes tramos horarios. Se puede proceder al contraste de otros modelos de escáner.



## 6.-BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN







## 6. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN

### 6.1. LIBROS

Aboites, V. (1991). *El láser*. Fondo de Cultura Económica, S.A., Méjico. ISBN 968-16-3578-7.

Berrecoso, M., Ramírez, M.E., Enríquez-Salamanca, J.M., Pérez-Peña, A. (2003). *Notas y apuntes de Trigonometría Esférica y Astronomía de Posición*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad de Cádiz. ISBN: 84-7786-651-1.

Burnside, C.D. (1991). *Electromagnetic distance measurement*. Ed. BSP Professional Books, Oxford. ISBN: 0-632-03122-0.

Chueca Pazos, M. (1982). *Topografía*. Ed. Dossat. Madrid. ISBN: 84-237-0590-0.

Chueca Pazos, M., Anquela Julián, A.B., Baselga Moreno, S. (2007). *Diseño de Redes y Control de Deformaciones. Los problemas del Datum y Principal de diseño*. Ed. UPV. Valencia. ISBN: 978-84-8363-070-9.

Chueca Pazos, M., Herráez Boquera, J., Berné Valero, J.L. (1995). *Ampliación de redes topográficas y locales*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia. SPUPV-95.274.

Chueca Pazos, M., Herráez Boquera, J. (1992). *Curso de topografía de precisión en forma de problemas*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia. SPUPV-92.472.

Chueca Pazos, M., Herráez Boquera, J., Berné Valero, J.L. (1996). *Redes topográficas y locales. Microgeodesia*. Ed. Paraninfo. Madrid. ISBN: 84-283-2310-0.

Chueca Pazos, M., Herráez Boquera, J., Berné Valero, J.L. (1996). *Teoría de errores e instrumentación*. Ed. Paraninfo. Madrid. ISBN: 84-283-2308-9.

Chueca Pazos, M., Herráez Boquera, J., Berné Valero, J.L. (1992). *Topografía Tomo I, Análisis de Errores*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia. SPUPV-93.280.

Chueca Pazos, M., Herráez Boquera, J., Berné Valero, J.L. (1993). *Topografía Tomo 4, Triangulación*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia. SPUPV-93.062.



Farjas, M., García Lázaro, F.J. (2008). *Modelización tridimensional y sistemas láser escáner 3D aplicados al Patrimonio Histórico*. Ed. La Ergástula. Madrid. ISBN: 978-84-936732-0-8.

Ferrer Torío, R., Piña Paton, B., Núñez-García del Pozo, A., Valbuena Durán, J.L., Martínez López, I. (1991). *Distanciametría electrónica de alta precisión*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad de Cantabria. ISBN: 84-86928-52-4.

Ferrer Torío, R., Piña Paton, B. (1992). *Geodesia Geométrica*. Ed. Servicio de publicaciones, Universidad de Cantabria. ISBN: 84-86928-65-6.

Ghilani, C., Wolf, P. (2006). *Adjustment computations. Spatial data analysis*. Ed. Wiley. ISBN: 13 978-0-471-69728-2.

Marshall, G.F., Stutz, G.E. (2004). *Handbook of Optical and Laser Scanning*. Ed. CRC Press. ISBN: 9781439808795.

Martín Asín, F. (2008). *Geodesia y Cartografía Matemática*. Ed. Paraninfo. Madrid. ISBN: 9788493621421.

Torge, W. (1983). *Geodesia*. Ed. Diana. ISBN: 968-13-1423-9.

Varios (2011). *Laser Scanning, Theory and Applications*. Ed. Chau-Chang Wang. ISBN: 978-953-307-205-0

Zakatov, P.S. (1997). *Curso de Geodesia Superior*. Ed. Rubiños-1860, S.A. Madrid. ISBN: 84-8041-097-3.

## 6.2. ARTÍCULOS

Abmayr, T., Härtl, F., Reinköster, M., Fröhlich, C. (2005). Terrestrial laser scanning—Applications in cultural heritage conservation and civil engineering. *Zoller + Fröhlich (Z+F) GmbH. Germany*

Ackermann, F. (1999). Airborne laser scanning—present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 54, pp. 64-67.

Ahokas, E. y otros (2005). Optimization of the scanning angle for countrywide laser scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. ISSN 1682-1777. Workshop "Laser scanning 2005". Netherlands, september 2005.



Alonso Rodríguez, M., López Mozo, A., Farjas Abadía, M., Ayora Baena, F. (2002). Levantamiento de la cúpula de la Basílica del Monasterio de San Lorenza de El Escorial. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XIX, nº 110, mayo-junio 2002.

Amiri Parian, J., Gruen, A. (2005). Integrated laser scanner and intensity image calibration and accuracy assessment. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. ISSN 1682-1777. Workshop "Laser scanning 2005". Netherlands, september 2005.

Biber, P., Fleck, S., Wand, M., Staneker, D., Straßer, W. (2005). First experiences with a mobile platform for flexible 3D model acquisition in indoor and outdoor environments - The Wägele. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. ISSN 1682-1777. Vol. XXXVI. Italy, 22-24 August 2005.

Borg, C. E., Magrin, M. (2003). Escáneres láser 3D de largo alcance: ¿avanzando hacia una herramienta híbrida o hacia una metodología híbrida? *Datum XXI*. Año II, nº 5 julio-septiembre 2003.

Bravo Ribó, A. (2005). Topografía de Alta Definición- HDS Aplicaciones y entregas. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXII, nº 128, mayo-junio 2005.

Buill Pozuelo, F., Núñez Andrés, M.A. (2008). Aplicación del láser escáner terrestre para levantamientos arquitectónicos, arqueológicos y geotécnicos. *Mapping*. ISSN: 1.131-9.100. Marzo 2008.

Buill Pozuelo, F., Núñez Andrés, M.A., Marambio Castillo, A. (2005). Estudio de la calidad en la medida con láser escáner. *Universidad Politécnica de Cataluña*.

Clark, J. Robson, S. (2004). Accuracy of measurements made with a Cyrax 2500 laser scanner against surfaces of known color. *Survey Review*. Vol. 37, nº 294, octubre 2004.

Esparca Sánchez-Garnica, F.J. (2002). Introducción a los Sistemas de Medición Tridimensional con Laser. *Mapping*. ISSN: 1.131-9.100. Septiembre 2002.

Fabris; M. y otros (2009). High resolution data from laser scanning and digital photogrammetry terrestrial methodologies. Test site: an architectural surface. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Laserscanning09*. Paris, september 2009.



Farjas, M., Bravo, A. (2007). Tecnologías de representación 3D en los procesos de documentación del patrimonio pétreo. *Restauradores Sin Fronteras. Ciencia, Tecnología y Sociedad para una Conservación Sostenible del Patrimonio Pétreo* (pp. 47-56) Madrid, 2007.

Farjas, M., Moreno, E., García Lázaro, F.J. (2011). La realidad virtual y el análisis científico: De la nube de puntos al documento analítico. *Virtual Archaeology Review*. ISSN: 1989-9947. Vol. 2, nº 4, mayo 2011.

Farjas, M., Sánchez, J., Vázquez, A., (1998). Determinación del grado de incertidumbre de las observaciones que se realizan con un equipo topográfico. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XV, nº 84, 85 y 86, enero-junio 1998.

Farjas, M., Sardiña, C. (2003). Presentación del equipo Cyrax 2500 de Leyca Geosystem. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XX, nº 116, mayo 2003.

García Benloch, A., Lerma García, J.L. (2005). Modelización Tridimensional del entorno "La Torre de Paterna". *Topografía y Cartografía*. Vol. XXII, nº 129, julio-agosto 2005.

Gielsdorf, F., Rietdorf, A., Gruendig, L. (2004). Un nuevo concepto para la Calibración de los Escáneres de Láser. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXII, nº 130, septiembre-octubre 2005.

Gordon, S., Lichti, D., Franke, J., Stewart, M. (2004). Measurement of Structural Deformation using Terrestrial Laser Scanners. *1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering*. Nottingham, United Kingdom, 28 June - 1 July 2004.

Gordon, S., Lichti, D., Stewart, M., Franke, J. (2003). Structural deformation measurement using terrestrial laser scanners. *11th FIG Symposium on Deformation Measurements*. Santorini, Greece 2003.

Hanke, K., Grussenmeyer, P., Grimm-Pitzinger, A., Weinold, Th. (2006). First experiences with the Trimble GX scanner. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI, Dresden, Germany 25-27 September 2006.

Höglund, R., Large, P. (2005). Tecnología MED de reflexión directa para Topógrafos e Ingenieros Civiles. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXII, nº 128, mayo-junio 2005.



- Kersten, T., Mechelke, K., Lindstaedt, M., Sternberg, H. (2008). Geometric accuracy investigations of the latest terrestrial laser scanning systems. *FIG Working Week 2008*. Stockholm, Sweden 14-19 june 2008.
- Kersten, T. Sternberg, H. Mechelke, K. (2005). Investigations into the accuracy behaviour of the terrestrial laser scanning system Mensi GS100. *Optical 3-D Measurement Techniques*. Vol. I, pp. 122-131. Vienna 2005.
- Kersten, T., Sternberg, H., Mechelke, K., Acevedo Pardo, C. (2004). Terrestrial laserscanning system Mensi GS100/GS200 - Accuracy tests, experiences and projects at the Hamburg University of applied sciences. *Panoramic Photogrammetry Workshop 2004*. Dresden.
- Kersten, T., Sternberg, H., Stiemer, E (2005). First Experiences with Terrestrial Laser Scanning for Indoor Cultural Heritage Applications using Two Different Scanning Systems. *IAPRS, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Panoramic Photogrammetry Workshop*. Berlin, february 2005.
- Kopacik, A., Wunderlich, T. (2006). Utilización de un Sistema de Barrido por Láser en estructuras tecno-hidráulicas. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Volumen XXIII, número 133, marzo-abril 2006.
- Lerma, J.L., Navarro, S., Cabrelles, M., Seguí, A.E., Haddad, N., Akasheh, T. (2011). Integration of Laser Scanning and Imagery for Photorealistic 3D Architectural Documentation. *Laser Scanning, Theory and Applications*, pp. 413-430, marzo 2011.
- Lerma, J.L., Navarro, S., Cabrelles, M., Villaverde, V. (2010). Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, Vol. 37, pp. 499-507, marzo 2010.
- Lichti, D. (2002). A resolution measure for terrestrial laser scanners. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part XXX, 2002.
- Lichti, D. (2006). Error modeling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner system. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 61. 2007
- Lichti, D., Gordon, S. (2004). Error propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording. *FIG Working Week 2004*. Athens, Greece, may 22-27, 2004.



Lichti, D., Stewart, M.P., Tsakiri, M., Snow, A.J. (2000). Calibration and testing of a terrestrial laser scanner. *ISPRS, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Congress*. Amsterdam, July 2000.

Lijing, B., Zhengpeng, Z. (2008). Application of point clouds from terrestrial 3D laser scanner for deformation measurements. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. ISSN 1682-1777. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008.

Mañana-Borrazás, P., Rodríguez Paz, A., Blanco-Rotea, R. (2008). Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela). *Arqueología de la Arquitectura*. ISSN: 1695-2731. Vol. 5, pp. 15-32. Madrid/Vitoria. 2008.

Martínez Morales, J. (2003). Utilización de técnicas láser escáner y de fotogrametría terrestre para el estudio de desprendimientos de rocas. El caso de la zona de más riesgo del tren cremallera de Núria. *Mapping*. ISSN: 1.131-9.100, nº 103, julio-agosto 2005.

Mata de Castro, E., Hernández Caro, M.A., Cardenal Escarcena, F.J. (2002). Estudio comparativo entre métodos de topometría de precisión y fotogrametría de objeto cercano en aplicaciones industriales. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Santander, España 5-7 junio de 2002.

Mateos Quintanilla, A., Martín Lerones, P., Gómez García-Bermejo, J., Zalama Casanova, E. Aplicación de un escáner 3D a fines didácticos. *Universidad de Valladolid*.

Mostaza Pérez, T., Zancajo Jimeno, J.J., López Quiroga, J., Martínez Tejera, A. (2011). Aplicación del Escáner Láser 3D a la Documentación Espacial de Yacimientos Arqueológicos. *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Teruel, octubre 2009.

Núñez Andrés, M.A., Buill Pozuelo, F., Muñoz Salinas, F. (2005). Comportamiento de un sensor láser escáner. *Universidad Politécnica de Cataluña*.

Navarrete Mandly, F. (2010). Generación de Secciones Transversales de Túneles a partir de Datos Capturados por Escáner 3D. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXVII, nº 156, enero-febrero 2010.

Peñafiel, J., Fernández, D. (2008). Sistemas de Auscultación Automática basados en Métodos Topográficos. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXV, nº 146, mayo-junio 2008.



- Pons, J.M., Lerma, J.L. (2005). El Láser Escáner Terrestre: Una potente herramienta de digitalización 3D. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXII, nº 129, julio-agosto 2005.
- Rutzinger, M., Oude, S., Pu, S., Vosselman, G. (2009). Automatic extraction of vertical walls from mobile and airborne laser scanning data. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Laserscanning09*. Paris, september 2009.
- Santala, J., Joala, V. (2004). Acerca de la calibración de un Escáner de Láser Terrestre. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXI, nº 122, mayo-junio 2004.
- Schulz, T., Ingensand, H. (2005). El escaneado por láser terrestre: Investigaciones y aplicaciones del escaneado de alta precisión. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXII, nº 131, noviembre-diciembre 2005.
- Soubra, O. P., Lorenzo, A. (2004). Aplicaciones de láser escáner 3D Trimble-MENSI en estudios de accidentes y de criminología (forensics). *Trimble*. 2004.
- Sternberg, H. (2006). Deformation measurements at historical buildings with terrestrial laser scanners. *IAPRS*. Vol. XXXVI, Part 5, Dresden 25-27 september 2006.
- Sternberg, H., Kersten, T. (2007). Comparison of terrestrial laser scanning systems in industrial as-built-documentation applications. *Optical 3-D Measurement Techniques VIII*. Vol. I, pp. 389-397. Zurich, July 9-12, 2007.
- Varios (2008). Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre. Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas. *Agencia Flamenca del programa europeo Leonardo Da Vinci*. Traducción: Lerma, J.L. Biosca Tarongers, J.M. Versión 5, septiembre 2008.
- Velilla Lucini, C., Salinas González, F.J. (2002). Estudio métrico por fotogrametría terrestre: Documentación de pequeños monumentos. *Mapping*. ISSN: 1.131-9.100, nº 83, octubre 2002.
- Wunderlich, T. A. (2004). Escáneres de láser terrestres: Un paso importante hacia la Información en la Construcción. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXI, nº 121, marzo 2004.
- Yoo, H.J., Goulette, F., Senpauroca, J., Lepère, G. (2010). Analysis and improvement of laser terrestrial mobile mapping systems configurations. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISSN 1682-



BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN

---

1777. Vol. XXXVIII, Part 5. Commission V Symposium, Newcastle, United Kingdom 2010.

Zazo, A. (2011). Alta precisión en el control de movimientos y deformaciones. *Topografía y Cartografía*. ISSN: 0212-9280. Vol. XXVII, nº 158, enero-febrero 2011.



## **7.-ANEXOS**





ANEXO 1. COORDENADAS SISTEMA TOPOCÉNTRICO HORIZONTAL. TOPOGRAFÍA CLÁSICA.

Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000  
Topografía clásica (TCA 2003)

Campaña 1				Campaña 2				Campaña 3			
Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z
100	7,79535020	60,45778381	4,45318184	100	7,79515143	60,46058290	4,45286914	100	7,79480224	60,45939074	4,45220062
101	7,98776919	60,36877694	4,81357623	101	7,98755438	60,37136543	4,81330925	101	7,98730603	60,37040485	4,81252452
102	8,24405075	60,19282787	4,44597478	102	8,24375646	60,19554025	4,44485737	102	8,24316009	60,19472149	4,44424518
200	36,19297263	47,55518349	3,90759748	200	36,19410535	47,55616853	3,90697215	200	36,19355205	47,55460098	3,90657198
201	36,54174916	47,39803170	3,72862552	201	36,54288042	47,39949511	3,72822593	201	36,54260129	47,39792070	3,72771095
202	36,54879954	47,30579496	4,07589570	202	36,54965855	47,30679799	4,07572529	202	36,54923063	47,30553696	4,07486066
300	50,50792195	41,05760102	4,44980857	300	50,50936597	41,05862259	4,44857270	300	50,51006041	41,05682873	4,44835936
301	50,16245323	41,21465776	4,44899381	301	50,16440123	41,21580803	4,44871331	301	50,16457088	41,21384121	4,44830229
302	50,43419004	41,02967385	4,08290418	302	50,43574119	41,03090626	4,08260478	302	50,43574204	41,02897445	4,08241394
400	44,13816263	21,94920065	3,66132985	400	44,13904728	21,94989374	3,66098314	400	44,13739434	21,94968792	3,66036321
401	44,07347052	21,43728663	3,42267688	401	44,07437167	21,43780692	3,42228582	401	44,07288146	21,43753052	3,42164063
402	44,03922053	21,83070894	3,23385434	402	44,04005861	21,83152515	3,23367126	402	44,03881629	21,83134845	3,23274109
500	42,39613380	8,37454515	2,63783453	500	42,39697823	8,37489714	2,63751667	500	42,39488126	8,37357970	2,63719363
501	42,32384791	7,81924068	2,63627781	501	42,32470656	7,81945709	2,63574944	501	42,32258296	7,81808932	2,63543896
502	42,29434358	8,01965045	2,98935941	502	42,29513737	8,01917169	2,98832052	502	42,29355359	8,01760720	2,98780933
600	41,30028929	-0,12763195	2,70138716	600	41,30113482	-0,12790004	2,70103931	600	41,29918192	-0,12978524	2,70060998
601	41,34686680	0,24404380	2,46251965	601	41,34784289	0,24397597	2,46218419	601	41,34583463	0,24228028	2,46167228
602	41,21633904	-0,12299021	2,33151941	602	41,21750305	-0,12315379	2,33089633	602	41,21524987	-0,12492299	2,33025515
1000	5,54941400	36,05069355	1,76009473	1000	5,54969051	36,051199656	1,76049599	1000	5,54977772	36,05270185	1,75959780
1001	5,54903515	36,04852471	1,83662755	1001	5,54951074	36,05093228	1,83520505	1001	5,54965577	36,05201279	1,83491371
1002	5,54918334	36,04877272	1,87153835	1002	5,54944222	36,05043434	1,87018642	1002	5,54976345	36,05253329	1,86989092
2000	29,89590480	26,80893090	1,64128164	2000	29,89679861	26,80934271	1,64067920	2000	29,89523477	26,80721024	1,63967821
2001	29,89527362	26,81019603	1,71395310	2001	29,89636640	26,80942973	1,71263506	2001	29,89508233	26,80746659	1,71111450
2002	29,89507279	26,81003593	1,74870984	2002	29,89614082	26,81029044	1,74738490	2002	29,89469342	26,80722515	1,74616553
3000	22,31743897	3,52890243	0,50097883	3000	22,31812866	3,52921198	0,50087926	3000	22,31733150	3,52929343	0,50087651
3001	22,31848557	3,52988730	0,57764557	3001	22,31733627	3,52971634	0,57595652	3001	22,31699992	3,53001680	0,57548377
3002	22,31760964	3,53018249	0,61274704	3002	22,31745095	3,52996083	0,61113239	3002	22,31575895	3,52980708	0,61057461
4000	0	0	0	4000	0	0	0	4000	0	0	0
4001	0,00127126	-0,00060757	0,07713987	4001	-0,00162756	-0,00026708	0,07566874	4001	-0,00099271	0,00026246	0,07503663
4002	0,00065989	0,00019370	0,11225059	4002	-0,00063855	0,00061930	0,11077244	4002	-0,00210830	0,00085243	0,11008644



ANEXO 2. DIFERENCIAS ENTRE CAMPAÑAS. COORDENADAS TOPOCÉNICAS TOPOGRAFÍA CLÁSICA.

**Topografía clásica (TCA 2003)**

**Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000**  
**Diferencias entre campañas**

Pto.	Dif. 2ª respecto 1ª			Dif. 3ª respecto 2ª			Dif. 3ª respecto 1ª			Vector	Pto.	Dif. 3ª respecto 1ª			Vector
	dx	dy	dZ	dx	dy	dZ	dx	dy	dZ			dx	dy	dZ	
100	-0,0002	0,0028	-0,0003	0,0028	0,0006	-0,0006	-0,0003	-0,0012	-0,0007	0,0014	100	-0,0005	0,0016	-0,0010	0,0020
101	-0,0002	0,0026	-0,0003	0,0026	0,0006	-0,0006	-0,0002	-0,0010	-0,0008	0,0013	101	-0,0005	0,0016	-0,0011	0,0020
102	-0,0003	0,0027	-0,0011	0,0029	0,0006	-0,0006	-0,0006	-0,0008	-0,0006	0,0012	102	-0,0009	0,0019	-0,0017	0,0027
200	0,0011	0,0010	-0,0006	0,0016	-0,0006	-0,0006	-0,0006	-0,0016	-0,0004	0,0017	200	0,0006	-0,0006	-0,0010	0,0013
201	0,0011	0,0015	-0,0004	0,0019	0,0006	-0,0006	-0,0003	-0,0016	-0,0005	0,0017	201	0,0009	-0,0001	-0,0009	0,0013
202	0,0009	0,0010	-0,0002	0,0013	0,0004	-0,0004	-0,0004	-0,0013	-0,0009	0,0016	202	0,0004	-0,0003	-0,0010	0,0012
300	0,0014	0,0010	-0,0012	0,0022	0,0007	-0,0018	-0,0002	-0,0018	-0,0002	0,0019	300	0,0021	-0,0008	-0,0014	0,0027
301	0,0019	0,0012	-0,0003	0,0023	0,0002	-0,0020	-0,0002	-0,0020	-0,0004	0,0020	301	0,0021	-0,0008	-0,0007	0,0024
302	0,0016	0,0012	-0,0003	0,0020	0,0000	-0,0019	-0,0002	-0,0019	-0,0002	0,0019	302	0,0016	-0,0007	-0,0005	0,0018
400	0,0009	0,0007	-0,0003	0,0012	0,0000	-0,0017	-0,0002	-0,0006	-0,0006	0,0018	400	-0,0008	0,0005	-0,0010	0,0013
401	0,0009	0,0005	-0,0004	0,0011	0,0011	-0,0015	-0,0003	-0,0006	-0,0006	0,0016	401	-0,0006	0,0002	-0,0010	0,0012
402	0,0008	0,0008	-0,0002	0,0012	-0,0012	-0,0012	-0,0002	-0,0009	-0,0009	0,0016	402	-0,0004	0,0006	-0,0011	0,0013
500	0,0008	0,0004	-0,0003	0,0010	0,0004	-0,0021	-0,0013	-0,0013	-0,0003	0,0025	500	-0,0013	-0,0010	-0,0006	0,0017
501	0,0009	0,0002	-0,0005	0,0010	0,0001	-0,0021	-0,0014	-0,0003	-0,0003	0,0025	501	-0,0013	-0,0012	-0,0008	0,0019
502	0,0008	-0,0005	-0,0010	0,0014	-0,0016	-0,0016	-0,0016	-0,0005	-0,0005	0,0023	502	-0,0008	-0,0020	-0,0016	0,0027
600	0,0008	-0,0003	-0,0003	0,0010	0,0000	-0,0020	-0,0019	-0,0004	-0,0004	0,0027	600	-0,0011	-0,0022	-0,0008	0,0025
601	0,0010	-0,0001	-0,0003	0,0010	0,0000	-0,0020	-0,0017	-0,0005	-0,0005	0,0027	601	-0,0010	-0,0018	-0,0008	0,0022
602	0,0012	-0,0002	-0,0006	0,0013	-0,0006	-0,0023	-0,0018	-0,0006	-0,0006	0,0029	602	-0,0011	-0,0019	-0,0013	0,0026
1000	0,0003	0,0013	0,0004	0,0014	0,0004	0,0001	0,0007	-0,0009	-0,0009	0,0011	1000	0,0004	0,0020	-0,0005	0,0021
1001	0,0005	0,0024	-0,0014	0,0028	0,0001	0,0001	0,0011	-0,0003	-0,0003	0,0011	1001	0,0006	-0,0017	-0,0007	0,0039
1002	0,0003	0,0017	-0,0014	0,0022	0,0002	0,0003	0,0021	-0,0003	-0,0003	0,0021	1002	0,0006	0,0038	-0,0016	0,0041
2000	0,0009	0,0004	-0,0006	0,0012	0,0000	-0,0016	-0,0021	-0,0010	-0,0010	0,0028	2000	-0,0007	-0,0017	-0,0016	0,0024
2001	0,0011	-0,0008	-0,0013	0,0019	0,0001	-0,0013	-0,0020	-0,0015	-0,0015	0,0028	2001	-0,0002	-0,0027	-0,0028	0,0039
2002	0,0011	0,0003	-0,0013	0,0017	0,0002	-0,0014	-0,0031	-0,0012	-0,0012	0,0036	2002	-0,0004	-0,0028	-0,0025	0,0038
3000	0,0007	0,0003	-0,0001	0,0008	0,0000	-0,0008	0,0001	0,0000	0,0000	0,0008	3000	-0,0001	0,0004	-0,0001	0,0004
3001	-0,0011	-0,0002	-0,0017	0,0021	0,0001	-0,0003	0,0003	-0,0005	-0,0005	0,0007	3001	-0,0015	0,0001	-0,0022	0,0026
3002	-0,0002	-0,0002	-0,0016	0,0016	0,0002	-0,0017	-0,0002	-0,0006	-0,0006	0,0018	3002	-0,0019	-0,0004	-0,0022	0,0029
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4001	-0,0029	0,0003	-0,0015	0,0033	0,0001	0,0006	0,0005	-0,0006	-0,0006	0,0010	4001	-0,0023	0,0009	-0,0021	0,0032
4002	-0,0013	0,0004	-0,0015	0,0020	0,0002	-0,0015	0,0002	-0,0007	-0,0007	0,0016	4002	-0,0028	0,0007	-0,0022	0,0036

Código de Colores

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.



ANEXO 3. DIFERENCIAS ENTRE BASES DE LA RED DE APOYO.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal						
Distancias entre campañas (distancias y ángulos)						Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						
TCA 2003 (Bases de la red de apoyo con T1)						TCA 2003 (Bases de la red de apoyo con T1)						
<b>1ª campaña</b>						<b>1ª campaña</b>						
Base	D	Az (rad.)	Az (cent.)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1000	36,5178	0,1527	9,7234	0,0482	3,0696	96,9304	4000-1000	0,0013	0,0001	0,0001	-0,0006	0,0003
4000-2000	40,1893	0,8398	53,4623	0,0409	2,6006	97,3994	4000-2000	0,0009	0,0005	0,0003	0,0010	-0,0006
4000-3000	22,6003	1,4140	90,0162	0,0222	1,4113	98,5887	4000-3000	0,0007	-0,0006	-0,0002	0,0003	-0,0001
1000-2000	26,0418	1,9336	123,0960	-0,0046	-0,2905	100,2905	1000-2000	0,0009	0,0015	0,0006	0,0024	-0,0010
1000-3000	36,6117	2,6655	169,6941	-0,0344	-2,1898	102,1898	1000-3000	0,0011	0,0002	0,0001	0,0008	-0,0005
2000-3000	24,5090	-2,8269	220,0354	-0,0465	-2,9630	102,9630	2000-3000	0,0001	0,0004	0,0002	-0,0013	0,0005
<b>2ª campaña</b>						<b>2ª campaña</b>						
Base	D	Az (rad.)	Az (cent.)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1000	36,5191	0,1527	9,7235	0,0482	3,0702	96,9298	4000-1000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0016	-0,0009
4000-2000	40,1902	0,8398	53,4628	0,0408	2,5996	97,4004	4000-2000	-0,0026	0,0009	0,0005	0,0014	-0,0009
4000-3000	22,6010	1,4140	90,0157	0,0222	1,4110	98,5890	4000-3000	-0,0008	-0,0006	-0,0002	0,0000	0,0000
1000-2000	26,0427	1,9336	123,0975	-0,0046	-0,2929	100,2929	1000-2000	-0,0005	0,0079	0,0032	0,0003	-0,0001
1000-3000	36,6128	2,6656	169,6942	-0,0344	-2,1906	102,1906	1000-3000	0,0001	0,0019	0,0011	-0,0016	0,0009
2000-3000	24,5092	-2,8269	220,0359	-0,0465	-2,9617	102,9617	2000-3000	-0,0024	-0,0001	0,0000	-0,0023	0,0009
<b>3ª campaña</b>						<b>3ª campaña</b>						
Base	D	Az (rad.)	Az (cent.)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1000	36,5198	0,1527	9,7235	0,0482	3,0686	96,9314	4000-1000	0,0020	0,0001	0,0001	0,0010	-0,0006
4000-2000	40,1876	0,8398	53,4636	0,0408	2,5982	97,4018	4000-2000	-0,0017	0,0013	0,0008	0,0024	-0,0015
4000-3000	22,6002	1,4140	90,0151	0,0222	1,4110	98,5890	4000-3000	0,0000	-0,0011	-0,0004	0,0003	-0,0001
1000-2000	26,0422	1,9337	123,1054	-0,0046	-0,2932	100,2932	1000-2000	0,0004	0,0094	0,0039	0,0027	-0,0011
1000-3000	36,6129	2,6656	169,6961	-0,0344	-2,1891	102,1891	1000-3000	0,0012	0,0020	0,0012	-0,0008	0,0004
2000-3000	24,5068	-2,8269	220,0357	-0,0465	-2,9594	102,9594	2000-3000	-0,0022	0,0003	0,0001	-0,0036	0,0014

Código de Colores

	n ≤ 1 mm.
	1 < n ≤ 2 mm.
	2 < n ≤ 3 mm.
	3 < n ≤ 4 mm.
	4 < n ≤ 5 mm.
	5 < n ≤ 10 mm.
	10 < n ≤ 20 mm.
	20 < n ≤ 40 mm.
	n > 40 mm.



ANEXO 4. DIFERENCIAS ENTRE BASES DE LA RED DE APOYO CON ESFERAS PEQUEÑAS

Diferencias geométricas, acimutes y ángulos verticales (Bases red de apoyo con Esferas Pequeñas)						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos) (Bases red de apoyo con Esferas Pequeñas)					
Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal					
1ª campaña						Campaña 2ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)
4001-1001	36,5159	0,1527	9,7210	0,0482	3,0687	96,9313	0,0026	0,0053	0,0030	0,0001	-0,0001
4001-2001	40,1889	0,8397	53,4581	0,0407	2,5935	97,4065	0,0022	0,0055	-0,0001	0,0001	0,0001
4001-3001	22,6003	1,4139	90,0117	0,0221	1,4100	98,5900	0,0016	0,0022	0,0008	0,0007	-0,0003
1001-2001	26,0404	1,9335	123,0884	-0,0047	-0,2999	100,2999	0,0017	0,0067	0,0027	-0,0003	0,0001
1001-3001	36,6096	2,6655	169,6893	-0,0344	-2,1897	102,1897	0,0016	0,0046	0,0026	0,0004	-0,0002
2001-3001	24,5086	-2,8269	220,0311	-0,0464	-2,9527	102,9527	0,0001	0,0060	0,0023	0,0009	-0,0004

2ª campaña						Campaña 3ª respecto 2ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)
4001-1001	36,5185	0,1528	9,7262	0,0482	3,0686	96,9314	0,0005	-0,0010	-0,0006	-0,0006	0,0003
4001-2001	40,1912	0,8398	53,4636	0,0407	2,5936	97,4064	-0,0031	0,0009	0,0006	0,0012	-0,0008
4001-3001	22,6019	1,4139	90,0139	0,0221	1,4093	98,5907	-0,0010	0,0002	0,0001	-0,0005	0,0002
1001-2001	26,0421	1,9336	123,0951	-0,0047	-0,2996	100,2996	-0,0002	0,0082	0,0034	0,0030	-0,0012
1001-3001	36,6111	2,6655	169,6939	-0,0344	-2,1901	102,1901	0,0005	0,0014	0,0008	0,0003	-0,0002
2001-3001	24,5087	-2,8269	220,0371	-0,0464	-2,9536	102,9536	-0,0025	-0,0005	-0,0002	-0,0024	0,0009

3ª campaña						Campaña 3ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)
4001-1001	36,5190	0,1528	9,7252	0,0482	3,0691	96,9309	0,0030	0,0043	0,0025	-0,0004	0,0002
4001-2001	40,1880	0,8398	53,4645	0,0407	2,5924	97,4076	-0,0009	0,0064	0,0041	0,0011	-0,0007
4001-3001	22,6009	1,4139	90,0141	0,0221	1,4098	98,5902	0,0007	0,0024	0,0009	0,0002	-0,0001
1001-2001	26,0418	1,9337	123,1033	-0,0048	-0,3026	100,3026	0,0015	0,0149	0,0061	0,0027	-0,0011
1001-3001	36,6116	2,6656	169,6953	-0,0344	-2,1904	102,1904	0,0020	0,0059	0,0034	0,0007	-0,0004
2001-3001	24,5063	-2,8269	220,0366	-0,0464	-2,9512	102,9512	-0,0023	0,0055	0,0021	-0,0015	0,0006

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red	20 < n ≤ 40 mm.
Dark Red	n > 40 mm.



ANEXO 5. DIFERENCIAS ENTRE BASES DE LA RED DE APOYO CON ESFERAS GRANDES.

Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales (Bases red de apoyo con Esferas Grandes) Sistema Topocéntrico Horizontal						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos) (Bases red de apoyo con Esferas Grandes) Sistema Topocéntrico Horizontal					
1ª campaña						Campanña 2ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4002-1002	36,5155	0,1527	9,7224	0,0482	3,0684	96,9316	0,0015	0,0024	0,0014	-0,0001	0,0001
4002-2002	40,1886	0,8397	53,4596	0,0407	2,5930	97,4070	0,0017	0,0027	0,0017	-0,0001	0,0001
4002-3002	22,5999	1,4139	90,0130	0,0221	1,4100	98,5900	0,0010	0,0023	0,0008	0,0004	-0,0002
1002-2002	26,0402	1,9335	123,0896	-0,0047	-0,3003	100,3003	0,0013	0,0025	0,0010	-0,0001	0,0000
1002-3002	36,6091	2,6655	169,6909	-0,0344	-2,1894	102,1894	0,0015	0,0021	0,0012	0,0004	-0,0002
2002-3002	24,5084	-2,8269	220,0331	-0,0464	-2,9518	102,9518	0,0008	0,0026	0,0010	0,0007	-0,0003
2ª campaña						Campanña 3ª respecto 2ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4002-1002	36,5170	0,1528	9,7248	0,0482	3,0685	96,9315	0,0021	0,0026	0,0015	-0,0005	0,0003
4002-2002	40,1902	0,8398	53,4624	0,0407	2,5931	97,4069	-0,0022	0,0039	0,0025	0,0007	-0,0004
4002-3002	22,6010	1,4140	90,0153	0,0221	1,4095	98,5905	-0,0003	0,0010	0,0003	-0,0004	0,0001
1002-2002	26,0414	1,9335	123,0921	-0,0047	-0,3002	100,3002	0,0002	0,0133	0,0055	0,0023	-0,0009
1002-3002	36,6106	2,6655	169,6930	-0,0344	-2,1898	102,1898	0,0011	0,0049	0,0028	0,0004	-0,0002
2002-3002	24,5092	-2,8269	220,0357	-0,0464	-2,9524	102,9524	-0,0027	0,0029	0,0011	-0,0014	0,0005
3ª campaña						Campanña 3ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4002-1002	36,5191	0,1528	9,7274	0,0482	3,0690	96,9310	0,0036	0,0050	0,0028	-0,0006	0,0003
4002-2002	40,1880	0,8398	53,4663	0,0407	2,5924	97,4076	-0,0006	0,0066	0,0042	0,0006	-0,0004
4002-3002	22,6007	1,4140	90,0163	0,0221	1,4099	98,5901	0,0007	0,0033	0,0012	0,0001	0,0000
1002-2002	26,0416	1,9337	123,1055	-0,0048	-0,3025	100,3025	0,0014	0,0159	0,0065	0,0022	-0,0009
1002-3002	36,6116	2,6656	169,6980	-0,0344	-2,1902	102,1902	0,0026	0,0071	0,0041	0,0008	-0,0004
2002-3002	24,5065	-2,8268	220,0387	-0,0464	-2,9510	102,9510	-0,0019	0,0056	0,0022	-0,0007	0,0003

Código de Colores

n ≤ 1 mm.	
1 < n ≤ 2 mm.	
2 < n ≤ 3 mm.	
3 < n ≤ 4 mm.	
4 < n ≤ 5 mm.	
5 < n ≤ 10 mm.	
10 < n ≤ 20 mm.	
20 < n ≤ 40 mm.	
n > 40 mm.	



ANEXO 6. VISUALES DESDE B-1000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Visuales con origen en B-1000 a señales de puntería  
Sistema Topocéntrico Horizontal**

Pto.	1ª campaña			Pto.	2ª campaña			Pto.	3ª campaña				
	D	Az (cent.)	α (cent.)		V (cent.)	D	Az (cent.)		α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)
100	24,6577	5,8417	6,9670	93,0330	100	24,6591	5,8401	6,9647	93,0353	24,6572	5,8395	6,9659	93,0341
101	24,6300	6,3621	7,9128	92,0872	101	24,6312	6,3605	7,9107	92,0893	24,6295	6,3600	7,9115	92,0885
102	24,4401	7,0764	7,0104	92,9896	102	24,4412	7,0745	7,0061	92,9939	24,4397	7,0731	7,0073	92,9927
200	32,8023	77,1360	4,1708	95,8292	200	32,8029	77,1372	4,1687	95,8313	32,8016	77,1409	4,1699	95,8301
201	33,0630	77,6562	3,7926	96,2074	201	33,0638	77,6565	3,7910	96,2090	33,0627	77,6604	3,7918	96,2082
202	33,0606	77,8281	4,4630	95,5370	202	33,0610	77,8290	4,4618	95,5382	33,0598	77,8323	4,4621	95,5379
300	45,3163	92,9392	3,7808	96,2192	300	45,3174	92,9398	3,7784	96,2216	45,3177	92,9434	3,7794	96,2206
301	44,9913	92,6638	3,8070	96,1930	301	44,9929	92,6643	3,8059	96,1941	44,9927	92,6680	3,8066	96,1934
302	45,2198	92,9669	3,2716	96,7284	302	45,2210	92,9672	3,2705	96,7295	45,2207	92,9708	3,2715	96,7285
400	41,1286	122,3043	2,9439	97,0561	400	41,1293	122,3048	2,9427	97,0573	41,1280	122,3071	2,9432	97,0568
401	41,2361	123,0815	2,5675	97,4325	401	41,2370	123,0823	2,5662	97,4338	41,2358	123,0846	2,5666	97,4334
402	41,0590	122,5296	2,2856	97,7144	402	41,0597	122,5300	2,2846	97,7154	41,0588	122,5320	2,2846	97,7154
500	46,0914	141,0120	1,2124	98,7876	500	46,0924	141,0126	1,2114	98,7886	46,0919	141,0166	1,2122	98,7878
501	46,3696	141,6813	1,2030	98,7970	501	46,3707	141,6820	1,2017	98,7983	46,3702	141,6861	1,2025	98,7975
502	46,2325	141,4871	1,6929	98,3071	502	46,2339	141,4886	1,6909	98,3091	46,2340	141,4925	1,6914	98,3086
600	50,8712	150,3783	1,1780	98,8220	600	50,8727	150,3792	1,1771	98,8229	50,8732	150,3833	1,1776	98,8224
601	50,6366	150,0082	0,8831	99,1169	601	50,6381	150,0088	0,8822	99,1178	50,6383	150,0128	0,8827	99,1173
602	50,8035	150,4491	0,7161	99,2839	602	50,8051	150,4496	0,7148	99,2852	50,8052	150,4538	0,7151	99,2849





ANEXO 7. DIFERENCIAS EN VISUALES DESDE B-1000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Visuales con origen en B-1000 a señales de puntería**  
**Sistema Topocéntrico Horizontal**

Campaña 2ª respecto 1ª							Código de Colores
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	
100	0,0014	-0,0016	-0,0006	0,0022	-0,0009	55	n ≤ 1 mm.
101	0,0011	-0,0016	-0,0006	0,0021	-0,0008	46	1 < n ≤ 2 mm.
102	0,0012	-0,0019	-0,0007	0,0043	-0,0017	48	2 < n ≤ 3 mm.
200	0,0006	0,0012	0,0006	0,0021	-0,0011	19	3 < n ≤ 4 mm.
201	0,0008	0,0003	0,0001	0,0016	-0,0009	24	4 < n ≤ 5 mm.
202	0,0004	0,0009	0,0005	0,0012	-0,0006	12	5 < n ≤ 10 mm.
300	0,0010	0,0006	0,0004	0,0024	-0,0017	23	10 < n ≤ 20 mm.
301	0,0016	0,0005	0,0003	0,0011	-0,0008	36	20 < n ≤ 40 mm.
302	0,0012	0,0003	0,0002	0,0011	-0,0008	27	n > 40 mm.
400	0,0007	0,0006	0,0004	0,0012	-0,0008	18	
401	0,0008	0,0008	0,0005	0,0013	-0,0008	20	
402	0,0007	0,0004	0,0003	0,0009	-0,0006	16	
500	0,0010	0,0006	0,0004	0,0010	-0,0007	22	
501	0,0011	0,0007	0,0005	0,0013	-0,0010	24	
502	0,0015	0,0015	0,0011	0,0020	-0,0015	31	
600	0,0015	0,0009	0,0007	0,0010	-0,0008	30	
601	0,0015	0,0006	0,0005	0,0010	-0,0008	29	
602	0,0017	0,0005	0,0004	0,0013	-0,0010	33	

Campaña 3ª respecto 2ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	-0,0019	-0,0007	-0,0003	-0,0011	0,0004	-77
101	-0,0017	-0,0004	-0,0002	-0,0008	0,0003	-68
102	-0,0015	-0,0013	-0,0005	-0,0012	0,0005	-63
200	-0,0014	0,0037	0,0019	-0,0011	0,0006	-42
201	-0,0011	0,0039	0,0020	-0,0009	0,0004	-33
202	-0,0012	0,0032	0,0017	-0,0002	0,0001	-35
300	0,0004	0,0036	0,0026	-0,0009	0,0007	8
301	-0,0002	0,0038	0,0027	-0,0007	0,0005	-4
302	-0,0003	0,0037	0,0026	-0,0010	0,0007	-8
400	-0,0013	0,0023	0,0015	-0,0005	0,0003	-32
401	-0,0011	0,0023	0,0015	-0,0005	0,0003	-27
402	-0,0009	0,0020	0,0013	0,0000	0,0000	-23
500	-0,0005	0,0040	0,0029	-0,0008	0,0006	-11
501	-0,0005	0,0041	0,0030	-0,0008	0,0006	-10
502	0,0001	0,0039	0,0028	-0,0005	0,0004	1
600	0,0004	0,0041	0,0033	-0,0006	0,0005	8
601	0,0002	0,0040	0,0032	-0,0005	0,0004	4
602	0,0001	0,0043	0,0034	-0,0003	0,0003	2

Campaña 3ª respecto 1ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	-0,0005	-0,0023	-0,0009	0,0011	-0,0004	-22
101	-0,0005	-0,0020	-0,0008	0,0013	-0,0005	-21
102	-0,0004	-0,0032	-0,0012	0,0031	-0,0012	-16
200	-0,0007	0,0049	0,0025	0,0009	-0,0005	-23
201	-0,0003	0,0042	0,0022	0,0008	-0,0004	-9
202	-0,0007	0,0042	0,0022	0,0009	-0,0005	-23
300	0,0014	0,0042	0,0030	0,0015	-0,0010	31
301	0,0014	0,0043	0,0030	0,0004	-0,0003	31
302	0,0009	0,0040	0,0028	0,0001	0,0000	19
400	-0,0006	0,0028	0,0018	0,0007	-0,0004	-14
401	-0,0003	0,0031	0,0020	0,0008	-0,0005	-7
402	-0,0003	0,0024	0,0016	0,0009	-0,0006	-7
500	0,0005	0,0046	0,0033	0,0002	-0,0002	11
501	0,0006	0,0048	0,0035	0,0005	-0,0004	13
502	0,0015	0,0054	0,0039	0,0015	-0,0011	33
600	0,0019	0,0050	0,0040	0,0004	-0,0003	38
601	0,0017	0,0046	0,0037	0,0005	-0,0004	33
602	0,0018	0,0048	0,0038	0,0010	-0,0008	35



ANEXO 8. VISUALES DESDE B-2000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Visuales con origen en B-2000 a señales de puntería  
Sistema Topocéntrico Horizontal**

1ª campaña				2ª campaña				3ª campaña						
Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100	40,3558	363,0035	4,4394	95,5606	100	40,3584	363,0041	4,4396	95,5604	100	40,3585	363,0065	4,4401	95,5599
101	40,2031	363,1813	5,0286	94,9714	101	40,2056	363,1817	5,0288	94,9712	101	40,2059	363,1845	5,0291	94,9709
102	39,8893	363,3708	4,4799	95,5201	102	39,8918	363,3712	4,4788	95,5212	102	39,8924	363,3736	4,4793	95,5207
200	21,7990	18,7606	6,6305	93,3695	200	21,7996	18,7608	6,6303	93,3697	200	21,8005	18,7631	6,6318	93,3682
201	21,7356	19,8770	6,1231	93,8769	201	21,7367	19,8767	6,1234	93,8766	201	21,7376	19,8798	6,1246	93,8754
202	21,6866	19,9805	7,1620	92,8380	202	21,6872	19,9799	7,1631	92,8369	202	21,6884	19,9823	7,1631	92,8369
300	25,2144	61,4941	7,1058	92,8942	300	25,2152	61,4936	7,1040	92,8960	300	25,2173	61,4962	7,1054	92,8946
301	25,0228	60,6603	7,1583	92,8417	301	25,0241	60,6603	7,1588	92,8412	301	25,0257	60,6626	7,1598	92,8402
302	25,1000	61,4458	6,2026	93,7974	302	25,1011	61,4450	6,2031	93,7969	302	25,1025	61,4469	6,2048	93,7952
400	15,1835	120,9340	8,4949	91,5051	400	15,1835	120,9329	8,4960	91,5040	400	15,1828	120,9253	8,4980	91,5020
401	15,2654	123,0565	7,4460	92,5540	401	15,2654	123,0561	7,4469	92,5531	401	15,2648	123,0487	7,4487	92,5513
402	15,0782	121,5458	6,7366	93,2634	402	15,0781	121,5443	6,7384	93,2616	402	15,0777	121,5360	6,7389	93,2611
500	22,2952	162,0656	2,8465	97,1535	500	22,2952	162,0659	2,8473	97,1527	500	22,2943	162,0658	2,8494	97,1506
501	22,7168	163,1077	2,7893	97,2107	501	22,7169	163,1081	2,7895	97,2105	501	22,7160	163,1083	2,7915	97,2085
502	22,5516	162,8672	3,8078	96,1922	502	22,5523	162,8688	3,8065	96,1935	502	22,5518	162,8680	3,8079	96,1921
600	29,2705	174,5036	2,3062	97,6938	600	29,2711	174,5042	2,3067	97,6933	600	29,2708	174,5048	2,3080	97,6920
601	28,9395	174,0903	1,8068	98,1932	601	28,9399	174,0905	1,8074	98,1926	601	28,9394	174,0910	1,8085	98,1915
602	29,2225	174,6681	1,5038	98,4962	602	29,2232	174,6680	1,5038	98,4962	602	29,2226	174,6691	1,5046	98,4954



ANEXO 9. DIFERENCIAS EN VISUALES DESDE B-2000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Visuales con origen en B-2000 a señales de puntería**  
**Sistema Topocéntrico Horizontal**

Campaña 2ª respecto 1ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	0,0026	0,0006	0,0004	-0,0002	0,0001	65
101	0,0024	0,0004	0,0003	-0,0002	0,0001	61
102	0,0025	0,0004	0,0003	0,0011	-0,0007	64
200	0,0006	-0,0002	0,0001	0,0003	-0,0001	28
201	0,0011	-0,0003	-0,0001	-0,0003	0,0001	50
202	0,0006	-0,0006	-0,0002	-0,0011	0,0004	28
300	0,0007	-0,0005	-0,0002	0,0018	-0,0007	29
301	0,0013	0,0000	0,0000	-0,0004	0,0002	53
302	0,0010	-0,0008	-0,0003	-0,0005	0,0002	41
400	-0,0001	-0,0011	-0,0003	-0,0011	0,0003	-4
401	0,0000	-0,0004	-0,0001	-0,0009	0,0002	0
402	-0,0001	-0,0015	-0,0004	-0,0018	0,0004	-9
500	0,0000	0,0002	0,0001	-0,0008	0,0003	2
501	0,0001	0,0004	0,0001	-0,0002	0,0001	6
502	0,0007	0,0016	0,0006	0,0013	-0,0005	29
600	0,0006	0,0007	0,0003	-0,0005	0,0002	21
601	0,0005	0,0003	0,0001	-0,0006	0,0003	17
602	0,0006	-0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	22

Campaña 3ª respecto 2ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	0,0001	0,0024	0,0015	-0,0005	0,0003	4
101	0,0003	0,0028	0,0017	-0,0003	0,0002	7
102	0,0006	0,0024	0,0015	-0,0006	0,0003	15
200	0,0009	0,0024	0,0008	-0,0015	0,0005	41
201	0,0010	0,0031	0,0011	-0,0012	0,0004	45
202	0,0012	0,0024	0,0008	0,0000	0,0000	55
300	0,0021	0,0026	0,0010	-0,0014	0,0006	84
301	0,0016	0,0022	0,0009	-0,0011	0,0004	63
302	0,0015	0,0018	0,0007	-0,0017	0,0007	59
400	-0,0006	-0,0076	-0,0018	-0,0020	0,0005	-43
401	-0,0005	-0,0074	-0,0018	-0,0018	0,0004	-36
402	-0,0003	-0,0083	-0,0020	-0,0005	0,0001	-22
500	-0,0009	0,0000	0,0000	-0,0021	0,0007	-42
501	-0,0009	0,0001	0,0000	-0,0020	0,0007	-40
502	-0,0005	-0,0008	-0,0003	-0,0015	0,0005	-20
600	-0,0004	0,0006	0,0003	-0,0013	0,0006	-12
601	-0,0006	0,0005	0,0002	-0,0011	0,0005	-19
602	-0,0006	0,0011	0,0005	-0,0008	0,0004	-20

Campaña 3ª respecto 1ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	0,0028	0,0030	0,0019	-0,0007	0,0004	68
101	0,0027	0,0032	0,0020	-0,0005	0,0003	68
102	0,0031	0,0029	0,0018	0,0006	-0,0003	79
200	0,0015	0,0025	0,0009	-0,0012	0,0004	69
201	0,0021	0,0028	0,0010	-0,0014	0,0005	95
202	0,0018	0,0018	0,0006	-0,0011	0,0004	82
300	0,0028	0,0021	0,0008	0,0004	-0,0002	113
301	0,0029	0,0022	0,0009	-0,0015	0,0006	115
302	0,0025	0,0011	0,0004	-0,0022	0,0009	100
400	-0,0007	-0,0087	-0,0021	-0,0031	0,0007	-47
401	-0,0005	-0,0078	-0,0019	-0,0027	0,0006	-36
402	-0,0005	-0,0098	-0,0023	-0,0023	0,0005	-32
500	-0,0009	0,0002	0,0001	-0,0029	0,0010	-41
501	-0,0008	0,0005	0,0002	-0,0022	0,0008	-34
502	0,0002	0,0008	0,0003	-0,0001	0,0000	9
600	0,0003	0,0012	0,0006	-0,0018	0,0008	9
601	-0,0001	0,0008	0,0003	-0,0017	0,0008	-3
602	0,0000	0,0010	0,0005	-0,0007	0,0003	1

**Código de Colores**

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.



ANEXO 10. VISUALES DESDE B-3000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Visuales con origen en B-3000 a señales de puntería  
Sistema Topocéntrico Horizontal**

1ª campaña				2ª campaña				3ª campaña						
Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100	58,8847	384,0995	4,2761	95,7239	100	58,8873	384,0992	4,2756	95,7244	100	58,8859	384,0993	4,2750	95,7250
101	58,7768	384,2781	4,6752	95,3248	101	58,7792	384,2777	4,6749	95,3251	101	58,7780	384,2780	4,6741	95,3259
102	58,5186	384,5021	4,2950	95,7050	102	58,5211	384,5017	4,2937	95,7063	102	58,5201	384,5017	4,2931	95,7069
200	46,2866	19,4367	4,6897	95,3103	200	46,2873	19,4370	4,6889	95,3111	200	46,2858	19,4380	4,6885	95,3115
201	46,2304	19,9611	4,4483	95,5517	201	46,2316	19,9612	4,4477	95,5523	201	46,2302	19,9626	4,4472	95,5528
202	46,1706	20,0097	4,9342	95,0658	202	46,1713	20,0096	4,9340	95,0660	202	46,1701	20,0107	4,9329	95,0671
300	47,1031	41,0143	5,3433	94,6567	300	47,1040	41,0145	5,3417	94,6583	300	47,1034	41,0176	5,3414	94,6586
301	47,0228	40,5108	5,3513	94,6487	301	47,0242	40,5115	5,3509	94,6491	301	47,0231	40,5142	5,3505	94,6495
302	47,0073	40,9570	4,8557	95,1443	302	47,0086	40,9571	4,8553	95,1447	302	47,0074	40,9597	4,8552	95,1448
400	28,7305	55,3668	7,0170	92,9830	400	28,7308	55,3664	7,0164	92,9836	400	28,7299	55,3657	7,0152	92,9848
401	28,3297	56,1563	6,5773	93,4227	401	28,3300	56,1562	6,5766	93,4234	401	28,3291	56,1558	6,5753	93,4247
402	28,5353	55,4267	6,1064	93,8936	402	28,5357	55,4260	6,1061	93,8939	402	28,5351	55,4258	6,1042	93,8958
500	20,7654	84,9246	6,5627	93,4373	500	20,7655	84,9245	6,5620	93,4380	500	20,7639	84,9278	6,5615	93,4385
501	20,5724	86,5515	6,6197	93,3803	501	20,5725	86,5519	6,6183	93,3817	501	20,5709	86,5554	6,6179	93,3821
502	20,6261	85,9230	7,6991	92,3009	502	20,6259	85,9254	7,6962	92,3038	502	20,6247	85,9299	7,6951	92,3049
600	19,4566	112,1144	7,2152	92,7848	600	19,4569	112,1162	7,2143	92,7857	600	19,4561	112,1232	7,2131	92,7869
601	19,4102	110,8821	6,4445	93,5555	601	19,4106	110,8832	6,4436	93,5564	601	19,4096	110,8896	6,4422	93,5578
602	19,3353	112,1518	6,0361	93,9639	602	19,3358	112,1531	6,0342	93,9658	602	19,3347	112,1600	6,0325	93,9675



ANEXO 11. DIFERENCIAS EN VISUALES DESDE B-3000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Visuales con origen en B-3000 a señales de puntería**  
**Sistema Topocéntrico Horizontal**

Campaña 2ª respecto 1ª							Código de Colores
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	
100	0,0026	-0,0003	-0,0002	0,0004	-0,0004	44	n ≤ 1 mm.
101	0,0024	-0,0003	-0,0003	0,0004	-0,0003	41	1 < n ≤ 2 mm.
102	0,0025	-0,0004	-0,0004	0,0013	-0,0012	43	2 < n ≤ 3 mm.
200	0,0007	0,0003	0,0002	0,0008	-0,0006	16	3 < n ≤ 4 mm.
201	0,0012	0,0001	0,0001	0,0005	-0,0004	26	4 < n ≤ 5 mm.
202	0,0007	-0,0001	-0,0001	0,0002	-0,0001	15	5 < n ≤ 10 mm.
300	0,0009	0,0002	0,0002	0,0016	-0,0012	20	10 < n ≤ 20 mm.
301	0,0014	0,0007	0,0005	0,0004	-0,0003	30	20 < n ≤ 40 mm.
302	0,0012	0,0002	0,0001	0,0004	-0,0003	26	n > 40 mm.
400	0,0004	-0,0004	-0,0002	0,0006	-0,0003	13	
401	0,0003	-0,0001	0,0000	0,0007	-0,0003	9	
402	0,0004	-0,0007	-0,0003	0,0003	-0,0001	15	
500	0,0001	0,0000	0,0000	0,0007	-0,0002	7	
501	0,0001	0,0004	0,0001	0,0014	-0,0004	5	
502	-0,0002	0,0025	0,0008	0,0029	-0,0009	-9	
600	0,0002	0,0018	0,0005	0,0009	-0,0003	12	
601	0,0003	0,0011	0,0003	0,0009	-0,0003	17	
602	0,0005	0,0012	0,0004	0,0019	-0,0006	26	

Campaña 3ª respecto 2ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	-0,0014	0,0001	0,0001	0,0006	-0,0006	-24
101	-0,0012	0,0003	0,0003	0,0008	-0,0007	-20
102	-0,0010	0,0000	0,0000	0,0006	-0,0005	-16
200	-0,0015	0,0010	0,0007	0,0004	-0,0003	-33
201	-0,0014	0,0014	0,0010	0,0006	-0,0004	-31
202	-0,0012	0,0011	0,0008	0,0011	-0,0008	-27
300	-0,0006	0,0031	0,0023	0,0002	-0,0002	-13
301	-0,0011	0,0027	0,0020	0,0004	-0,0003	-23
302	-0,0011	0,0025	0,0019	0,0001	-0,0001	-24
400	-0,0009	-0,0007	-0,0003	0,0012	-0,0005	-31
401	-0,0008	-0,0004	-0,0002	0,0013	-0,0006	-29
402	-0,0006	-0,0002	-0,0001	0,0020	-0,0009	-21
500	-0,0016	0,0033	0,0011	0,0005	-0,0002	-78
501	-0,0016	0,0035	0,0011	0,0004	-0,0001	-79
502	-0,0012	0,0045	0,0014	0,0011	-0,0004	-57
600	-0,0008	0,0071	0,0022	0,0011	-0,0003	-41
601	-0,0009	0,0065	0,0020	0,0014	-0,0004	-48
602	-0,0011	0,0069	0,0021	0,0018	-0,0005	-59

Campaña 3ª respecto 1ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	0,0012	-0,0001	-0,0001	0,0010	-0,0010	21
101	0,0012	0,0000	0,0000	0,0011	-0,0010	21
102	0,0015	-0,0004	-0,0004	0,0019	-0,0017	26
200	-0,0008	0,0013	0,0010	0,0012	-0,0009	-17
201	-0,0002	0,0015	0,0011	0,0011	-0,0008	-5
202	-0,0005	0,0010	0,0007	0,0012	-0,0009	-11
300	0,0003	0,0034	0,0025	0,0019	-0,0014	6
301	0,0003	0,0034	0,0025	0,0008	-0,0006	6
302	0,0001	0,0027	0,0020	0,0005	-0,0004	2
400	-0,0005	-0,0011	-0,0005	0,0018	-0,0008	-19
401	-0,0006	-0,0004	-0,0002	0,0020	-0,0009	-20
402	-0,0002	-0,0009	-0,0004	0,0022	-0,0010	-6
500	-0,0015	0,0032	0,0011	0,0012	-0,0004	-71
501	-0,0015	0,0039	0,0013	0,0018	-0,0006	-74
502	-0,0014	0,0069	0,0022	0,0040	-0,0013	-66
600	-0,0006	0,0089	0,0027	0,0020	-0,0006	-29
601	-0,0006	0,0075	0,0023	0,0023	-0,0007	-32
602	-0,0006	0,0082	0,0025	0,0036	-0,0011	-33



ANEXO 12. VISUALES DESDE B-4000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Visuales con origen en B-4000 a señales de puntería  
Sistema Topocéntrico Horizontal**

1ª campaña					2ª campaña					3ª campaña				
Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100	61,1207	8,1635	4,6424	95,3576	100	61,1234	8,1629	4,6419	95,3581	100	61,1222	8,1627	4,6413	95,3587
101	61,0849	8,3749	5,0219	94,9781	101	61,0874	8,3743	5,0214	94,9786	101	61,0864	8,3742	5,0206	94,9794
102	60,9172	8,6653	4,6504	95,3496	102	60,9198	8,6646	4,6491	95,3509	102	60,9188	8,6641	4,6485	95,3515
200	59,8890	41,4153	4,1567	95,8433	200	59,8905	41,4156	4,1560	95,8440	200	59,8889	41,4162	4,1556	95,8444
201	59,9648	41,8118	3,9611	96,0389	201	59,9666	41,8118	3,9605	96,0395	201	59,9652	41,8126	3,9601	96,0399
202	59,9188	41,8777	4,3339	95,6661	202	59,9201	41,8778	4,3336	95,6664	202	59,9188	41,8782	4,3328	95,6672
300	65,2425	56,5473	4,3454	95,6546	300	65,2441	56,5474	4,3441	95,6559	300	65,2435	56,5492	4,3439	95,6561
301	65,0747	56,2141	4,3558	95,6442	301	65,0769	56,2144	4,3554	95,6446	301	65,0757	56,2160	4,3551	95,6449
302	65,1438	56,5229	3,9926	96,0074	302	65,1457	56,5230	3,9922	96,0078	302	65,1445	56,5244	3,9921	96,0079
400	49,4303	70,6218	4,7198	95,2802	400	49,4313	70,6215	4,7193	95,2807	400	49,4297	70,6207	4,7186	95,2814
401	49,1299	71,1797	4,4387	95,5613	401	49,1309	71,1796	4,4381	95,5619	401	49,1294	71,1791	4,4374	95,5626
402	49,2594	70,7021	4,1824	95,8176	402	49,2605	70,7016	4,1821	95,8179	402	49,2593	70,7011	4,1810	95,8190
500	43,2958	87,5846	3,8811	96,1189	500	43,2966	87,5844	3,8805	96,1195	500	43,2943	87,5857	3,8803	96,1197
501	43,1207	88,3697	3,8945	96,1055	501	43,1216	88,3696	3,8937	96,1063	501	43,1192	88,3711	3,8934	96,1066
502	43,1516	88,0703	4,4138	95,5862	502	43,1522	88,0713	4,4122	95,5878	502	43,1504	88,0731	4,4116	95,5884
600	41,3887	100,1967	4,1581	95,8419	600	41,3896	100,1971	4,1575	95,8425	600	41,3876	100,2001	4,1570	95,8430
601	41,4209	99,6242	3,7870	96,2130	601	41,4218	99,6244	3,7864	96,2136	601	41,4198	99,6270	3,7858	96,2142
602	41,2824	100,1900	3,5974	96,4026	602	41,2835	100,1902	3,5963	96,4037	602	41,2813	100,1930	3,5955	96,4045



ANEXO 13. DIFERENCIAS EN VISUALES DESDE B-4000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Visuales con origen en B-4000 a señales de puntería**  
**Sistema Topocéntrico Horizontal**

Campaña 2ª respecto 1ª							Código de Colores
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	
100	0,0027	-0,0006	-0,0006	0,0005	-0,0005	45	n ≤ 1 mm.
101	0,0025	-0,0006	-0,0006	0,0005	-0,0005	41	1 < n ≤ 2 mm.
102	0,0026	-0,0007	-0,0007	0,0014	-0,0013	42	2 < n ≤ 3 mm.
200	0,0014	0,0003	0,0003	0,0008	-0,0007	24	3 < n ≤ 4 mm.
201	0,0018	0,0000	0,0000	0,0005	-0,0005	30	4 < n ≤ 5 mm.
202	0,0013	0,0001	0,0001	0,0003	-0,0003	22	5 < n ≤ 10 mm.
300	0,0017	0,0001	0,0001	0,0013	-0,0014	26	10 < n ≤ 20 mm.
301	0,0022	0,0003	0,0003	0,0004	-0,0004	34	20 < n ≤ 40 mm.
302	0,0020	0,0000	0,0000	0,0004	-0,0004	30	n > 40 mm.
400	0,0011	-0,0003	-0,0002	0,0006	-0,0004	22	
401	0,0010	-0,0001	-0,0001	0,0006	-0,0005	21	
402	0,0011	-0,0005	-0,0004	0,0003	-0,0003	22	
500	0,0009	-0,0003	-0,0002	0,0005	-0,0004	20	
501	0,0008	-0,0001	-0,0001	0,0009	-0,0006	20	
502	0,0006	0,0009	0,0006	0,0016	-0,0011	14	
600	0,0008	0,0004	0,0003	0,0006	-0,0004	20	
601	0,0010	0,0001	0,0001	0,0006	-0,0004	23	
602	0,0011	0,0002	0,0002	0,0011	-0,0007	27	

Campaña 3ª respecto 2ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	-0,0013	-0,0002	-0,0002	0,0006	-0,0006	-21
101	-0,0010	-0,0001	-0,0001	0,0007	-0,0007	-17
102	-0,0009	-0,0005	-0,0005	0,0006	-0,0005	-15
200	-0,0016	0,0005	0,0005	0,0003	-0,0003	-27
201	-0,0014	0,0008	0,0007	0,0005	-0,0004	-24
202	-0,0013	0,0005	0,0004	0,0008	-0,0008	-22
300	-0,0006	0,0018	0,0018	0,0002	-0,0002	-9
301	-0,0011	0,0016	0,0016	0,0003	-0,0003	-18
302	-0,0012	0,0015	0,0015	0,0001	-0,0001	-19
400	-0,0016	-0,0007	-0,0006	0,0006	-0,0005	-33
401	-0,0015	-0,0005	-0,0004	0,0007	-0,0005	-31
402	-0,0013	-0,0005	-0,0004	0,0011	-0,0008	-25
500	-0,0023	0,0013	0,0009	0,0003	-0,0002	-54
501	-0,0024	0,0014	0,0010	0,0002	-0,0002	-55
502	-0,0019	0,0018	0,0012	0,0006	-0,0004	-44
600	-0,0020	0,0029	0,0019	0,0005	-0,0003	-48
601	-0,0020	0,0026	0,0017	0,0006	-0,0004	-49
602	-0,0023	0,0027	0,0018	0,0008	-0,0005	-55

Campaña 3ª respecto 1ª						
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100	0,0014	-0,0008	-0,0008	0,0011	-0,0011	24
101	0,0015	-0,0007	-0,0007	0,0012	-0,0012	24
102	0,0016	-0,0012	-0,0011	0,0019	-0,0019	27
200	-0,0002	0,0009	0,0008	0,0011	-0,0010	-3
201	0,0004	0,0008	0,0007	0,0010	-0,0009	6
202	0,0000	0,0005	0,0005	0,0011	-0,0010	0
300	0,0011	0,0019	0,0020	0,0015	-0,0015	16
301	0,0011	0,0019	0,0020	0,0007	-0,0008	16
302	0,0007	0,0015	0,0015	0,0005	-0,0005	11
400	-0,0005	-0,0010	-0,0008	0,0012	-0,0009	-11
401	-0,0005	-0,0006	-0,0005	0,0013	-0,0010	-10
402	-0,0002	-0,0010	-0,0008	0,0014	-0,0011	-3
500	-0,0015	0,0010	0,0007	0,0008	-0,0006	-34
501	-0,0015	0,0013	0,0009	0,0011	-0,0007	-35
502	-0,0013	0,0028	0,0019	0,0022	-0,0015	-29
600	-0,0011	0,0033	0,0022	0,0011	-0,0007	-28
601	-0,0011	0,0027	0,0018	0,0012	-0,0008	-26
602	-0,0012	0,0030	0,0019	0,0019	-0,0012	-28



ANEXO 14. VECTORES ENTRE SEÑALES DE PUNTERÍA (POR GRUPOS).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**  
**Entre señales de puntería (por grupos) para TCA 2003**

Vector	1ª campaña				2ª campaña				3ª campaña			
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
100-101	0,4181	127,5819	66,1479	33,8521	0,4182	127,6413	66,1418	33,8582	0,4181	127,5655	66,1336	33,8664
100-102	0,5211	133,9574	-0,8804	100,8804	0,5211	133,9725	-0,9788	100,9788	0,5207	133,9486	-0,9727	100,9727
101-102	0,4814	138,3015	-55,3111	155,3111	0,4820	138,2898	-55,3974	155,3974	0,4816	138,3062	-55,4198	155,4198
200-201	0,4223	126,9504	-27,8581	127,8581	0,4221	126,8779	-27,8398	127,8398	0,4223	126,8603	-27,8394	127,8394
200-202	0,4660	138,9172	23,5249	76,4751	0,4659	138,9381	23,5944	76,4056	0,4657	138,8907	23,5388	76,4612
201-202	0,3594	195,1433	83,4266	16,5734	0,3597	195,3532	83,3620	16,6380	0,3593	195,4395	83,4013	16,5987
300-301	0,3795	327,1638	-0,1367	100,1367	0,3791	327,2185	0,0236	99,9764	0,3795	327,1556	-0,0096	100,0096
300-302	0,3753	276,9500	-86,5247	186,5247	0,3743	277,0788	-86,5203	186,5203	0,3745	277,1713	-86,4035	186,4035
301-302	0,4920	138,0499	-53,4202	153,4202	0,4918	138,0801	-53,4579	153,4579	0,4915	138,0929	-53,4542	153,4542
400-401	0,5685	208,0027	-27,5794	127,5794	0,5687	207,9980	-27,5759	127,5759	0,5687	207,9770	-27,5761	127,5761
400-402	0,4545	244,2915	-77,9383	177,9383	0,4543	244,3388	-77,9390	177,9390	0,4545	244,2163	-77,9914	177,9914
401-402	0,4377	394,4717	-28,3937	128,3937	0,4379	394,4658	-28,3476	128,3476	0,4381	394,5069	-28,3801	128,3801
500-501	0,5600	208,2408	-0,1770	100,1770	0,5601	208,2372	-0,2009	100,2009	0,5602	208,2394	-0,1994	100,1994
500-502	0,5098	217,7821	48,4387	51,5613	0,5099	217,7510	48,3036	51,6964	0,5098	217,6545	48,2782	51,7218
501-502	0,4071	390,6945	66,8403	33,1597	0,4063	390,6424	66,8926	33,1074	0,4060	390,8019	66,9142	33,0858
600-601	0,4443	7,9366	-36,1391	136,1391	0,4444	7,9544	-36,1211	136,1211	0,4446	7,9410	-36,1171	136,1171
600-602	0,3793	303,5164	-85,7702	185,7702	0,3795	303,6091	-85,8314	185,8314	0,3798	303,6839	-85,7892	185,7892
601-602	0,4110	221,7520	-20,6522	120,6522	0,4111	221,7179	-20,6930	120,6930	0,4113	221,7515	-20,7045	120,7045





ANEXO 15. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (SEÑALES DE PUNTERÍA POR GRUPOS).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Entre señales de puntería (por grupos) para TCA 2003

Campaña 2ª respecto 1ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100-101	0,0001	0,0594	0,0004	0,0062	0,0000	184
100-102	0,0000	0,0151	0,0001	0,0984	-0,0008	-51
101-102	0,0006	-0,0117	-0,0001	0,0862	-0,0007	1168
200-201	-0,0003	-0,0725	-0,0005	-0,0182	0,0001	-650
200-202	-0,0001	0,0209	0,0002	-0,0695	0,0005	-116
201-202	0,0003	0,2100	0,0012	0,0646	-0,0004	931
300-301	-0,0004	0,0547	0,0003	-0,1603	0,0010	-1070
300-302	-0,0010	0,1288	0,0008	-0,0044	0,0000	-2537
301-302	-0,0002	0,0301	0,0002	0,0377	-0,0003	-479
400-401	0,0002	-0,0047	0,0000	-0,0035	0,0000	303
400-402	-0,0002	0,0473	0,0003	0,0007	0,0000	-387
401-402	0,0002	-0,0060	0,0000	-0,0461	0,0003	414
500-501	0,0001	-0,0036	0,0000	0,0239	-0,0002	238
500-502	0,0001	-0,0310	-0,0002	0,1352	-0,0011	181
501-502	-0,0008	-0,0522	-0,0003	-0,0524	0,0003	-1917
600-601	0,0002	0,0178	0,0001	-0,0181	0,0001	393
600-602	0,0002	0,0927	0,0006	0,0613	-0,0004	526
601-602	0,0001	-0,0342	-0,0002	0,0409	-0,0003	286

Campaña 3ª respecto 2ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100-101	-0,0001	-0,0758	-0,0005	0,0082	-0,0001	-247
100-102	-0,0004	-0,0239	-0,0002	-0,0061	0,0001	-774
101-102	-0,0004	0,0164	0,0001	0,0224	-0,0002	-765
200-201	0,0003	-0,0177	-0,0001	-0,0005	0,0000	658
200-202	-0,0002	-0,0473	-0,0003	0,0556	-0,0004	-507
201-202	-0,0004	0,0863	0,0005	-0,0393	0,0002	-1171
300-301	0,0004	-0,0629	-0,0004	0,0332	-0,0002	1071
300-302	0,0001	0,0925	0,0005	-0,1168	0,0007	335
301-302	-0,0003	0,0128	0,0001	-0,0037	0,0000	-549
400-401	0,0001	-0,0210	-0,0002	0,0002	0,0000	98
400-402	0,0002	-0,1225	-0,0009	0,0524	-0,0004	429
401-402	0,0002	0,0412	0,0003	0,0325	-0,0002	441
500-501	0,0001	0,0023	0,0000	-0,0014	0,0000	95
500-502	-0,0001	-0,0966	-0,0008	0,0254	-0,0002	-116
501-502	-0,0003	0,1595	0,0010	-0,0215	0,0001	-763
600-601	0,0002	-0,0133	-0,0001	-0,0040	0,0000	444
600-602	0,0003	0,0748	0,0004	-0,0423	0,0003	723
601-602	0,0002	0,0337	0,0002	0,0115	-0,0001	449

Campaña 3ª respecto 1ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100-101	0,0000	-0,0164	-0,0001	0,0144	-0,0001	-63
100-102	-0,0004	-0,0089	-0,0001	0,0922	-0,0008	-826
101-102	0,0002	0,0047	0,0000	0,1086	-0,0008	402
200-201	0,0000	-0,0902	-0,0006	-0,0187	0,0001	7
200-202	-0,0003	-0,0265	-0,0002	-0,0140	0,0001	-623
201-202	-0,0001	0,2963	0,0017	0,0253	-0,0001	-241
300-301	0,0000	-0,0082	0,0000	-0,1271	0,0008	-1
300-302	-0,0008	0,2213	0,0013	-0,1212	0,0007	-2209
301-302	-0,0005	0,0430	0,0003	0,0340	-0,0003	-1030
400-401	0,0002	-0,0257	-0,0002	-0,0032	0,0000	401
400-402	0,0000	-0,0752	-0,0005	0,0531	-0,0004	42
401-402	0,0004	0,0352	0,0002	-0,0136	0,0001	855
500-501	0,0002	-0,0013	0,0000	0,0224	-0,0002	333
500-502	0,0000	-0,1276	-0,0010	0,1605	-0,0013	65
501-502	-0,0011	0,1074	0,0007	-0,0739	0,0005	-2685
600-601	0,0004	0,0044	0,0000	-0,0220	0,0002	836
600-602	0,0005	0,1675	0,0010	0,0190	-0,0001	1247
601-602	0,0003	-0,0005	0,0000	0,0524	-0,0003	735

Código de Colores

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.



**ANEXO 16. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERIA CON FONDO VERDE.**

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Entre placas de puntería con fondo verde (TCA 2003)

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100-200	31,1961	127,1499	-1,1134	101,1134	31,1981	127,1521	-1,1140	101,1140	31,1981	127,1530	-1,1135	101,1135
100-300	46,9119	127,1419	-0,0046	100,0046	46,9142	127,1432	-0,0058	100,0058	46,9154	127,1433	-0,0052	100,0052
100-400	52,9560	151,8415	-0,9520	100,9520	52,9583	151,8423	-0,9520	100,9520	52,9567	151,8426	-0,9519	100,9519
100-500	62,5554	162,6694	-1,8477	101,8477	62,5580	162,6699	-1,8476	101,8476	62,5571	162,6715	-1,8473	101,8473
100-600	69,2549	167,8406	-1,6105	101,6105	69,2581	167,8411	-1,6105	101,6105	69,2579	167,8427	-1,6102	101,6102
200-300	15,7299	127,1260	2,1949	97,8051	15,7302	127,1253	2,1924	97,8076	15,7314	127,1241	2,1929	97,8071
200-400	26,8114	180,8462	-0,5848	100,5848	26,8116	180,8470	-0,5841	100,5841	26,8100	180,8485	-0,5846	100,5846
200-500	39,6890	190,0039	-2,0371	102,0371	39,6895	190,0045	-2,0366	102,0366	39,6890	190,0069	-2,0365	102,0365
200-600	47,9707	193,2071	-1,6009	101,6009	47,9719	193,2076	-1,6005	101,6005	47,9721	193,2095	-1,6006	101,6006
300-400	20,1575	220,4842	-2,4908	102,4908	20,1580	220,4855	-2,4880	102,4880	20,1572	220,4941	-2,4893	102,4893
300-500	33,7234	215,4877	-3,4222	103,4222	33,7241	215,4885	-3,4204	103,4204	33,7243	215,4938	-3,4206	103,4206
300-600	42,2381	214,0024	-2,6360	102,6360	42,2395	214,0029	-2,6346	102,6346	42,2402	214,0067	-2,6349	102,6349
400-500	13,7242	208,1253	-4,7521	104,7521	13,7245	208,1253	-4,7518	104,7518	13,7257	208,1267	-4,7500	104,7500
400-600	22,2792	208,1388	-2,7439	102,7439	22,2801	208,1386	-2,7437	102,7437	22,2818	208,1388	-2,7430	102,7430
500-600	8,5727	208,1604	0,4720	99,5280	8,5734	208,1598	0,4717	99,5283	8,5739	208,1582	0,4709	99,5291



ANEXO 17. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS DE PUNTERÍA FONDO VERDE).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Placas de puntería con fondo verde (TCA 2003)**

Campaña 2ª respecto 1ª							Código de Colores
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	
100-200	0,0020	0,0022	0,0011	0,0006	-0,0003	63	n ≤ 1 mm.
100-300	0,0022	0,0013	0,0009	0,0013	-0,0009	48	1 < n ≤ 2 mm.
100-400	0,0023	0,0008	0,0007	0,0000	0,0000	43	2 < n ≤ 3 mm.
100-500	0,0026	0,0005	0,0005	-0,0001	0,0001	42	3 < n ≤ 4 mm.
100-600	0,0032	0,0005	0,0006	0,0000	0,0000	46	4 < n ≤ 5 mm.
200-300	0,0002	-0,0007	-0,0002	0,0025	-0,0006	16	5 < n ≤ 10 mm.
200-400	0,0002	0,0008	0,0003	-0,0007	0,0003	8	10 < n ≤ 20 mm.
200-500	0,0006	0,0006	0,0004	-0,0005	0,0003	14	20 < n ≤ 40 mm.
200-600	0,0012	0,0006	0,0004	-0,0004	0,0003	25	n > 40 mm.
300-400	0,0005	0,0013	0,0004	-0,0029	0,0009	22	
300-500	0,0007	0,0008	0,0004	-0,0018	0,0010	22	
300-600	0,0014	0,0005	0,0003	-0,0014	0,0009	32	
400-500	0,0003	0,0000	0,0000	-0,0003	0,0001	25	
400-600	0,0010	-0,0002	-0,0001	-0,0001	0,0000	43	
500-600	0,0006	-0,0006	-0,0001	0,0003	0,0000	72	

Campaña 3ª respecto 2ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100-200	0,0000	0,0009	0,0004	-0,0005	0,0003	-1
100-300	0,0012	0,0002	0,0001	-0,0006	0,0005	26
100-400	-0,0016	0,0003	0,0003	0,0000	0,0000	-30
100-500	-0,0009	0,0016	0,0015	-0,0003	0,0003	-14
100-600	-0,0002	0,0016	0,0017	-0,0002	0,0002	-3
200-300	0,0012	-0,0013	-0,0003	-0,0006	0,0001	79
200-400	-0,0016	0,0015	0,0006	0,0006	-0,0002	-61
200-500	-0,0005	0,0024	0,0015	-0,0001	0,0001	-12
200-600	0,0002	0,0019	0,0014	0,0000	0,0000	3
300-400	-0,0007	0,0086	0,0027	0,0014	-0,0004	-37
300-500	0,0002	0,0053	0,0028	0,0002	-0,0001	6
300-600	0,0007	0,0039	0,0026	0,0003	-0,0002	16
400-500	0,0011	0,0014	0,0003	-0,0018	0,0004	83
400-600	0,0017	0,0002	0,0001	-0,0008	0,0003	76
500-600	0,0005	-0,0016	-0,0002	0,0008	-0,0001	63

Campaña 3ª respecto 1ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100-200	0,0019	0,0031	0,0015	0,0000	0,0000	62
100-300	0,0034	0,0014	0,0011	0,0006	-0,0005	73
100-400	0,0007	0,0011	0,0009	0,0000	0,0000	13
100-500	0,0017	0,0020	0,0020	-0,0004	0,0004	28
100-600	0,0030	0,0021	0,0023	-0,0003	0,0003	44
200-300	0,0015	-0,0019	-0,0005	0,0019	-0,0005	94
200-400	-0,0014	0,0023	0,0010	-0,0001	0,0000	-53
200-500	0,0001	0,0030	0,0019	-0,0006	0,0004	2
200-600	0,0014	0,0024	0,0018	-0,0004	0,0003	29
300-400	-0,0003	0,0100	0,0032	-0,0015	0,0005	-15
300-500	0,0010	0,0061	0,0032	-0,0016	0,0009	28
300-600	0,0020	0,0043	0,0029	-0,0011	0,0008	48
400-500	0,0015	0,0014	0,0003	-0,0020	0,0004	107
400-600	0,0027	0,0000	0,0000	-0,0009	0,0003	119
500-600	0,0012	-0,0022	-0,0003	0,0011	-0,0001	135



**ANEXO 18. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERIA CON FONDO NEGRO.**

<b>Sistema Topocéntrico Horizontal</b>					<b>Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales</b>					<b>Entre placas de puntería con fondo negro (TCA 2003)</b>				
<b>1ª campaña</b>					<b>2ª campaña</b>					<b>3ª campaña</b>				
Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
101-201	31,3807	127,1445	-2,2015	102,2015	101-201	31,3824	127,1455	-2,2016	102,2016	101-201	31,3826	127,1467	-2,2011	102,2011
101-301	46,3219	127,1397	-0,5011	100,5011	101-301	46,3245	127,1403	-0,5011	100,5011	101-301	46,3252	127,1413	-0,5005	100,5005
101-401	53,1015	152,4139	-1,6677	101,6677	101-401	53,1038	152,4146	-1,6678	101,6678	101-401	53,1025	152,4151	-1,6677	101,6677
101-501	62,8105	163,1547	-2,2073	102,2073	101-501	62,8131	163,1551	-2,2074	102,2074	101-501	62,8124	163,1569	-2,2070	102,2070
101-601	68,7993	167,7523	-2,1759	102,1759	101-601	68,8022	167,7526	-2,1759	102,1759	101-601	68,8020	167,7543	-2,1757	102,1757
201-301	14,9759	127,1295	3,0634	96,9366	201-301	14,9767	127,1293	3,0638	96,9362	201-301	14,9773	127,1300	3,0641	96,9359
201-401	27,0330	182,0239	-0,7205	100,7205	201-401	27,0338	182,0250	-0,7205	100,7205	201-401	27,0322	182,0269	-0,7208	100,7208
201-501	40,0138	190,7649	-1,7381	101,7381	201-501	40,0150	190,7656	-1,7383	101,7383	201-501	40,0146	190,7685	-1,7380	101,7380
201-601	47,4151	193,5350	-1,7001	101,7001	201-601	47,4166	193,5354	-1,7000	101,7000	201-601	47,4165	193,5377	-1,7000	101,7000
301-401	20,7189	219,0137	-3,1548	103,1548	301-401	20,7198	219,0162	-3,1550	103,1550	301-401	20,7187	219,0226	-3,1559	103,1559
301-501	34,3509	214,6771	-3,3610	103,3610	301-501	34,3521	214,6787	-3,3614	103,3614	301-501	34,3520	214,6831	-3,3612	103,3612
301-601	41,9554	213,4923	-3,0154	103,0154	301-601	41,9568	213,4934	-3,0153	103,0153	301-601	41,9569	213,4967	-3,0155	103,0155
401-501	13,7525	208,1346	-3,6423	103,6423	401-501	13,7528	208,1346	-3,6429	103,6429	401-501	13,7539	208,1369	-3,6410	103,6410
400-601	21,3895	208,1456	-2,8587	102,8587	400-601	21,3900	208,1452	-2,8585	102,8585	400-601	21,3915	208,1462	-2,8579	102,8579
501-601	7,6399	208,1655	-1,4480	101,4480	501-601	7,6402	208,1642	-1,4464	101,4464	501-601	7,6405	208,1629	-1,4480	101,4480



ANEXO 19. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS DE PUNTERÍA FONDO NEGRO).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Placas de puntería con fondo negro (TCA 2003)**

Campaña 2ª respecto 1ª							Código de Colores
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	
101-201	0,0017	0,0009	0,0005	0,0002	-0,0001	54	n ≤ 1 mm.
101-301	0,0026	0,0006	0,0004	0,0000	0,0000	55	1 < n ≤ 2 mm.
101-401	0,0023	0,0007	0,0006	0,0001	-0,0001	43	2 < n ≤ 3 mm.
101-501	0,0026	0,0004	0,0004	0,0002	-0,0002	41	3 < n ≤ 4 mm.
101-601	0,0029	0,0002	0,0002	0,0000	0,0000	42	4 < n ≤ 5 mm.
201-301	0,0009	-0,0002	-0,0001	-0,0003	0,0001	59	5 < n ≤ 10 mm.
201-401	0,0008	0,0011	0,0005	0,0000	0,0000	31	10 < n ≤ 20 mm.
201-501	0,0012	0,0007	0,0005	0,0002	-0,0001	30	20 < n ≤ 40 mm.
201-601	0,0015	0,0004	0,0003	-0,0001	0,0001	32	n > 40 mm.
301-401	0,0009	0,0025	0,0008	0,0002	-0,0001	44	
301-501	0,0012	0,0016	0,0008	0,0003	-0,0002	34	
301-601	0,0014	0,0011	0,0007	0,0000	0,0000	33	
401-501	0,0003	0,0000	0,0000	0,0006	-0,0001	23	
400-601	0,0006	-0,0004	-0,0001	-0,0002	0,0001	27	
501-601	0,0003	-0,0013	-0,0002	-0,0017	0,0002	34	

Campaña 3ª respecto 2ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
101-201	0,0002	0,0012	0,0006	-0,0006	0,0003	7
101-301	0,0008	0,0010	0,0007	-0,0005	0,0004	17
101-401	-0,0013	0,0005	0,0004	-0,0001	0,0001	-25
101-501	-0,0007	0,0018	0,0018	-0,0005	0,0005	-11
101-601	-0,0002	0,0018	0,0019	-0,0002	0,0003	-3
201-301	0,0006	0,0007	0,0002	-0,0003	0,0001	38
201-401	-0,0016	0,0019	0,0008	0,0003	-0,0001	-59
201-501	-0,0005	0,0029	0,0018	-0,0003	0,0002	-12
201-601	-0,0001	0,0023	0,0017	0,0000	0,0000	-1
301-401	-0,0011	0,0064	0,0021	0,0009	-0,0003	-54
301-501	-0,0001	0,0044	0,0024	-0,0002	0,0001	-2
301-601	0,0002	0,0033	0,0022	0,0001	-0,0001	5
401-501	0,0011	0,0023	0,0005	-0,0019	0,0004	83
400-601	0,0015	0,0010	0,0003	-0,0006	0,0002	69
501-601	0,0003	-0,0013	-0,0002	0,0016	-0,0002	41

Campaña 3ª respecto 1ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
101-201	0,0019	0,0021	0,0010	-0,0004	0,0002	61
101-301	0,0034	0,0016	0,0012	-0,0005	0,0004	72
101-401	0,0009	0,0012	0,0010	0,0000	0,0000	17
101-501	0,0019	0,0022	0,0022	-0,0003	0,0003	30
101-601	0,0027	0,0020	0,0021	-0,0003	0,0003	39
201-301	0,0015	0,0005	0,0001	-0,0007	0,0002	97
201-401	-0,0007	0,0030	0,0013	0,0003	-0,0001	-27
201-501	0,0007	0,0036	0,0022	-0,0002	0,0001	18
201-601	0,0015	0,0027	0,0020	-0,0001	0,0001	31
301-401	-0,0002	0,0089	0,0029	0,0011	-0,0004	-10
301-501	0,0011	0,0060	0,0032	0,0002	-0,0001	32
301-601	0,0016	0,0044	0,0029	0,0001	-0,0001	38
401-501	0,0015	0,0023	0,0005	-0,0013	0,0003	106
400-601	0,0020	0,0005	0,0002	-0,0008	0,0003	95
501-601	0,0006	-0,0026	-0,0003	0,0000	0,0000	76



ANEXO 20. VECTORES ENTRE ESFERAS DE PUNTERIA.

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**  
**Entre esferas (TCA 2003)**

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
102-202	31,1026	127,1995	-0,7575	100,7575	31,1043	127,2017	-0,7555	100,7555	31,1047	127,2024	-0,7560	100,7560
102-302	46,3397	127,1422	-0,4988	100,4988	46,3420	127,1430	-0,4976	100,4976	46,3430	127,1441	-0,4971	100,4971
102-402	52,4825	152,2028	-1,4704	101,4704	52,4847	152,2033	-1,4693	101,4693	52,4838	152,2034	-1,4697	101,4697
102-502	62,3184	163,1888	-1,4882	101,4882	62,3217	163,1897	-1,4880	101,4880	62,3218	163,1909	-1,4879	101,4879
102-602	68,7724	168,1515	-1,9576	101,9576	68,7756	168,1515	-1,9571	101,9571	68,7756	168,1533	-1,9571	101,9571
202-302	15,2379	127,0252	0,0293	99,9707	15,2384	127,0232	0,0287	99,9713	15,2391	127,0250	0,0316	99,9684
202-402	26,5668	181,7946	-2,0181	102,0181	26,5670	181,7948	-2,0181	102,0181	26,5657	181,7959	-2,0184	102,0184
202-502	39,7189	190,7551	-1,7417	101,7417	39,7204	190,7555	-1,7431	101,7431	39,7205	190,7574	-1,7425	101,7425
202-602	47,6898	193,7550	-2,3291	102,3291	47,6910	193,7548	-2,3297	102,3297	47,6913	193,7573	-2,3293	102,3293
302-402	20,2538	220,4693	-2,6695	102,6695	20,2544	220,4710	-2,6691	102,6691	20,2532	220,4765	-2,6716	102,6716
302-502	34,0164	215,3912	-2,0469	102,0469	34,0183	215,3918	-2,0482	102,0482	34,0183	215,3948	-2,0488	102,0488
302-602	42,2087	214,0282	-2,6423	102,6423	42,2102	214,0283	-2,6427	102,6427	42,2106	214,0317	-2,6434	102,6434
402-502	13,9230	208,0006	-1,1180	101,1180	13,9243	208,0001	-1,1218	101,1218	13,9257	208,0008	-1,1198	101,1198
402-602	22,1528	208,1412	-2,5938	102,5938	22,1538	208,1399	-2,5950	102,5950	22,1555	208,1422	-2,5939	102,5939
502-602	8,2400	208,3795	-5,0879	105,0879	8,2396	208,3770	-5,0849	105,0849	8,2399	208,3819	-5,0857	105,0857



ANEXO 21. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (ESFERAS DE PUNTERÍA).

Sistema Topocéntrico Horizontal

Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)

Esferas (TCA 2003)

Campaña 2ª respecto 1ª							Código de Colores
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	
100-200	0,0017	0,0022	0,0011	-0,0020	0,0010	56	n ≤ 1 mm.
100-300	0,0023	0,0008	0,0006	-0,0011	0,0008	49	1 < n ≤ 2 mm.
100-400	0,0021	0,0006	0,0005	-0,0012	0,0010	41	2 < n ≤ 3 mm.
100-500	0,0033	0,0009	0,0008	-0,0002	0,0002	52	3 < n ≤ 4 mm.
100-600	0,0032	0,0001	0,0001	-0,0005	0,0006	47	4 < n ≤ 5 mm.
200-300	0,0005	-0,0021	-0,0005	0,0005	-0,0001	35	5 < n ≤ 10 mm.
200-400	0,0002	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	7	10 < n ≤ 20 mm.
200-500	0,0015	0,0004	0,0003	0,0013	-0,0008	37	20 < n ≤ 40 mm.
200-600	0,0012	-0,0003	-0,0002	0,0005	-0,0004	25	n > 40 mm.
300-400	0,0006	0,0017	0,0005	-0,0004	0,0001	30	
300-500	0,0019	0,0006	0,0003	0,0013	-0,0007	55	
300-600	0,0015	0,0001	0,0001	0,0004	-0,0003	35	
400-500	0,0013	-0,0005	-0,0001	0,0038	-0,0008	94	
400-600	0,0009	-0,0013	-0,0004	0,0012	-0,0004	43	
500-600	-0,0004	-0,0025	-0,0003	-0,0030	0,0004	-48	

Campaña 3ª respecto 2ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100-200	0,0003	0,0007	0,0003	0,0005	-0,0002	11
100-300	0,0010	0,0011	0,0008	-0,0006	0,0004	22
100-400	-0,0009	0,0000	0,0000	0,0004	-0,0003	-17
100-500	0,0001	0,0013	0,0012	-0,0001	0,0001	1
100-600	0,0000	0,0018	0,0019	0,0000	0,0000	1
200-300	0,0007	0,0018	0,0004	-0,0028	0,0007	44
200-400	-0,0013	0,0011	0,0005	0,0003	-0,0001	-48
200-500	0,0001	0,0019	0,0012	-0,0006	0,0004	3
200-600	0,0003	0,0025	0,0019	-0,0003	0,0002	7
300-400	-0,0012	0,0055	0,0017	0,0025	-0,0008	-61
300-500	0,0000	0,0030	0,0016	0,0006	-0,0003	1
300-600	0,0004	0,0034	0,0022	0,0007	-0,0004	8
400-500	0,0014	0,0008	0,0002	-0,0020	0,0004	101
400-600	0,0017	0,0023	0,0008	-0,0010	0,0004	77
500-600	0,0003	0,0049	0,0006	0,0008	-0,0001	36

Campaña 3ª respecto 1ª						
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
100-200	0,0021	0,0029	0,0014	-0,0015	0,0007	67
100-300	0,0033	0,0019	0,0014	-0,0017	0,0013	71
100-400	0,0012	0,0006	0,0005	-0,0008	0,0006	24
100-500	0,0033	0,0021	0,0021	-0,0003	0,0003	54
100-600	0,0032	0,0019	0,0020	-0,0005	0,0006	47
200-300	0,0012	-0,0002	-0,0001	-0,0023	0,0005	79
200-400	-0,0011	0,0013	0,0005	0,0003	-0,0001	-41
200-500	0,0016	0,0024	0,0015	0,0008	-0,0005	40
200-600	0,0015	0,0022	0,0017	0,0002	-0,0002	32
300-400	-0,0006	0,0072	0,0023	0,0020	-0,0006	-31
300-500	0,0019	0,0037	0,0020	0,0019	-0,0010	56
300-600	0,0018	0,0035	0,0023	0,0011	-0,0007	43
400-500	0,0027	0,0002	0,0000	0,0018	-0,0004	195
400-600	0,0026	0,0010	0,0004	0,0001	0,0000	119
500-600	-0,0001	0,0024	0,0003	-0,0022	0,0003	-11



ANEXOS

**ANEXO 22. TRIMBLE. ESTACIÓN B-4000: COORDENADAS. DIFERENCIAS ENTRE CAMPAÑAS.**

Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000									
Escáner Láser Trimble GX Estación B-4000									
Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
100 V	7,7976	60,4587	4,4491	7,8076	60,4564	4,4478	7,7838	60,4580	4,4570
101 N	7,9893	60,3725	4,8207	8,0185	60,3577	4,8011	7,9761	60,3679	4,8176
102 p	8,2458	60,2025	4,4410	8,2560	60,1983	4,4401	8,2305	60,1995	4,4496
200 V	36,1983	47,5518	3,9025	36,2016	47,5487	3,8766	36,1907	47,5541	3,9112
201 N	36,5429	47,3986	3,7364	36,5503	47,3919	3,6988	36,5470	47,3909	3,7416
202 G	36,5502	47,3068	4,0586	36,5561	47,3009	4,0439	36,5443	47,3047	4,0794
300 V	50,5081	41,0581	4,4435	50,5121	41,0551	4,4081	50,5124	41,0527	4,4522
301 N	50,1588	41,2204	4,4519	50,1641	41,2144	4,4091	50,1583	41,2119	4,4621
302 p	50,4377	41,0368	4,0771	50,4407	41,0311	4,0431	50,4417	41,0270	4,0864
400 V	44,1374	21,9486	3,6561	44,1387	21,9457	3,6262	44,1355	21,9500	3,6569
401 N	44,0740	21,4248	3,4311	44,0753	21,4312	3,3860	44,0692	21,4379	3,4270
402 G	44,0383	21,8311	3,2173	44,0405	21,8285	3,1980	44,0361	21,8328	3,2337
500 V	42,3953	8,3720	2,6339	42,3951	8,3714	2,6035	42,3952	8,3712	2,6360
501 N	42,3244	7,8164	2,6383	42,3235	7,8153	2,5992	42,3218	7,8201	2,6401
502 p	42,2990	8,0198	2,9846	42,2986	8,0173	2,9537	42,2973	8,0184	2,9875
600 V	41,2987	-0,1305	2,6976	41,2991	-0,1304	2,6667	41,3001	-0,1253	2,6988
601 N	41,3473	0,2401	2,4586	41,3472	0,2446	2,4254	41,3485	0,2779	2,4402
602 G	41,2151	-0,1207	2,3170	41,2159	-0,1246	2,2954	41,2155	-0,1228	2,3285
1001	5,5531	36,0529	1,8318	5,5550	36,0527	1,8282	5,5396	36,0581	1,8350
1002	5,5521	36,0479	1,8583	5,5569	36,0472	1,8655	5,5442	36,0550	1,8684
2001	29,8986	26,8113	1,7090	29,8985	26,8109	1,6855	29,8980	26,8097	1,7143
2002	29,8955	26,8072	1,7361	29,8992	26,8064	1,7248	29,8910	26,8151	1,7441
3001	22,3200	3,5290	0,5731	22,3186	3,5290	0,5567	22,3253	3,5309	0,5720
3002	22,3139	3,5290	0,6023	22,3175	3,5266	0,5932	22,3206	3,5390	0,6084
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000									
Escáner Láser Trimble GX Estación B-4000 Diferencias entre campañas									
Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
100 V	0,0099	-0,0023	-0,0013	-0,0238	0,0016	0,0092	-0,0138	-0,0007	0,0079
101 N	0,2922	-0,0148	-0,0195	-0,0424	0,0102	0,0165	-0,0132	-0,0047	-0,0031
102 p	0,0102	-0,0041	-0,0009	-0,0255	0,0012	0,0095	-0,0153	-0,0029	0,0086
200 V	0,0033	-0,0032	-0,0259	-0,0108	0,0054	0,0346	-0,0075	0,0023	0,0087
201 N	0,0074	-0,0067	-0,0376	-0,0033	-0,0010	0,0427	0,0041	-0,0078	0,0052
202 G	0,0059	-0,0060	-0,0147	-0,0118	0,0039	0,0355	-0,0059	-0,0021	0,0209
300 V	0,0040	-0,0030	-0,0354	0,0002	-0,0024	0,0441	0,0043	-0,0054	0,0087
301 N	0,0052	-0,0060	-0,0428	-0,0058	-0,0025	0,0530	-0,0006	-0,0085	0,0102
302 p	0,0029	-0,0057	-0,0340	0,0010	-0,0041	0,0433	0,0040	-0,0099	0,0093
400 V	0,0013	-0,0029	-0,0299	-0,0032	0,0043	0,0308	-0,0019	0,0014	0,0008
401 N	0,0014	0,0064	-0,0451	-0,0061	0,0068	0,0410	-0,0048	0,0132	-0,0041
402 G	0,0022	-0,0026	-0,0193	-0,0044	0,0043	0,0358	-0,0022	0,0017	0,0164
500 V	-0,0002	-0,0006	-0,0304	0,0001	-0,0002	0,0325	-0,0001	-0,0008	0,0021
501 N	-0,0009	-0,0010	-0,0391	-0,0017	0,0048	0,0409	-0,0026	0,0038	0,0018
502 p	-0,0004	-0,0025	-0,0308	-0,0013	0,0011	0,0337	-0,0017	-0,0014	0,0029
600 V	0,0003	0,0001	-0,0309	0,0010	0,0051	0,0321	0,0014	0,0052	0,0012
601 N	-0,0001	0,0045	-0,0332	0,0013	0,0332	0,0147	0,0012	0,0377	-0,0184
602 G	0,0008	-0,0039	-0,0217	-0,0004	0,0018	0,0331	0,0004	-0,0021	0,0114
1001	0,0019	-0,0002	-0,0035	-0,0155	0,0053	0,0067	-0,0136	0,0052	0,0032
1002	0,0048	-0,0007	0,0072	-0,0127	0,0078	0,0029	-0,0079	0,0071	0,0101
2001	-0,0001	-0,0005	-0,0235	-0,0005	-0,0012	0,0287	-0,0006	-0,0017	0,0052
2002	0,0037	-0,0008	-0,0114	-0,0082	0,0087	0,0193	-0,0045	0,0079	0,0079
3001	-0,0014	0,0000	-0,0164	0,0067	0,0019	0,0152	0,0052	0,0019	-0,0011
3002	0,0035	-0,0024	-0,0092	0,0031	0,0123	0,0153	0,0066	0,0099	0,0061
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red-Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.





ANEXO 23. TRIMBLE. ESTACIÓN B-2000: COORDENADAS. DIFERENCIAS ENTRE CAMPAÑAS.

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000					
Escáner Láser Trimble GX				Estación B-2000					
Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
100 V	7,7961	60,4669	4,4635	7,7986	60,4580	4,4472	7,8063	60,4636	4,4505
101 N	7,9943	60,3756	4,8137	7,9969	60,3677	4,8096	8,0006	60,3734	4,8088
102 p	8,2424	60,2009	4,4349	8,2438	60,1993	4,4408	8,2494	60,2065	4,4426
200 V	36,1941	47,5546	3,9027	36,1926	47,5527	3,9039	36,1988	47,5581	3,9067
201 N	36,5459	47,3972	3,7346	36,5461	47,3939	3,7193	36,5479	47,3990	3,7282
202 G	36,5492	47,3052	4,0707	36,5471	47,3039	4,0718	36,5538	47,3070	4,0749
300 V	50,5082	41,0575	4,4432	50,5073	41,0561	4,4445	50,5151	41,0568	4,4482
301 N	50,1617	41,2159	4,4545	50,1626	41,2129	4,4442	50,1682	41,2118	4,4489
302 p	50,4373	41,0326	4,0768	50,4356	41,0321	4,0786	50,4443	41,0314	4,0819
400 V	44,1373	21,9497	3,6571	44,1364	21,9506	3,6584	44,1406	21,9477	3,6605
401 N	44,0737	21,4426	3,4177	44,0711	21,4328	3,4194	44,0744	21,4395	3,4175
402 G	44,0379	21,8310	3,2282	44,0376	21,8323	3,2289	44,0400	21,8297	3,2326
500 V	42,3950	8,3755	2,6315	42,3957	8,3776	2,6338	42,3968	8,3707	2,6358
501 N	42,3239	7,8249	2,6330	42,3239	7,8208	2,6331	42,3231	7,8195	2,6350
502 p	42,2960	8,0186	2,9833	42,2971	8,0190	2,9849	42,2975	8,0119	2,9882
600 V	41,2995	-0,1253	2,6945	41,3027	-0,1250	2,6959	41,3006	-0,1314	2,6979
601 N	41,3475	0,2495	2,4605	41,3510	0,2519	2,4576	41,3467	0,2478	2,4583
602 G	41,2150	-0,1206	2,3230	41,2181	-0,1196	2,3253	41,2153	-0,1286	2,3285
1001	5,5502	36,0542	1,8301	5,5488	36,0531	1,8311	5,5465	36,0603	1,8326
1002	5,5535	36,0535	1,8647	5,5532	36,0512	1,8657	5,5439	36,0480	1,8672
2000	29,8959	26,8089	1,6413	29,8968	26,8093	1,6407	29,8952	26,8072	1,6397
3001	22,3166	3,5301	0,5710	22,3173	3,5299	0,5699	22,3155	3,5241	0,5726
3002	22,3153	3,5341	0,6054	22,3184	3,5335	0,6065	22,3187	3,5270	0,6080
4001	-0,0006	-0,0005	0,0663	-0,0012	-0,0011	0,0677	-0,0030	-0,0027	0,0720
4002	0,0023	0,0030	0,1035	0,0022	0,0025	0,1030	0,0025	-0,0020	0,1060

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000					
Escáner Láser Trimble GX				Estación B-2000					
Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
100 V	0,0025	-0,0089	-0,0163	0,0077	0,0056	0,0032	0,0102	-0,0033	-0,0130
101 N	0,0026	-0,0079	-0,0040	0,0038	0,0057	-0,0008	0,0064	-0,0022	-0,0049
102 p	0,0014	-0,0016	0,0059	0,0055	0,0072	0,0017	0,0069	0,0056	0,0077
200 V	-0,0015	-0,0018	0,0013	0,0062	0,0054	0,0028	0,0047	0,0036	0,0040
201 N	0,0002	-0,0032	-0,0153	0,0018	0,0051	0,0090	0,0021	0,0018	-0,0063
202 G	-0,0021	-0,0013	0,0012	0,0067	0,0031	0,0031	0,0046	0,0018	0,0042
300 V	-0,0009	-0,0015	0,0013	0,0078	0,0007	0,0037	0,0069	-0,0007	0,0051
301 N	0,0009	-0,0031	-0,0103	0,0056	-0,0011	0,0047	0,0065	-0,0041	-0,0057
302 p	-0,0017	-0,0005	0,0018	0,0087	-0,0007	0,0034	0,0070	-0,0012	0,0052
400 V	-0,0009	0,0008	0,0012	0,0042	-0,0029	0,0021	0,0034	-0,0021	0,0034
401 N	-0,0026	-0,0098	0,0017	0,0033	0,0067	-0,0018	0,0007	-0,0032	-0,0001
402 G	-0,0003	0,0013	0,0006	0,0024	-0,0026	0,0037	0,0021	-0,0013	0,0044
500 V	0,0007	0,0020	0,0023	0,0011	-0,0069	0,0020	0,0018	-0,0048	0,0043
501 N	0,0000	-0,0041	0,0001	-0,0008	-0,0013	0,0018	-0,0008	-0,0054	0,0020
502 p	0,0010	0,0003	0,0017	0,0005	-0,0071	0,0032	0,0015	-0,0067	0,0049
600 V	0,0032	0,0003	0,0014	-0,0021	-0,0064	0,0020	0,0011	-0,0061	0,0034
601 N	0,0036	0,0024	-0,0029	-0,0044	-0,0041	0,0007	-0,0008	-0,0017	-0,0022
602 G	0,0031	0,0010	0,0024	-0,0028	-0,0090	0,0032	0,0003	-0,0080	0,0055
1001	-0,0014	-0,0012	0,0011	-0,0023	0,0072	0,0015	-0,0037	0,0060	0,0026
1002	-0,0003	-0,0024	0,0010	-0,0093	-0,0032	0,0016	-0,0096	-0,0056	0,0026
2000	0,0009	0,0004	-0,0006	-0,0016	-0,0021	-0,0010	-0,0007	-0,0017	-0,0016
3001	0,0007	-0,0002	-0,0011	-0,0018	-0,0059	0,0027	-0,0011	-0,0060	0,0016
3002	0,0031	-0,0006	0,0010	0,0003	-0,0065	0,0015	0,0034	-0,0071	0,0026
4001	-0,0006	-0,0006	0,0015	-0,0017	-0,0016	0,0043	-0,0024	-0,0021	0,0058
4002	-0,0001	-0,0005	-0,0005	0,0003	-0,0045	0,0030	0,0002	-0,0050	0,0025

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Red-Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red	20 < n ≤ 40 mm.
Dark Red	n > 40 mm.



ANEXO 24. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE COORDENADAS POR ESTACIONES.

**Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000**  
**Escáner Láser Trimble GX**  
**Diferencias entre coordenadas de Estaciones B-4000 y B-2000**

Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña			Código de Colores
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	
100 V	-0,0015	0,0082	0,0144	-0,0090	0,0016	-0,0006	0,0226	0,0056	-0,0065	n ≤ 1 mm.
101 N	0,0050	0,0030	-0,0070	-0,0217	0,0100	0,0085	0,0245	0,0055	-0,0088	1 < n ≤ 2 mm.
102 p	-0,0034	-0,0016	-0,0061	-0,0122	0,0009	0,0007	0,0189	0,0070	-0,0070	2 < n ≤ 3 mm.
200 V	-0,0042	0,0027	0,0002	-0,0090	0,0040	0,0274	0,0081	0,0040	-0,0045	3 < n ≤ 4 mm.
201 N	0,0030	-0,0014	-0,0018	-0,0042	0,0021	0,0204	0,0009	0,0081	-0,0133	4 < n ≤ 5 mm.
202 G	-0,0010	-0,0016	0,0121	-0,0090	0,0030	0,0279	0,0095	0,0023	-0,0045	5 < n ≤ 10 mm.
300 V	0,0001	-0,0005	-0,0003	-0,0048	0,0010	0,0364	0,0028	0,0041	-0,0040	10 < n ≤ 20 mm.
301 N	0,0028	-0,0044	0,0027	-0,0015	-0,0015	0,0351	0,0099	-0,0001	-0,0132	20 < n ≤ 40 mm.
302 p	-0,0004	-0,0042	-0,0003	-0,0050	0,0010	0,0355	0,0026	0,0044	-0,0044	n > 40 mm.
400 V	-0,0001	0,0011	0,0010	-0,0023	0,0049	0,0322	0,0051	-0,0023	0,0035	
401 N	-0,0002	0,0179	-0,0135	-0,0042	0,0016	0,0333	0,0052	0,0015	-0,0095	
402 G	-0,0004	-0,0002	0,0109	-0,0029	0,0037	0,0309	0,0039	-0,0031	-0,0011	
500 V	-0,0003	0,0035	-0,0024	0,0006	0,0061	0,0303	0,0016	-0,0006	-0,0002	
501 N	-0,0005	0,0085	-0,0053	0,0005	0,0055	0,0340	0,0013	-0,0007	-0,0051	
502 p	-0,0029	-0,0012	-0,0013	-0,0015	0,0016	0,0312	0,0003	-0,0065	0,0007	
600 V	0,0008	0,0052	-0,0031	0,0036	0,0054	0,0292	0,0005	-0,0060	-0,0009	
601 N	0,0002	0,0093	0,0019	0,0039	0,0072	0,0322	-0,0018	-0,0301	0,0181	
602 G	-0,0001	0,0001	0,0059	0,0022	0,0050	0,0300	-0,0002	-0,0058	0,0000	
1001	-0,0029	0,0013	-0,0017	-0,0062	0,0003	0,0029	0,0069	0,0022	-0,0024	
1002	0,0014	0,0056	0,0064	-0,0038	0,0040	0,0002	-0,0003	-0,0070	-0,0011	
3001	-0,0035	0,0011	-0,0020	-0,0014	0,0010	0,0132	-0,0098	-0,0068	0,0007	
3002	0,0013	0,0051	0,0031	0,0009	0,0069	0,0133	-0,0019	-0,0119	-0,0004	



ANEXO 25. TRIMBLE (B-4000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS PEQUEÑAS.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal					
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)					
Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)						Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)					
Escáner Láser Trimble GX Estación B-4000						Escáner Láser Trimble GX Estación B-4000					
1ª campaña						Campaña 2ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. v (g)	diff. Z (m)
4000-1001	36,5240	0,1528	9,7292	0,0502	3,1941	96,8059	-0,0001	0,0033	0,0019	0,0062	-0,0035
4000-2001	40,1957	0,8398	53,4623	0,0425	2,7076	97,2924	-0,0014	0,0005	0,0003	0,0371	-0,0235
4000-3001	22,6046	1,4140	90,0171	0,0254	1,6142	98,3858	-0,0018	-0,0005	-0,0002	0,0459	-0,0163
1001-2001	26,0408	1,9336	123,0965	-0,0047	-0,3001	100,3001	-0,0017	0,0025	0,0010	0,0488	-0,0200
1001-3001	36,6131	2,6656	169,6975	-0,0344	-2,1890	102,1890	-0,0012	0,0050	0,0029	0,0224	-0,0129
2001-3001	24,5111	-2,8269	220,0338	-0,0464	-2,9514	102,9514	-0,0003	0,0036	0,0014	-0,0185	0,0071
2ª campaña						Campaña 3ª respecto 2ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. v (g)	diff. Z (m)
4000-1001	36,5240	0,1529	9,7326	0,0501	3,1880	96,8120	0,0033	-0,0281	-0,0161	-0,0115	0,0066
4000-2001	40,1943	0,8398	53,4628	0,0419	2,6704	97,3296	0,0000	0,0009	0,0005	-0,0456	0,0288
4000-3001	22,6028	1,4140	90,0166	0,0246	1,5682	98,4318	0,0073	-0,0025	-0,0009	-0,0424	0,0150
1001-2001	26,0391	1,9336	123,0989	-0,0055	-0,3489	100,3489	0,0162	0,0020	0,0008	-0,0540	0,0221
1001-3001	36,6119	2,6657	169,7025	-0,0347	-2,2114	102,2114	0,0129	-0,0315	-0,0181	-0,0155	0,0089
2001-3001	24,5107	-2,8268	220,0374	-0,0461	-2,9329	102,9329	-0,0046	-0,0152	-0,0059	0,0357	-0,0137
3ª campaña						Campaña 3ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. v (g)	diff. Z (m)
4000-1001	36,5272	0,1524	9,7045	0,0503	3,1995	96,8005	0,0032	-0,0248	-0,0142	-0,0053	0,0031
4000-2001	40,1943	0,8398	53,4636	0,0427	2,7160	97,2840	-0,0014	0,0013	0,0008	-0,0084	0,0053
4000-3001	22,6100	1,4139	90,0141	0,0253	1,6106	98,3894	0,0054	-0,0030	-0,0011	0,0036	-0,0013
1001-2001	26,0553	1,9337	123,1009	-0,0046	-0,2949	100,2949	0,0145	0,0045	0,0018	-0,0052	0,0021
1001-3001	36,6247	2,6652	169,6710	-0,0345	-2,1959	102,1959	0,0117	-0,0265	-0,0152	0,0069	-0,0039
2001-3001	24,5061	-2,8271	220,0221	-0,0466	-2,9686	102,9686	-0,0049	-0,0116	-0,0045	0,0172	-0,0066

Código de Colores

n ≤ 1 mm.	
1 < n ≤ 2 mm.	
2 < n ≤ 3 mm.	
3 < n ≤ 4 mm.	
4 < n ≤ 5 mm.	
5 < n ≤ 10 mm.	
10 < n ≤ 20 mm.	
20 < n ≤ 40 mm.	
n > 40 mm.	



ANEXO 26. TRIMBLE (B-4000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS GRANDES.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal						
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)						
Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						
Escáner Láser Trimble GX Estación B-4000						Escáner Láser Trimble GX Estación B-4000						
<b>1ª campaña</b>						<b>Campaña 2ª respecto 1ª</b>						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)
4000-1002	36,5203	0,1528	9,7288	0,0509	3,2407	96,7593	4000-1002	0,0004	0,0085	0,0049	-0,0125	0,0072
4000-2002	40,1918	0,8398	53,4639	0,0432	2,7508	97,2492	4000-2002	0,0018	0,0048	0,0030	0,0181	-0,0115
4000-3002	22,5993	1,4139	90,0143	0,0267	1,6969	98,3031	4000-3002	0,0029	0,0083	0,0030	0,0260	-0,0092
1002-2002	26,0385	1,9336	123,0964	-0,0047	-0,2986	100,2986	1002-2002	-0,0009	0,0011	0,0005	-0,0454	-0,0186
1002-3002	36,6062	2,6657	169,7013	-0,0343	-2,1847	102,1847	1002-3002	0,0015	0,0034	0,0019	0,0284	-0,0163
2002-3002	24,5079	-2,8267	220,0445	-0,0463	-2,9463	102,9463	2002-3002	0,0015	-0,0009	-0,0004	-0,0060	0,0023
<b>2ª campaña</b>						<b>Campaña 3ª respecto 2ª</b>						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)
4000-1002	36,5207	0,1530	9,7373	0,0511	3,2533	96,7467	4000-1002	0,0059	-0,0241	-0,0138	-0,0045	0,0026
4000-2002	40,1935	0,8399	53,4687	0,0429	2,7327	97,2673	4000-2002	0,0005	-0,0189	-0,0119	-0,0305	0,0193
4000-3002	22,6022	1,4141	90,0226	0,0262	1,6709	98,3291	4000-3002	0,0054	-0,0330	-0,0117	-0,0426	0,0151
1002-2002	26,0376	1,9336	123,0975	-0,0054	-0,3440	100,3440	1002-2002	0,0039	-0,0060	-0,0024	-0,0401	0,0164
1002-3002	36,6077	2,6657	169,7047	-0,0348	-2,2130	102,2130	1002-3002	0,0028	-0,0281	-0,0162	-0,0217	0,0125
2002-3002	24,5094	-2,8267	220,0435	-0,0462	-2,9403	102,9403	2002-3002	-0,0068	-0,0249	-0,0096	0,0112	-0,0043
<b>3ª campaña</b>						<b>Campaña 3ª respecto 1ª</b>						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)
4000-1002	36,5266	0,1526	9,7133	0,0512	3,2578	96,7422	4000-1002	0,0063	-0,0156	-0,0089	-0,0171	0,0098
4000-2002	40,1941	0,8396	53,4498	0,0434	2,7632	97,2368	4000-2002	0,0023	-0,0141	-0,0089	-0,0124	0,0078
4000-3002	22,6076	1,4136	89,9896	0,0269	1,7135	98,2865	4000-3002	0,0083	-0,0247	-0,0088	-0,0166	0,0059
1002-2002	26,0414	1,9335	123,0915	-0,0048	-0,3039	100,3039	1002-2002	0,0030	-0,0049	-0,0020	0,0053	-0,0022
1002-3002	36,6105	2,6653	169,6766	-0,0344	-2,1913	102,1913	1002-3002	0,0043	-0,0248	-0,0143	0,0066	-0,0038
2002-3002	24,5027	-2,8271	220,0186	-0,0464	-2,9516	102,9516	2002-3002	-0,0052	-0,0259	-0,0100	0,0053	-0,0020

Código de Colores

n ≤ 1 mm.	White
1 < n ≤ 2 mm.	Light Green
2 < n ≤ 3 mm.	Green
3 < n ≤ 4 mm.	Light Blue
4 < n ≤ 5 mm.	Yellow
5 < n ≤ 10 mm.	Orange
10 < n ≤ 20 mm.	Dark Orange
20 < n ≤ 40 mm.	Red
n > 40 mm.	Dark Red



ANEXO 27. TRIMBLE (B-2000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS PEQUEÑAS.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal						
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						
Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)						Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)						
Escáner Láser Trimble GX Estación B-2000						Escáner Láser Trimble GX Estación B-2000						
1ª campaña						2ª campaña						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1001	26,0427	-1,2079	323,1048	0,0072	0,4615	99,5385	2000-1001	0,0016	-0,0056	-0,0023	-0,0041	0,0017
2000-3001	24,5050	-2,8268	220,0385	-0,0437	-2,7813	102,7813	2000-3001	0,0006	0,0001	0,0000	0,0012	-0,0005
2000-4001	40,1874	-2,3018	253,4623	-0,0392	-2,4957	102,4957	2000-4001	0,0017	0,0005	0,0003	-0,0034	0,0021
1001-3001	36,6131	2,6656	169,6985	-0,0344	-2,1896	102,1896	1001-3001	0,0001	-0,0041	-0,0023	0,0038	-0,0022
1001-4001	36,5222	-2,9888	209,7248	-0,0483	-3,0757	103,0757	1001-4001	-0,0007	-0,0012	-0,0007	-0,0006	0,0003
3001-4001	22,6004	-1,7277	290,0113	-0,0223	-1,4220	101,4220	3001-4001	0,0013	-0,0006	-0,0002	-0,0073	0,0026
2ª campaña						3ª campaña						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1001	26,0443	-1,2080	323,0992	0,0073	0,4656	99,5344	2000-1001	0,0040	0,0207	0,0085	-0,0060	0,0024
2000-3001	24,5057	-2,8268	220,0386	-0,0437	-2,7825	102,7825	2000-3001	0,0034	-0,0024	-0,0009	-0,0100	0,0038
2000-4001	40,1891	-2,3018	253,4628	-0,0391	-2,4923	102,4923	2000-4001	-0,0005	0,0009	0,0005	-0,0084	0,0053
1001-3001	36,6132	2,6656	169,6945	-0,0345	-2,1934	102,1934	1001-3001	0,0118	0,0096	0,0055	-0,0028	0,0016
1001-4001	36,5214	-2,9889	209,7236	-0,0483	-3,0751	103,0751	1001-4001	0,0084	-0,0033	-0,0019	-0,0057	0,0033
3001-4001	22,6017	-1,7277	290,0108	-0,0222	-1,4147	101,4147	3001-4001	-0,0008	0,0119	0,0042	-0,0045	0,0016
3ª campaña						Campaña 3ª respecto 1ª						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1001	26,0484	-1,2076	323,1199	0,0074	0,4715	99,5285	2000-1001	0,0056	0,0150	0,0062	-0,0101	0,0041
2000-3001	24,5091	-2,8269	220,0361	-0,0436	-2,7725	102,7725	2000-3001	0,0041	-0,0024	-0,0009	-0,0088	0,0034
2000-4001	40,1887	-2,3018	253,4636	-0,0390	-2,4839	102,4839	2000-4001	0,0013	0,0013	0,0008	-0,0118	0,0075
1001-3001	36,6250	2,6657	169,7041	-0,0344	-2,1906	102,1906	1001-3001	0,0119	0,0055	0,0032	0,0010	-0,0006
1001-4001	36,5299	-2,9889	209,7203	-0,0482	-3,0694	103,0694	1001-4001	0,0077	-0,0045	-0,0026	-0,0063	0,0036
3001-4001	22,6009	-1,7275	290,0227	-0,0222	-1,4101	101,4101	3001-4001	0,0006	0,0114	0,0040	-0,0119	0,0042

Código de Colores

n ≤ 1 mm.	
1 < n ≤ 2 mm.	Light Green
2 < n ≤ 3 mm.	Light Blue
3 < n ≤ 4 mm.	Light Yellow
4 < n ≤ 5 mm.	Light Orange
5 < n ≤ 10 mm.	Light Red
10 < n ≤ 20 mm.	Orange
20 < n ≤ 40 mm.	Red
n > 40 mm.	Dark Red



ANEXO 28. TRIMBLE (B-2000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS GRANDES.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal						
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)						
Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						
Escáner Láser Trimble GX Estación B-2000						Escáner Láser Trimble GX Estación B-2000						
1ª campaña						Campaña 2ª respecto 1ª						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1002	26,0397	-1,2078	323,1061	0,0086	0,5462	99,4538	2000-1002	0,0002	-0,0074	-0,0030	-0,0039	0,0016
2000-3002	24,5001	-2,8267	220,0450	-0,0423	-2,6924	102,6924	2000-3002	0,0002	-0,0063	-0,0024	-0,0043	0,0016
2000-4002	40,1815	-2,3018	253,4634	-0,0383	-2,4370	102,4370	2000-4002	0,0013	0,0000	0,0000	-0,0002	0,0001
1002-3002	36,6068	2,6657	169,7019	-0,0344	-2,1903	102,1903	1002-3002	0,0000	-0,0067	-0,0038	0,0000	0,0000
1002-4002	36,5180	-2,9888	209,7266	-0,0482	-3,0715	103,0715	1002-4002	-0,0018	0,0001	0,0001	0,0028	-0,0016
3002-4002	22,5963	-1,7278	290,0080	-0,0222	-1,4143	101,4143	3002-4002	0,0032	0,0017	0,0006	0,0042	-0,0015
2ª campaña						Campaña 3ª respecto 2ª						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1002	26,0398	-1,2080	323,0987	0,0086	0,5501	99,4499	2000-1002	0,0069	-0,0092	-0,0038	-0,0061	0,0025
2000-3002	24,5003	-2,8268	220,0387	-0,0422	-2,6881	102,6881	2000-3002	0,0035	-0,0082	-0,0032	-0,0070	0,0027
2000-4002	40,1829	-2,3018	253,4634	-0,0383	-2,4368	102,4368	2000-4002	0,0000	-0,0047	-0,0030	-0,0063	0,0040
1002-3002	36,6068	2,6656	169,6952	-0,0344	-2,1903	102,1903	1002-3002	0,0073	-0,0123	-0,0071	-0,0004	0,0002
1002-4002	36,5162	-2,9888	209,7267	-0,0483	-3,0743	103,0743	1002-4002	-0,0003	-0,0169	-0,0097	-0,0025	0,0014
3002-4002	22,5994	-1,7277	290,0097	-0,0223	-1,4185	101,4185	3002-4002	-0,0003	0,0057	0,0020	-0,0041	0,0014
3ª campaña						Campaña 3ª respecto 1ª						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1002	26,0467	-1,2081	323,0895	0,0087	0,5562	99,4438	2000-1002	0,0070	-0,0166	-0,0068	-0,0100	0,0041
2000-3002	24,5038	-2,8270	220,0305	-0,0421	-2,6811	102,6811	2000-3002	0,0037	-0,0145	-0,0056	-0,0113	0,0043
2000-4002	40,1829	-2,3019	253,4586	-0,0382	-2,4305	102,4305	2000-4002	0,0014	-0,0048	-0,0030	-0,0065	0,0041
1002-3002	36,6141	2,6654	169,6829	-0,0344	-2,1899	102,1899	1002-3002	0,0073	-0,0190	-0,0109	-0,0005	0,0003
1002-4002	36,5159	-2,9891	209,7098	-0,0483	-3,0718	103,0718	1002-4002	-0,0021	-0,0168	-0,0096	0,0004	-0,0002
3002-4002	22,5991	-1,7276	290,0154	-0,0222	-1,4144	101,4144	3002-4002	0,0028	0,0074	0,0026	0,0001	0,0000

Código de Colores

□	n ≤ 1 mm.
□	1 < n ≤ 2 mm.
□	2 < n ≤ 3 mm.
□	3 < n ≤ 4 mm.
□	4 < n ≤ 5 mm.
□	5 < n ≤ 10 mm.
□	10 < n ≤ 20 mm.
□	20 < n ≤ 40 mm.
□	n > 40 mm.



ANEXO 29. TRIMBLE. ESCANEADO DESDE B-4000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Estación B-400 Trimble GX

1ª campaña					2ª campaña					3ª campaña				
Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100 V	61,1216	8,1657	4,6381	95,3619	100 V	61,1205	8,1763	4,6368	95,3632	100 V	61,1198	8,1514	4,6465	95,3535
101 N	61,0894	8,3759	5,0289	94,9711	101 N	61,0770	8,4083	5,0095	94,9905	101 N	61,0828	8,3629	5,0262	94,9738
102 p	60,9266	8,6657	4,6445	95,3555	102 p	60,9239	8,6769	4,6438	95,3562	102 p	60,9223	8,6503	4,6538	95,3462
200 V	59,8892	41,4220	4,1512	95,8488	200 V	59,8870	41,4268	4,1238	95,8762	200 V	59,8871	41,4141	4,1607	95,8393
201 N	59,9664	41,8124	3,9692	96,0308	201 N	59,9633	41,8230	3,9295	96,0705	201 N	59,9631	41,8209	3,9749	96,0251
202 G	59,9193	41,8782	4,3154	95,6846	202 G	59,9172	41,8871	4,2999	95,7001	202 G	59,9155	41,8746	4,3379	95,6621
300 V	65,2425	56,5470	4,3392	95,6608	300 V	65,2413	56,5518	4,3046	95,6954	300 V	65,2430	56,5537	4,3477	95,6523
301 N	65,0757	56,2075	4,3586	95,6414	301 N	65,0730	56,2153	4,3168	95,6832	301 N	65,0706	56,2136	4,3689	95,6311
302 p	65,1507	56,5197	3,9865	96,0135	302 p	65,1472	56,5259	3,9534	96,0466	302 p	65,1481	56,5296	3,9958	96,0042
400 V	49,4289	70,6219	4,7132	95,2868	400 V	49,4266	70,6261	4,6748	95,3252	400 V	49,4279	70,6193	4,7144	95,2856
401 N	49,1255	71,1946	4,4500	95,5500	401 N	49,1263	71,1879	4,3914	95,6086	401 N	49,1266	71,1766	4,4446	95,5554
402 G	49,2577	70,7011	4,1611	95,8389	402 G	49,2572	70,7054	4,1361	95,8639	402 G	49,2576	70,6978	4,1824	95,8176
500 V	43,2942	87,5880	3,8754	96,1246	500 V	43,2921	87,5888	3,8308	96,1692	500 V	43,2941	87,5892	3,8785	96,1215
501 N	43,1208	88,3741	3,8975	96,1025	501 N	43,1174	88,3753	3,8400	96,1600	501 N	43,1191	88,3679	3,9003	96,0997
502 p	43,1559	88,0714	4,4062	95,5938	502 p	43,1529	88,0749	4,3609	95,6391	502 p	43,1541	88,0730	4,4107	95,5893
600 V	41,3869	100,2012	4,1524	95,8476	600 V	41,3853	100,2010	4,1049	95,8951	600 V	41,3884	100,1932	4,1541	95,8459
601 N	41,4210	99,6302	3,7810	96,2190	601 N	41,4190	99,6233	3,7301	96,2699	601 N	41,4213	99,5722	3,7526	96,2474
602 G	41,2803	100,1864	3,5752	96,4248	602 G	41,2800	100,1924	3,5417	96,4583	602 G	41,2814	100,1897	3,5927	96,4073



ANEXOS

ANEXO 30. TRIMBLE. DIFERENCIAS ESCANEO B-4000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Estación B-4000 Trimble GX**

Pto.	Campaña 2ª respecto 1ª					Código de Colores
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100 V	-0,0011	0,0106	0,0102	0,0013	-0,0012	n ≤ 1 mm.
101 N	-0,0124	0,0323	0,0310	0,0194	-0,0186	1 < n ≤ 2 mm.
102 p	-0,0027	0,0112	0,0107	0,0007	-0,0007	2 < n ≤ 3 mm.
200 V	-0,0022	0,0048	0,0045	0,0274	-0,0258	3 < n ≤ 4 mm.
201 N	-0,0031	0,0106	0,0100	0,0398	-0,0375	4 < n ≤ 5 mm.
202 G	-0,0021	0,0089	0,0083	0,0155	-0,0146	5 < n ≤ 10 mm.
300 V	-0,0012	0,0048	0,0049	0,0346	-0,0355	10 < n ≤ 20 mm.
301 N	-0,0027	0,0078	0,0080	0,0418	-0,0427	20 < n ≤ 40 mm.
302 p	-0,0035	0,0062	0,0063	0,0331	-0,0339	n > 40 mm.
400 V	-0,0023	0,0041	0,0032	0,0384	-0,0298	
401 N	0,0009	-0,0067	-0,0052	0,0587	-0,0453	
402 G	-0,0005	0,0043	0,0033	0,0250	-0,0194	
500 V	-0,0021	0,0008	0,0005	0,0445	-0,0303	
501 N	-0,0034	0,0013	0,0009	0,0576	-0,0390	
502 p	-0,0030	0,0035	0,0024	0,0453	-0,0307	
600 V	-0,0017	-0,0001	-0,0001	0,0475	-0,0309	
601 N	-0,0020	-0,0069	-0,0045	0,0509	-0,0331	
602 G	-0,0004	0,0060	0,0039	0,0334	-0,0217	

Pto.	Campaña 3ª respecto 2ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	-0,0007	-0,0248	-0,0238	-0,0097	0,0093
101 N	0,0058	-0,0454	-0,0435	-0,0167	0,0161
102 p	-0,0016	-0,0267	-0,0255	-0,0101	0,0096
200 V	0,0000	-0,0127	-0,0119	-0,0369	0,0347
201 N	-0,0002	-0,0021	-0,0020	-0,0455	0,0428
202 G	-0,0017	-0,0125	-0,0117	-0,0380	0,0357
300 V	0,0017	0,0019	0,0020	-0,0431	0,0441
301 N	-0,0024	-0,0017	-0,0017	-0,0521	0,0533
302 p	0,0009	0,0038	0,0038	-0,0424	0,0434
400 V	0,0013	-0,0068	-0,0053	-0,0396	0,0307
401 N	0,0003	-0,0114	-0,0088	-0,0532	0,0411
402 G	0,0003	-0,0075	-0,0058	-0,0463	0,0358
500 V	0,0021	0,0003	0,0002	-0,0477	0,0324
501 N	0,0017	-0,0075	-0,0051	-0,0603	0,0409
502 p	0,0012	-0,0019	-0,0013	-0,0498	0,0337
600 V	0,0031	-0,0078	-0,0051	-0,0492	0,0320
601 N	0,0023	-0,0511	-0,0333	-0,0225	0,0146
602 G	0,0015	-0,0027	-0,0018	-0,0510	0,0331

Pto.	Campaña 3ª respecto 1ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	-0,0018	-0,0142	-0,0137	-0,0084	0,0081
101 N	-0,0066	-0,0130	-0,0125	0,0027	-0,0026
102 p	-0,0043	-0,0155	-0,0148	-0,0094	0,0090
200 V	-0,0022	-0,0079	-0,0074	-0,0094	0,0089
201 N	-0,0033	0,0085	0,0080	-0,0057	0,0054
202 G	-0,0038	-0,0036	-0,0034	-0,0225	0,0212
300 V	0,0005	0,0067	0,0069	-0,0085	0,0087
301 N	-0,0051	0,0061	0,0062	-0,0104	0,0106
302 p	-0,0026	0,0099	0,0102	-0,0093	0,0095
400 V	-0,0010	-0,0026	-0,0021	-0,0012	0,0009
401 N	0,0012	-0,0181	-0,0140	0,0054	-0,0042
402 G	-0,0001	-0,0032	-0,0025	-0,0213	0,0165
500 V	-0,0001	0,0011	0,0008	-0,0032	0,0021
501 N	-0,0017	-0,0062	-0,0042	-0,0028	0,0019
502 p	-0,0017	0,0016	0,0011	-0,0045	0,0031
600 V	0,0014	-0,0080	-0,0052	-0,0017	0,0011
601 N	0,0003	-0,0581	-0,0378	0,0284	-0,0185
602 G	0,0011	0,0033	0,0021	-0,0176	0,0114





ANEXO 31. TRIMBLE. ESCANEADO DESDE B-2000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Estación B-200 Trimble GX

1ª campaña					2ª campaña					3ª campaña				
Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Pto.	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100 V	40,3637	363,0124	4,4549	95,5451	100 V	40,3539	363,0064	4,4311	95,5689	100 V	40,3556	363,0254	4,4377	95,5623
101 N	40,2053	363,1958	5,0285	94,9715	101 N	40,1972	363,1909	5,0240	94,9760	101 N	40,2008	363,2048	5,0239	94,9761
102 p	39,8961	363,3756	4,4614	95,5386	102 p	39,8946	363,3745	4,4720	95,5280	102 p	39,8988	363,3922	4,4760	95,5240
200 V	21,7982	18,7643	6,6164	93,3836	200 V	21,7956	18,7594	6,6227	93,3773	200 V	21,8054	18,7748	6,6307	93,3693
201 N	21,7366	19,8893	6,1403	93,8597	201 N	21,7315	19,8907	6,0985	93,9015	201 N	21,7403	19,8937	6,1254	93,8746
202 G	21,6856	19,9821	7,1469	92,8531	202 G	21,6833	19,9753	7,1529	92,8471	202 G	21,6912	19,9938	7,1624	92,8376
300 V	25,2139	61,4946	7,0891	92,9109	300 V	25,2116	61,4959	7,0947	92,9053	300 V	25,2214	61,5035	7,1039	92,8961
301 N	25,0236	60,6565	7,1723	92,8277	301 N	25,0205	60,6638	7,1483	92,8517	301 N	25,0275	60,6722	7,1607	92,8393
302 p	25,1037	61,4441	6,1861	93,8139	302 p	25,1013	61,4423	6,1928	93,8072	302 p	25,1109	61,4542	6,2015	93,7985
400 V	15,1820	120,9331	8,4779	91,5221	400 V	15,1804	120,9338	8,4866	91,5134	400 V	15,1865	120,9290	8,4964	91,5036
401 N	15,2631	123,0351	7,4261	92,5739	401 N	15,2638	123,0805	7,4354	92,5646	401 N	15,2651	123,0387	7,4313	92,5687
402 G	15,0763	121,5467	6,7135	93,2865	402 G	15,0750	121,5448	6,7194	93,2806	402 G	15,0794	121,5409	6,7376	93,2624
500 V	22,2935	162,0668	2,8285	97,1715	500 V	22,2922	162,0646	2,8371	97,1629	500 V	22,2977	162,0660	2,8448	97,1552
501 N	22,7120	163,0990	2,7807	97,2193	501 N	22,7153	163,1080	2,7824	97,2176	501 N	22,7151	163,1048	2,7903	97,2097
502 p	22,5531	162,8648	3,7904	96,2096	502 p	22,5533	162,8646	3,7967	96,2033	502 p	22,5588	162,8675	3,8078	96,1922
600 V	29,2678	174,5032	2,2914	97,7086	600 V	29,2688	174,4987	2,2957	97,7043	600 V	29,2727	174,5034	2,3020	97,6980
601 N	28,9347	174,0843	1,8028	98,1972	601 N	28,9338	174,0771	1,7978	98,2022	601 N	28,9346	174,0846	1,8014	98,1986
602 G	29,2196	174,6687	1,4853	98,5147	602 G	29,2200	174,6638	1,4918	98,5082	602 G	29,2260	174,6720	1,5006	98,4994



ANEXO 32. TRIMBLE. DIFERENCIAS ESCANEO B-2000 (SEÑALES DE PUNTERÍA).

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Estación B-2000 Trimble GX

Campaña 2ª respecto 1ª					
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	-0,0097	-0,0060	-0,0038	0,0237	-0,0150
101 N	-0,0081	-0,0049	-0,0031	0,0044	-0,0028
102 p	-0,0015	-0,0011	-0,0007	-0,0106	0,0067
200 V	-0,0026	-0,0049	-0,0017	-0,0063	0,0021
201 N	-0,0051	0,0014	0,0005	0,0418	-0,0143
202 G	-0,0023	-0,0067	-0,0023	-0,0060	0,0020
300 V	-0,0023	0,0013	0,0005	-0,0056	0,0022
301 N	-0,0031	0,0073	0,0029	0,0240	-0,0094
302 p	-0,0024	-0,0018	-0,0007	-0,0067	0,0026
400 V	-0,0016	0,0007	0,0002	-0,0087	0,0021
401 N	0,0006	0,0455	0,0109	-0,0093	0,0022
402 G	-0,0013	-0,0019	-0,0005	-0,0059	0,0014
500 V	-0,0013	-0,0022	-0,0008	-0,0086	0,0030
501 N	0,0033	0,0089	0,0032	-0,0016	0,0006
502 p	0,0003	-0,0002	-0,0001	-0,0063	0,0022
600 V	0,0010	-0,0045	-0,0020	-0,0043	0,0020
601 N	-0,0009	-0,0072	-0,0033	0,0050	-0,0023
602 G	0,0004	-0,0049	-0,0023	-0,0065	0,0030

Campaña 3ª respecto 2ª					
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	0,0016	0,0190	0,0121	-0,0065	0,0041
101 N	0,0037	0,0139	0,0088	0,0002	-0,0001
102 p	0,0042	0,0176	0,0111	-0,0039	0,0025
200 V	0,0098	0,0155	0,0053	-0,0081	0,0028
201 N	0,0088	0,0030	0,0010	-0,0269	0,0092
202 G	0,0080	0,0184	0,0063	-0,0094	0,0032
300 V	0,0098	0,0076	0,0030	-0,0093	0,0037
301 N	0,0070	0,0084	0,0033	-0,0125	0,0049
302 p	0,0096	0,0119	0,0047	-0,0088	0,0035
400 V	0,0061	-0,0048	-0,0011	-0,0097	0,0023
401 N	0,0013	-0,0418	-0,0100	0,0041	-0,0010
402 G	0,0044	-0,0038	-0,0009	-0,0182	0,0043
500 V	0,0055	0,0014	0,0005	-0,0078	0,0027
501 N	-0,0002	-0,0031	-0,0011	-0,0080	0,0028
502 p	0,0055	0,0029	0,0010	-0,0110	0,0039
600 V	0,0038	0,0047	0,0021	-0,0063	0,0029
601 N	0,0007	0,0074	0,0034	-0,0036	0,0016
602 G	0,0060	0,0082	0,0038	-0,0088	0,0040

Campaña 3ª respecto 1ª					
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	-0,0081	0,0130	0,0082	0,0172	-0,0109
101 N	-0,0045	0,0090	0,0057	0,0046	-0,0029
102 p	0,0027	0,0166	0,0104	-0,0146	0,0091
200 V	0,0072	0,0105	0,0036	-0,0143	0,0049
201 N	0,0037	0,0044	0,0015	0,0149	-0,0051
202 G	0,0056	0,0117	0,0040	-0,0154	0,0053
300 V	0,0075	0,0089	0,0035	-0,0148	0,0059
301 N	0,0039	0,0157	0,0062	0,0116	-0,0045
302 p	0,0072	0,0101	0,0040	-0,0155	0,0061
400 V	0,0045	-0,0041	-0,0010	-0,0184	0,0044
401 N	0,0019	0,0037	0,0009	-0,0052	0,0012
402 G	0,0031	-0,0058	-0,0014	-0,0241	0,0057
500 V	0,0042	-0,0008	-0,0003	-0,0163	0,0057
501 N	0,0032	0,0058	0,0021	-0,0096	0,0034
502 p	0,0058	0,0027	0,0010	-0,0174	0,0062
600 V	0,0049	0,0002	0,0001	-0,0105	0,0048
601 N	-0,0001	0,0002	0,0001	0,0014	-0,0006
602 G	0,0064	0,0033	0,0015	-0,0152	0,0070

Código de Colores

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.



ANEXO 33. TRIMBLE. VECTORES ENTRE SEÑALES DE PUNTERÍA POR GRUPOS (B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Escáner Trimble Estación B-4000**  
**Distancias geométricas, acimutas y ángulos verticales entre señales de puntería (por grupos)**

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100-101	0,4269	126,8985	67,2358	32,7642	0,4232	127,8619	62,8982	37,1018	0,4185	127,9124	66,1134	33,8866
100-102	0,5163	133,0660	-0,9988	100,9988	0,5175	133,2426	-0,9436	100,9436	0,5162	133,4000	-0,9127	100,9127
101-102	0,4888	137,2734	-56,6371	156,6371	0,4606	137,6229	-57,3487	157,3487	0,4780	137,2182	-55,9364	155,9364
200-201	0,4121	126,6319	-26,4086	126,4086	0,4217	126,8973	-27,7044	127,7044	0,4270	127,3517	-26,0039	126,0039
200-202	0,4563	138,7171	22,2270	77,7730	0,4638	138,8350	23,4972	76,5028	0,4642	139,1050	23,6099	76,3901
201-202	0,3351	194,9378	82,2757	17,7243	0,3569	195,9474	83,5504	16,4496	0,3487	201,9958	84,1020	15,8980
300-301	0,3852	327,6940	1,3817	98,6183	0,3828	327,3253	0,1746	99,8254	0,3883	326,8952	1,6198	98,3802
300-302	0,3737	281,3291	-87,3955	187,3955	0,3727	279,3635	-87,0336	187,0336	0,3735	277,7594	-87,0924	187,0924
301-302	0,5019	137,0574	-53,6710	153,6710	0,4941	137,2598	-53,1187	153,1187	0,5057	136,8023	-53,3215	153,3215
400-401	0,5736	207,6669	-25,6580	125,6580	0,5713	207,7970	-27,6157	127,6157	0,5652	208,1971	-26,6689	126,6689
400-402	0,4649	244,6052	-78,5486	178,5486	0,4547	244,4046	-78,1675	178,1675	0,4502	244,7916	-77,8279	177,8279
401-402	0,4606	394,4197	-30,7347	130,7347	0,4410	394,4277	-28,0483	128,0483	0,4409	394,6747	-28,8916	128,8916
500-501	0,5602	208,0830	0,5046	99,4954	0,5607	208,1556	-0,4916	100,4916	0,5560	208,4327	0,4649	99,5351
500-502	0,5063	216,9925	48,7144	51,2856	0,5073	216,9408	48,5098	51,4902	0,5076	217,2415	48,6948	51,3052
501-502	0,4024	392,0991	65,9663	34,0337	0,4088	392,1977	66,8244	33,1756	0,4008	392,1590	66,7804	33,2196
600-601	0,4437	8,2923	-36,2104	136,2104	0,4485	8,1238	-36,1523	136,1523	0,4815	7,6005	-36,0996	136,0996
600-602	0,3898	307,4653	-86,1355	186,1355	0,3806	304,4772	-85,9394	185,9394	0,3799	301,9245	-85,7025	185,7025
601-602	0,4095	222,3577	-22,4753	122,4753	0,4129	221,7505	-20,4050	120,4050	0,4367	220,3941	-16,4711	116,4711



ANEXO 34. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (SEÑALES POR GRUPOS. B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Escáner Trimble GX Estación B-4000  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos) para señales de puntería por grupos

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª					Código de Colores
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100-101	-0,0037	0,9633	0,0065	4,3376	-0,0291	n ≤ 1 mm. 1 < n ≤ 2 mm. 2 < n ≤ 3 mm. 3 < n ≤ 4 mm. 4 < n ≤ 5 mm. 5 < n ≤ 10 mm. 10 < n ≤ 20 mm. 20 < n ≤ 40 mm. n > 40 mm.
100-102	0,0012	0,1766	0,0014	-0,0552	0,0004	
101-102	-0,0282	0,3495	0,0027	0,7117	-0,0055	
200-201	0,0096	0,2655	0,0017	1,2957	-0,0084	
200-202	0,0075	0,1179	0,0008	-1,2702	0,0091	
201-202	0,0219	1,0096	0,0053	-1,2747	0,0067	
300-301	-0,0024	-0,3687	-0,0022	1,2070	-0,0073	
300-302	-0,0010	-1,9656	-0,0115	-0,3619	0,0021	
301-302	-0,0078	0,2024	0,0016	-0,5523	0,0044	
400-401	-0,0023	0,1301	0,0012	1,9577	-0,0176	
400-402	-0,0103	-0,2006	-0,0015	-0,3811	0,0028	
401-402	-0,0196	0,0080	0,0001	-2,6863	0,0194	
500-501	0,0005	0,0726	0,0006	0,9962	-0,0088	
500-502	0,0010	-0,0518	-0,0004	0,2046	-0,0016	
501-502	0,0064	0,0985	0,0006	-0,8581	0,0054	
600-601	0,0049	-0,1685	-0,0012	-0,0581	0,0004	
600-602	-0,0092	-2,9881	-0,0183	-0,1962	0,0012	
601-602	0,0034	-0,6072	-0,0039	-2,0704	0,0133	

Vector	Campaña 3ª respecto 2ª					Código de Colores
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100-101	-0,0047	0,0505	0,0003	-3,2151	0,0214	
100-102	-0,0013	0,1574	0,0013	-0,0309	0,0003	
101-102	0,0174	-0,4047	-0,0029	-1,4123	0,0102	
200-201	0,0054	0,4543	0,0030	-1,7005	0,0113	
200-202	0,0004	0,2700	0,0020	-0,1128	0,0008	
201-202	-0,0083	6,0484	0,0340	-0,5515	0,0031	
300-301	0,0055	-0,4300	-0,0026	-1,4452	0,0087	
300-302	0,0008	-1,6041	-0,0094	0,0588	-0,0003	
301-302	0,0116	-0,4575	-0,0036	0,2028	-0,0016	
400-401	-0,0061	0,4001	0,0036	-0,9468	0,0085	
400-402	-0,0044	0,3869	0,0028	-0,3396	0,0024	
401-402	-0,0001	0,2470	0,0017	0,8433	-0,0058	
500-501	-0,0047	0,2770	0,0024	-0,9565	0,0084	
500-502	0,0003	0,3008	0,0024	-0,1850	0,0015	
501-502	-0,0081	-0,0386	-0,0002	0,0440	-0,0003	
600-601	0,0329	-0,5234	-0,0037	-0,0527	0,0004	
600-602	-0,0007	-2,5527	-0,0153	-0,2369	0,0014	
601-602	0,0238	-1,3563	-0,0088	-3,9338	0,0255	

Vector	Campaña 3ª respecto 1ª					Código de Colores
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100-101	-0,0084	1,0139	0,0067	1,1224	-0,0074	
100-102	-0,0001	0,3340	0,0027	-0,0861	0,0007	
101-102	-0,0108	-0,0552	-0,0004	-0,7007	0,0053	
200-201	0,0150	0,7198	0,0048	-0,4048	0,0027	
200-202	0,0079	0,3880	0,0028	-1,3830	0,0101	
201-202	0,0136	7,0580	0,0388	-1,8262	0,0100	
300-301	0,0031	-0,7987	-0,0049	-0,2381	0,0015	
300-302	-0,0003	-3,5697	-0,0210	-0,3031	0,0018	
301-302	0,0037	-0,2551	-0,0020	-0,3495	0,0028	
400-401	-0,0084	0,5303	0,0047	1,0109	-0,0090	
400-402	-0,0147	0,1863	0,0013	-0,7207	0,0051	
401-402	-0,0196	0,2550	0,0018	-1,8430	0,0128	
500-501	-0,0042	0,3497	0,0031	0,0397	-0,0003	
500-502	0,0013	0,2490	0,0020	0,0195	-0,0002	
501-502	-0,0016	0,0599	0,0004	-0,8142	0,0051	
600-601	0,0378	-0,6918	-0,0052	-0,1108	0,0008	
600-602	-0,0099	-5,5408	-0,0331	-0,4331	0,0026	
601-602	0,0271	-1,9636	-0,0135	-6,0042	0,0413	



ANEXO 35. TRIMBLE. VECTORES ENTRE SEÑALES DE PUNTERÍA POR GRUPOS (B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Escáner Trimble Estación B-2000**  
**Distancias geométricas, acimuts y ángulos verticales entre señales de puntería (por grupos)**

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100-101	0,4126	127,5029	64,5272	35,4728	0,4229	127,2150	65,5422	34,4578	0,4175	127,6746	65,7027	34,2973
100-102	0,5204	134,2244	-3,5042	103,5042	0,5150	133,5138	-0,7899	100,7899	0,5123	133,4796	-0,9805	100,9805
101-102	0,4854	139,0517	-56,9966	156,9966	0,4747	138,1012	-56,6397	156,6397	0,4731	137,6275	-56,3548	156,3548
200-201	0,4205	126,7808	-26,1910	126,1910	0,4293	126,8744	-28,3118	128,3118	0,4232	127,2258	-27,7168	127,7168
200-202	0,4653	138,9749	23,5180	76,4820	0,4645	138,9572	23,5425	76,4575	0,4662	139,1893	23,4981	76,5019
201-202	0,3485	197,7233	82,9891	17,0109	0,3639	199,2856	84,0834	15,9166	0,3587	195,9333	83,4616	16,5384
300-301	0,3812	327,2956	1,8959	98,1041	0,3787	327,1738	-0,0521	100,0521	0,3800	326,7473	0,1022	99,8978
300-302	0,3740	278,4924	-87,1242	187,1242	0,3736	279,4573	-87,0385	187,0385	0,3739	278,0647	-87,1095	187,1095
301-302	0,5023	137,3607	-54,1905	154,1905	0,4908	137,2222	-53,5016	153,5016	0,4934	136,8373	-53,3812	153,3812
400-401	0,5644	207,9335	-27,8937	127,8937	0,5740	207,9801	-27,3404	127,3404	0,5671	208,2473	-28,1815	128,1815
400-402	0,4560	244,3562	-77,9402	177,9402	0,4563	244,2936	-78,0654	178,0654	0,4551	244,9613	-77,8667	177,8667
401-402	0,4336	394,1378	-28,7899	128,7899	0,4438	394,6664	-28,2403	128,2403	0,4332	394,3993	-28,0761	128,0761
500-501	0,5552	208,1771	0,1777	99,8223	0,5614	208,1655	-0,0748	100,0748	0,5561	208,4584	-0,0893	100,0893
500-502	0,5108	217,2193	48,3670	51,6330	0,5115	217,0916	48,1709	51,8291	0,5126	217,1791	48,2557	51,7443
501-502	0,4013	390,9162	67,5575	32,4425	0,4047	391,4279	67,0922	32,9078	0,4030	391,5865	68,0119	31,9881
600-601	0,4444	8,1063	-35,2976	135,2976	0,4485	8,1303	-35,6556	135,6556	0,4509	7,7020	-35,6694	135,6694
600-602	0,3811	303,5665	-85,7420	185,7420	0,3801	304,0456	-85,6917	185,6917	0,3791	302,0669	-85,5582	185,5582
601-602	0,4164	221,8881	-21,4383	121,4383	0,4161	221,8782	-20,5986	120,5986	0,4192	221,3719	-20,0431	120,0431



ANEXO 36. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (SEÑALES POR GRUPOS. B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Escáner Trimble GX Estación B-2000  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos) para señales de puntería por grupos

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª					Código de Colores
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100-101	0,0103	-0,2879	-0,0019	-1,0150	0,0066	n ≤ 1 mm.
100-102	-0,0054	-0,7106	-0,0058	-2,7143	0,0222	1 < n ≤ 2 mm.
101-102	-0,0106	-0,9505	-0,0072	-0,3569	0,0027	2 < n ≤ 3 mm.
200-201	0,0089	0,0936	0,0006	2,1208	-0,0140	3 < n ≤ 4 mm.
200-202	-0,0007	-0,0178	-0,0001	-0,0246	0,0002	4 < n ≤ 5 mm.
201-202	0,0154	1,5623	0,0086	-1,0943	0,0060	5 < n ≤ 10 mm.
300-301	-0,0025	-0,1217	-0,0007	1,9480	-0,0117	10 < n ≤ 20 mm.
300-302	-0,0004	0,9649	0,0057	-0,0857	0,0005	20 < n ≤ 40 mm.
301-302	-0,0114	-0,1385	-0,0011	-0,6889	0,0054	n > 40 mm.
400-401	0,0096	0,0465	0,0004	-0,5533	0,0049	
400-402	0,0003	-0,0626	-0,0004	0,1252	-0,0009	
401-402	0,0103	0,5286	0,0036	-0,5496	0,0037	
500-501	0,0062	-0,0116	-0,0001	0,2526	-0,0022	
500-502	0,0007	-0,1277	-0,0010	0,1961	-0,0016	
501-502	0,0034	0,5117	0,0032	0,4653	-0,0029	
600-601	0,0041	0,0240	0,0002	0,3581	-0,0025	
600-602	-0,0009	0,4791	0,0029	-0,0503	0,0003	
601-602	-0,0003	-0,0099	-0,0001	-0,8397	0,0055	

Vector	Campaña 3ª respecto 2ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-101	-0,0054	0,4596	0,0031	-0,1605	0,0011
100-102	-0,0027	-0,0342	-0,0003	0,1906	-0,0015
101-102	-0,0016	-0,4738	-0,0035	-0,2849	0,0021
200-201	-0,0061	0,3514	0,0024	-0,5950	0,0040
200-202	0,0017	0,2321	0,0017	0,0444	-0,0003
201-202	-0,0052	-3,3523	-0,0192	0,6218	-0,0036
300-301	0,0013	-0,4265	-0,0025	-0,1543	0,0009
300-302	0,0003	-1,3927	-0,0082	0,0710	-0,0004
301-302	0,0026	-0,3849	-0,0030	-0,1204	0,0009
400-401	-0,0068	0,2672	0,0024	0,8411	-0,0076
400-402	-0,0012	0,6677	0,0048	-0,1986	0,0014
401-402	-0,0106	-0,2671	-0,0019	-0,1642	0,0011
500-501	-0,0053	0,2928	0,0026	0,0145	-0,0001
500-502	0,0011	0,0875	0,0007	-0,0848	0,0007
501-502	-0,0017	0,1586	0,0010	-0,9198	0,0058
600-601	0,0024	-0,4282	-0,0030	0,0138	-0,0001
600-602	-0,0010	-1,9787	-0,0118	-0,1334	0,0008
601-602	0,0031	-0,5063	-0,0033	-0,5556	0,0036

Vector	Campaña 3ª respecto 1ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-101	0,0049	0,1717	0,0011	-1,1755	0,0077
100-102	-0,0081	-0,7448	-0,0060	-2,5237	0,0203
101-102	-0,0122	-1,4242	-0,0106	-0,6417	0,0048
200-201	0,0027	0,4450	0,0030	1,5259	-0,0101
200-202	0,0010	0,2144	0,0016	0,0199	-0,0001
201-202	0,0102	-1,7900	-0,0101	-0,4725	0,0027
300-301	-0,0012	-0,5483	-0,0033	1,7937	-0,0107
300-302	-0,0001	-0,4278	-0,0025	-0,0148	0,0001
301-302	-0,0089	-0,5235	-0,0041	-0,8093	0,0063
400-401	0,0028	0,3138	0,0028	0,2878	-0,0026
400-402	-0,0009	0,6051	0,0043	-0,0734	0,0005
401-402	-0,0004	0,2615	0,0018	-0,7138	0,0049
500-501	0,0009	0,2813	0,0025	0,2670	-0,0023
500-502	0,0018	-0,0401	-0,0003	0,1113	-0,0009
501-502	0,0017	0,6703	0,0042	-0,4545	0,0029
600-601	0,0065	-0,4043	-0,0029	0,3718	-0,0026
600-602	-0,0019	-1,4996	-0,0089	-0,1838	0,0011
601-602	0,0028	-0,5162	-0,0034	-1,3953	0,0092



ANEXO 37. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES POR CAMPAÑAS (GRUPOS DE SEÑALES)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Escáner Trimble GX  
Diferencias entre vectores (señales de puntería por grupos)  
entre estaciones B-4000 y B-2000 por campañas.

1ª Campaña						Código de Colores
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100-101	-0,0143	0,6044	0,0041	2,7086	-0,0182	n ≤ 1 mm.
100-102	0,0041	1,1584	0,0094	2,5054	-0,0203	1 < n ≤ 2 mm.
101-102	-0,0034	1,7783	0,0137	0,3595	-0,0028	2 < n ≤ 3 mm.
200-201	0,0084	0,1490	0,0010	-0,2177	0,0014	3 < n ≤ 4 mm.
200-202	0,0089	0,2579	0,0018	-1,2910	0,0093	4 < n ≤ 5 mm.
201-202	0,0134	2,7855	0,0147	-0,7134	0,0038	5 < n ≤ 10 mm.
300-301	-0,0040	-0,3984	-0,0024	-0,5142	0,0031	10 < n ≤ 20 mm.
300-302	0,0003	-2,8367	-0,0167	-0,2713	0,0016	20 < n ≤ 40 mm.
301-302	0,0003	0,3033	0,0024	0,5195	-0,0041	n > 40 mm.
400-401	-0,0093	0,2667	0,0024	2,2357	-0,0202	
400-402	-0,0090	-0,2490	-0,0018	-0,6085	0,0044	
401-402	-0,0270	-0,2819	-0,0020	-1,9447	0,0141	
500-501	-0,0050	0,0941	0,0008	0,3269	-0,0029	
500-502	0,0045	0,2267	0,0018	0,3474	-0,0028	
501-502	-0,0011	-1,1829	-0,0075	-1,5912	0,0101	
600-601	0,0007	-0,1860	-0,0013	-0,9128	0,0064	
600-602	-0,0087	-3,8987	-0,0239	-0,3935	0,0024	
601-602	0,0069	-0,4696	-0,0030	-1,0370	0,0067	

2ª Campaña					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-101	-0,0003	-0,6469	-0,0043	-2,6440	0,0176
100-102	-0,0025	0,2712	0,0022	-0,1537	0,0012
101-102	0,0142	0,4784	0,0035	-0,7090	0,0051
200-201	0,0076	-0,0229	-0,0002	0,6075	-0,0040
200-202	0,0007	0,1222	0,0009	-0,0454	0,0003
201-202	0,0070	3,3382	0,0187	-0,5330	0,0030
300-301	-0,0041	-0,1514	-0,0009	0,2267	-0,0014
300-302	0,0009	0,0938	0,0005	0,0049	0,0000
301-302	-0,0033	-0,0376	-0,0003	0,3828	-0,0030
400-401	0,0027	0,1831	0,0016	-0,2753	0,0025
400-402	0,0016	-0,1110	-0,0008	-0,1021	0,0007
401-402	0,0028	0,2387	0,0017	0,1920	-0,0013
500-501	0,0007	0,0099	0,0001	-0,4168	0,0037
500-502	0,0042	0,1508	0,0012	0,3389	-0,0027
501-502	-0,0042	-0,7698	-0,0049	-0,2678	0,0017
600-601	-0,0001	0,0064	0,0000	-0,4966	0,0035
600-602	-0,0004	-0,4316	-0,0026	-0,2477	0,0015
601-602	0,0033	0,1277	0,0008	0,1937	-0,0013

3ª Campaña					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-101	-0,0010	-0,2378	-0,0016	0,4107	-0,0027
100-102	-0,0039	0,0796	0,0006	0,0678	-0,0006
101-102	-0,0049	0,4093	0,0031	0,4184	-0,0031
200-201	-0,0039	-0,1259	-0,0008	1,7129	-0,0115
200-202	0,0020	0,0843	0,0006	0,1118	-0,0008
201-202	0,0100	-6,0625	-0,0333	0,6404	-0,0035
300-301	-0,0084	-0,1479	-0,0009	1,5176	-0,0093
300-302	0,0005	0,3053	0,0018	0,0171	-0,0001
301-302	-0,0123	0,0350	0,0003	0,0597	-0,0005
400-401	0,0019	0,0502	0,0004	1,5126	-0,0134
400-402	0,0048	0,1698	0,0012	0,0388	-0,0003
401-402	-0,0077	-0,2754	-0,0019	-0,8155	0,0056
500-501	0,0001	0,0257	0,0002	0,5542	-0,0048
500-502	0,0050	-0,0624	-0,0005	0,4391	-0,0035
501-502	0,0022	-0,5725	-0,0036	-1,2315	0,0078
600-601	-0,0306	0,1016	0,0008	-0,4301	0,0033
600-602	-0,0007	0,1425	0,0009	-0,1442	0,0009
601-602	-0,0174	0,9778	0,0067	3,5719	-0,0245



ANEXO 38. TRIMBLE. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERÍA FONDO VERDE (B-4000)

Sistema Topocéntrico Horizontal						Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Entre placas de puntería con fondo verde (Trimble GX)						Estación B-4000					
1ª campaña						2ª campaña						3ª campaña											
Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)		Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)		Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)							
100-200	31,2007	127,1553	-1,1154	101,1154		100-200	31,1954	127,1625	-1,1657	101,1657		100-200	31,2052	127,1445	-1,1136	101,1136							
100-300	46,9102	127,1436	-0,0075	100,0075		100-300	46,9052	127,1478	-0,0539	100,0539		100-300	46,9286	127,1393	-0,0065	100,0065							
100-400	52,9550	151,8454	-0,9533	100,9533		100-400	52,9500	151,8535	-0,9878	100,9878		100-400	52,9618	151,8333	-0,9617	100,9617							
100-500	62,5565	162,6740	-1,8476	101,8476		100-500	62,5503	162,6816	-1,8773	101,8773		100-500	62,5644	162,6624	-1,8532	101,8532							
100-600	69,2564	167,8454	-1,6102	101,6102		100-600	69,2504	167,8520	-1,6375	101,6375		100-600	69,2588	167,8305	-1,6163	101,6163							
200-300	15,7236	127,1204	2,1910	97,8090		200-300	15,7239	127,1185	2,1523	97,8477		200-300	15,7375	127,1288	2,1890	97,8110							
200-400	26,8070	180,8580	-0,5850	100,5850		200-400	26,8062	180,8624	-0,5947	100,5947		200-400	26,8096	180,8458	-0,6037	100,6037							
200-500	39,6872	190,0134	-2,0353	102,0353		200-500	39,6842	190,0183	-2,0426	102,0426		200-500	39,6915	190,0023	-2,0456	102,0456							
200-600	47,9695	193,2161	-1,5992	101,5992		200-600	47,9661	193,2195	-1,6060	101,6060		200-600	47,9677	193,2039	-1,6092	101,6092							
300-400	20,1588	220,4860	-2,4873	102,4873		300-400	20,1594	220,4943	-2,4698	102,4698		300-400	20,1547	220,5111	-2,5127	102,5127							
300-500	33,7264	215,4882	-3,4176	103,4176		300-500	33,7248	215,4970	-3,4081	103,4081		300-500	33,7234	215,4982	-3,4302	103,4302							
300-600	42,2417	214,0039	-2,6320	102,6320		300-600	42,2393	214,0103	-2,6253	102,6253		300-600	42,2324	214,0116	-2,6439	102,6439							
400-500	13,7261	208,1244	-4,7457	104,7457		400-500	13,7240	208,1327	-4,7484	104,7484		400-500	13,7279	208,1148	-4,7389	104,7389							
400-600	22,2815	208,1402	-2,7395	102,7395		400-600	22,2787	208,1440	-2,7426	102,7426		400-600	22,2773	208,1324	-2,7389	102,7389							
500-600	8,5732	208,1654	0,4732	99,5268		500-600	8,5724	208,1621	0,4692	99,5308		500-600	8,5671	208,1605	0,4667	99,5333							





ANEXO 39. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO VERDE. B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo verde (Trimble GX) Estación B-4000

Campaña 2ª respecto 1ª						Código de Colores
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100-200	-0,0053	0,0072	0,0035	0,0504	-0,0247	n ≤ 1 mm.
100-300	-0,0051	0,0042	0,0031	0,0463	-0,0341	1 < n ≤ 2 mm.
100-400	-0,0050	0,0081	0,0067	0,0345	-0,0287	2 < n ≤ 3 mm.
100-500	-0,0062	0,0076	0,0075	0,0298	-0,0292	3 < n ≤ 4 mm.
100-600	-0,0060	0,0067	0,0072	0,0274	-0,0298	4 < n ≤ 5 mm.
200-300	0,0003	-0,0019	-0,0005	0,0388	-0,0096	5 < n ≤ 10 mm.
200-400	-0,0008	0,0043	0,0018	0,0096	-0,0041	10 < n ≤ 20 mm.
200-500	-0,0029	0,0049	0,0030	0,0073	-0,0046	20 < n ≤ 40 mm.
200-600	-0,0034	0,0034	0,0026	0,0068	-0,0051	n > 40 mm.
300-400	0,0006	0,0083	0,0026	-0,0175	0,0055	
300-500	-0,0016	0,0089	0,0047	-0,0095	0,0050	
300-600	-0,0024	0,0064	0,0043	-0,0067	0,0044	
400-500	-0,0021	0,0083	0,0018	0,0027	-0,0006	
400-600	-0,0028	0,0038	0,0013	0,0031	-0,0011	
500-600	-0,0007	-0,0033	-0,0005	0,0040	-0,0005	

Campaña 3ª respecto 2ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-200	0,0098	-0,0180	-0,0088	-0,0522	0,0256
100-300	0,0235	-0,0085	-0,0063	-0,0474	0,0349
100-400	0,0119	-0,0202	-0,0168	-0,0261	0,0217
100-500	0,0141	-0,0192	-0,0189	-0,0241	0,0237
100-600	0,0084	-0,0215	-0,0234	-0,0213	0,0231
200-300	0,0136	0,0103	0,0025	-0,0368	0,0091
200-400	0,0034	-0,0166	-0,0070	0,0090	-0,0038
200-500	0,0073	-0,0160	-0,0099	0,0030	-0,0019
200-600	0,0017	-0,0156	-0,0117	0,0032	-0,0024
300-400	-0,0047	0,0168	0,0053	0,0429	-0,0136
300-500	-0,0015	0,0012	0,0006	0,0222	-0,0117
300-600	-0,0069	0,0013	0,0008	0,0186	-0,0123
400-500	0,0039	-0,0179	-0,0039	-0,0094	0,0020
400-600	-0,0014	-0,0116	-0,0041	-0,0037	0,0013
500-600	-0,0053	-0,0015	-0,0002	0,0025	-0,0003

Campaña 3ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-200	0,0045	-0,0108	-0,0053	-0,0018	0,0009
100-300	0,0184	-0,0043	-0,0032	-0,0011	0,0008
100-400	0,0069	-0,0121	-0,0101	0,0084	-0,0070
100-500	0,0079	-0,0116	-0,0114	0,0056	-0,0055
100-600	0,0024	-0,0148	-0,0161	0,0061	-0,0066
200-300	0,0139	0,0084	0,0021	0,0020	-0,0005
200-400	0,0026	-0,0122	-0,0051	0,0187	-0,0079
200-500	0,0044	-0,0111	-0,0069	0,0103	-0,0064
200-600	-0,0017	-0,0122	-0,0092	0,0100	-0,0075
300-400	-0,0041	0,0251	0,0079	0,0254	-0,0080
300-500	-0,0031	0,0100	0,0053	0,0127	-0,0067
300-600	-0,0093	0,0077	0,0051	0,0119	-0,0079
400-500	0,0018	-0,0096	-0,0021	-0,0068	0,0015
400-600	-0,0042	-0,0078	-0,0027	-0,0006	0,0002
500-600	-0,0061	-0,0049	-0,0007	0,0066	-0,0009



ANEXO 40. TRIMBLE. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERIA FONDO VERDE (B-2000)

Sistema Topocéntrico Horizontal						Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Entre placas de puntería con fondo verde (Trimble GX) Estación B-2000					
1ª campaña						2ª campaña						3ª campaña					
Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)		Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)		Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	
100-200	31,2008	127,1678	-1,1444	101,1444		100-200	31,1939	127,1580	-1,1088	101,1088		100-200	31,1926	127,1596	-1,1098	101,1098	
100-300	46,9153	127,1535	-0,0276	100,0276		100-300	46,9091	127,1462	-0,0037	100,0037		100-300	46,9112	127,1522	-0,0030	100,0030	
100-400	52,9613	151,8501	-0,9694	100,9694		100-400	52,9517	151,8449	-0,9485	100,9485		100-400	52,9555	151,8550	-0,9498	100,9498	
100-500	62,5616	162,6756	-1,8645	101,8645		100-500	62,5510	162,6709	-1,8459	101,8459		100-500	62,5577	162,6836	-1,8470	101,8470	
100-600	69,2606	167,8449	-1,6262	101,6262		100-600	69,2523	167,8402	-1,6101	101,6101		100-600	69,2581	167,8535	-1,6111	101,6111	
200-300	15,7289	127,1253	2,1880	97,8120		200-300	15,7293	127,1229	2,1883	97,8117		200-300	15,7327	127,1375	2,1917	97,8083	
200-400	26,8097	180,8500	-0,5832	100,5832		200-400	26,8074	180,8466	-0,5832	100,5832		200-400	26,8147	180,8570	-0,5846	100,5846	
200-500	39,6871	190,0071	-2,0395	102,0395		200-500	39,6836	190,0025	-2,0380	102,0380		200-500	39,6949	190,0138	-2,0387	102,0387	
200-600	47,9676	193,2092	-1,6037	101,6037		200-600	47,9660	193,2027	-1,6035	101,6035		200-600	47,9768	193,2153	-1,6042	101,6042	
300-400	20,1573	220,4883	-2,4832	102,4832		300-400	20,1551	220,4905	-2,4838	102,4838		300-400	20,1597	220,4976	-2,4883	102,4883	
300-500	33,7227	215,4907	-3,4218	103,4218		300-500	33,7189	215,4893	-3,4203	103,4203		300-500	33,7280	215,4983	-3,4227	103,4227	
300-600	42,2361	214,0048	-2,6365	102,6365		300-600	42,2334	213,9994	-2,6366	102,6366		300-600	42,2426	214,0116	-2,6386	102,6386	
400-500	13,7240	208,1266	-4,7622	104,7622		400-500	13,7225	208,1200	-4,7576	104,7576		400-500	13,7268	208,1322	-4,7568	104,7568	
400-600	22,2775	208,1392	-2,7517	102,7517		400-600	22,2775	208,1275	-2,7513	102,7513		400-600	22,2817	208,1442	-2,7510	102,7510	
500-600	8,5713	208,1591	0,4682	99,5318		500-600	8,5727	208,1396	0,4611	99,5389		500-600	8,5726	208,1632	0,4616	99,5384	



ANEXO 41. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO VERDE. B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo verde (Trimble GX) Estación B-2000

Campaña 2ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-200	-0,0069	-0,0098	-0,0048	-0,0356	0,0174
100-300	-0,0062	-0,0073	-0,0054	-0,0239	0,0176
100-400	-0,0097	-0,0051	-0,0043	-0,0209	0,0174
100-500	-0,0106	-0,0047	-0,0046	-0,0187	0,0183
100-600	-0,0082	-0,0047	-0,0051	-0,0161	0,0175
200-300	0,0004	-0,0024	-0,0006	-0,0002	0,0001
200-400	-0,0024	-0,0034	-0,0014	0,0001	0,0000
200-500	-0,0035	-0,0046	-0,0028	-0,0016	0,0010
200-600	-0,0017	-0,0065	-0,0049	-0,0001	0,0001
300-400	-0,0022	0,0022	0,0007	0,0005	-0,0002
300-500	-0,0038	-0,0014	-0,0007	-0,0015	0,0008
300-600	-0,0026	-0,0054	-0,0036	0,0001	0,0000
400-500	-0,0015	-0,0067	-0,0014	-0,0046	0,0010
400-600	0,0000	-0,0116	-0,0041	-0,0004	0,0001
500-600	0,0014	-0,0195	-0,0026	0,0071	-0,0010

Campaña 3ª respecto 2ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-200	-0,0013	0,0016	0,0008	0,0010	-0,0005
100-300	0,0021	0,0060	0,0044	-0,0007	0,0005
100-400	0,0038	0,0101	0,0084	0,0013	-0,0011
100-500	0,0067	0,0127	0,0125	0,0011	-0,0011
100-600	0,0058	0,0132	0,0144	0,0010	-0,0011
200-300	0,0034	0,0146	0,0036	-0,0035	0,0009
200-400	0,0074	0,0104	0,0044	0,0014	-0,0006
200-500	0,0113	0,0113	0,0070	0,0007	-0,0004
200-600	0,0109	0,0126	0,0095	0,0006	-0,0005
300-400	0,0046	0,0071	0,0023	0,0046	-0,0014
300-500	0,0091	0,0089	0,0047	0,0024	-0,0013
300-600	0,0092	0,0122	0,0081	0,0020	-0,0013
400-500	0,0043	0,0123	0,0026	-0,0008	0,0002
400-600	0,0043	0,0166	0,0058	-0,0003	0,0001
500-600	-0,0001	0,0236	0,0032	-0,0005	0,0001

Campaña 3ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-200	-0,0082	-0,0082	-0,0040	-0,0345	0,0169
100-300	-0,0041	-0,0013	-0,0010	-0,0246	0,0181
100-400	-0,0059	0,0050	0,0041	-0,0196	0,0163
100-500	-0,0039	0,0080	0,0079	-0,0175	0,0172
100-600	-0,0024	0,0086	0,0093	-0,0151	0,0164
200-300	0,0038	0,0122	0,0030	-0,0037	0,0009
200-400	0,0050	0,0070	0,0030	0,0015	-0,0006
200-500	0,0078	0,0067	0,0042	-0,0008	0,0005
200-600	0,0092	0,0061	0,0046	0,0005	-0,0004
300-400	0,0025	0,0093	0,0029	0,0051	-0,0016
300-500	0,0052	0,0075	0,0040	0,0009	-0,0005
300-600	0,0065	0,0068	0,0045	0,0021	-0,0014
400-500	0,0029	0,0056	0,0012	-0,0054	0,0012
400-600	0,0042	0,0050	0,0018	-0,0007	0,0002
500-600	0,0013	0,0041	0,0005	0,0066	-0,0009

Código de Colores	
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Light Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Dark Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.



ANEXO 42. TRIMBLE. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERIA FONDO NEGRO (B-4000)

Sistema Topocéntrico Horizontal						2ª campaña						3ª campaña							
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Estación B-4000						Estación B-4000							
Entre placas de puntería con fondo negro (Trimble GX)						Estación B-4000						Estación B-4000							
1ª campaña		2ª campaña		3ª campaña		1ª campaña		2ª campaña		3ª campaña		1ª campaña		2ª campaña		3ª campaña			
Vector	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Vector	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Vector	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	Vector	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
101-201	31,3816	127,1507	-2,2001	102,2001	101-201	31,3591	127,1541	-2,2383	102,2383	101-201	31,3984	127,1419	-2,1822	102,1822					
101-301	46,3164	127,1401	-0,5069	100,5069	101-301	46,2911	127,1427	-0,5391	100,5391	101-301	46,3294	127,1378	-0,4885	100,4885					
101-401	53,1127	152,4280	-1,6657	101,6657	101-401	53,0789	152,4352	-1,6974	101,6974	101-401	53,1054	152,4061	-1,6672	101,6672					
101-501	62,8157	163,1592	-2,2122	102,2122	101-501	62,7884	163,1772	-2,2331	102,2331	101-501	62,8143	163,1455	-2,2074	102,2074					
101-601	68,8058	167,7567	-2,1859	102,1859	101-601	68,7752	167,7717	-2,1995	102,1995	101-601	68,7763	167,7260	-2,2011	102,2011					
201-301	14,9692	127,1180	3,0440	96,9560	201-301	14,9666	127,1189	3,0225	96,9775	201-301	14,9655	127,1290	3,0663	96,9337					
201-401	27,0453	182,0339	-0,7186	100,7186	201-401	27,0311	182,0390	-0,7366	100,7366	201-401	27,0229	182,0403	-0,7410	100,7410					
201-501	40,0173	190,7667	-1,7471	101,7471	201-501	40,0105	190,7785	-1,7499	101,7499	201-501	40,0050	190,7746	-1,7531	101,7531					
201-601	47,4198	193,5366	-1,7156	101,7156	201-601	47,4077	193,5451	-1,7102	101,7102	201-601	47,3749	193,5543	-1,7490	101,7490					
301-401	20,7348	218,9851	-3,1353	103,1353	301-401	20,7243	219,0076	-3,1440	103,1440	301-401	20,7161	219,0170	-3,1821	103,1821					
301-501	34,3584	214,6660	-3,3619	103,3619	301-501	34,3548	214,6791	-3,3555	103,3555	301-501	34,3473	214,6748	-3,3787	103,3787					
301-601	41,9642	213,4833	-3,0250	103,0250	301-601	41,9547	213,4945	-3,0112	103,0112	301-601	41,9201	213,4955	-3,0718	103,0718					
401-501	13,7433	208,1403	-3,6746	103,6746	401-501	13,7506	208,1463	-3,6450	103,6450	401-501	13,7520	208,1246	-3,6451	103,6451					
400-601	21,3815	208,1492	-2,8966	102,8966	400-601	21,3831	208,1528	-2,8609	102,8609	400-601	21,3571	208,1410	-2,9427	102,9427					
501-601	7,6411	208,1652	-1,4972	101,4972	501-601	7,6353	208,1644	-1,4487	101,4487	501-601	7,6074	208,1705	-1,6728	101,6728					



ANEXO 43. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO NEGRO. B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo negro (Trimble GX) Estación B-4000

Campaña 2ª respecto 1ª						Código de Colores
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
101-201	-0,0226	0,0034	0,0017	0,0382	-0,0188	n ≤ 1 mm.
101-301	-0,0253	0,0026	0,0019	0,0322	-0,0234	1 < n ≤ 2 mm.
101-401	-0,0338	0,0072	0,0060	0,0317	-0,0265	2 < n ≤ 3 mm.
101-501	-0,0273	0,0179	0,0177	0,0208	-0,0206	3 < n ≤ 4 mm.
101-601	-0,0306	0,0151	0,0163	0,0136	-0,0147	4 < n ≤ 5 mm.
201-301	-0,0026	0,0009	0,0002	0,0215	-0,0051	5 < n ≤ 10 mm.
201-401	-0,0142	0,0051	0,0022	0,0181	-0,0077	10 < n ≤ 20 mm.
201-501	-0,0068	0,0118	0,0074	0,0028	-0,0017	20 < n ≤ 40 mm.
201-601	-0,0120	0,0085	0,0063	-0,0055	0,0041	n > 40 mm.
301-401	-0,0106	0,0225	0,0073	0,0088	-0,0029	
301-501	-0,0036	0,0131	0,0071	-0,0064	0,0034	
301-601	-0,0096	0,0112	0,0074	-0,0139	0,0091	
401-501	0,0073	0,0060	0,0013	-0,0296	0,0064	
400-601	0,0015	0,0036	0,0012	-0,0357	0,0120	
501-601	-0,0057	-0,0008	-0,0001	-0,0485	0,0058	

Campaña 3ª respecto 2ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
101-201	0,0393	-0,0122	-0,0060	-0,0561	0,0276
101-301	0,0383	-0,0049	-0,0036	-0,0506	0,0368
101-401	0,0265	-0,0292	-0,0243	-0,0303	0,0252
101-501	0,0259	-0,0317	-0,0312	-0,0257	0,0253
101-601	0,0011	-0,0457	-0,0494	0,0016	-0,0017
201-301	-0,0012	0,0102	0,0024	-0,0438	0,0103
201-401	-0,0083	0,0013	0,0006	0,0044	-0,0019
201-501	-0,0055	-0,0039	-0,0025	0,0032	-0,0020
201-601	-0,0328	-0,0108	-0,0080	0,0388	-0,0289
301-401	-0,0082	0,0094	0,0031	0,0381	-0,0124
301-501	-0,0074	-0,0043	-0,0023	0,0231	-0,0125
301-601	-0,0346	0,0010	0,0006	0,0606	-0,0399
401-501	0,0014	-0,0217	-0,0047	0,0001	0,0000
400-601	-0,0260	-0,0118	-0,0040	0,0818	-0,0275
501-601	-0,0279	0,0061	0,0007	0,2241	-0,0269

Campaña 3ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
101-201	0,0168	-0,0088	-0,0043	-0,0179	0,0088
101-301	0,0130	-0,0024	-0,0017	-0,0184	0,0134
101-401	-0,0073	-0,0219	-0,0183	0,0015	-0,0012
101-501	-0,0014	-0,0137	-0,0135	-0,0049	0,0048
101-601	-0,0295	-0,0307	-0,0331	0,0152	-0,0164
201-301	-0,0037	0,0111	0,0026	-0,0222	0,0052
201-401	-0,0225	0,0064	0,0027	0,0224	-0,0095
201-501	-0,0123	0,0079	0,0050	0,0060	-0,0037
201-601	-0,0449	-0,0022	-0,0017	0,0334	-0,0248
301-401	-0,0187	0,0320	0,0104	0,0469	-0,0153
301-501	-0,0110	0,0088	0,0048	0,0168	-0,0090
301-601	-0,0441	0,0122	0,0080	0,0467	-0,0308
401-501	0,0087	-0,0157	-0,0034	-0,0295	0,0064
400-601	-0,0244	-0,0083	-0,0028	0,0461	-0,0155
501-601	-0,0336	0,0053	0,0006	0,1756	-0,0210



ANEXO 44. TRIMBLE. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERÍA FONDO NEGRO (B-2000)

Sistema Topocéntrico Horizontal						Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Entre placas de puntería con fondo negro (Trimble GX) Estación B-2000					
1ª campaña						2ª campaña						3ª campaña					
Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)		Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)		Vector	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	
101-201	31,3815	127,1607	-2,1896	102,1896		101-201	31,3778	127,1541	-2,2127	102,2127		101-201	31,3760	127,1569	-2,1929	102,1929	
101-301	46,3175	127,1507	-0,4936	100,4936		101-301	46,3140	127,1457	-0,5023	100,5023		101-301	46,3184	127,1531	-0,4947	100,4947	
101-401	53,0985	152,4205	-1,6739	101,6739		101-401	53,0962	152,4267	-1,6671	101,6671		101-401	53,0952	152,4263	-1,6684	101,6684	
101-501	62,8081	163,1608	-2,2108	102,2108		101-501	62,8033	163,1609	-2,2067	102,2067		101-501	62,8066	163,1687	-2,2039	102,2039	
101-601	68,7977	167,7577	-2,1779	102,1779		101-601	68,7891	167,7523	-2,1771	102,1771		101-601	68,7937	167,7633	-2,1756	102,1756	
201-301	14,9705	127,1298	3,0629	96,9371		201-301	14,9713	127,1280	3,0838	96,9162		201-301	14,9770	127,1452	3,0642	96,9358	
201-401	27,0260	182,0285	-0,7465	100,7465		201-401	27,0314	182,0393	-0,7063	100,7063		201-401	27,0304	182,0349	-0,7318	100,7318	
201-501	40,0071	190,7699	-1,7531	101,7531		201-501	40,0075	190,7703	-1,7285	101,7285		201-501	40,0136	190,7759	-1,7396	101,7396	
201-601	47,4087	193,5388	-1,7110	101,7110		201-601	47,4031	193,5336	-1,6945	101,6945		201-601	47,4118	193,5431	-1,7054	101,7054	
301-401	20,7152	219,0143	-3,1878	103,1878		301-401	20,7221	219,0185	-3,1498	103,1498		301-401	20,7157	219,0323	-3,1707	103,1707	
301-501	34,3470	214,6775	-3,3778	103,3778		301-501	34,3476	214,6786	-3,3583	103,3583		301-501	34,3494	214,6901	-3,3633	103,3633	
301-601	41,9514	213,4916	-3,0271	103,0271		301-601	41,9451	213,4894	-3,0162	103,0162		301-601	41,9504	213,5032	-3,0219	103,0219	
401-501	13,7522	208,1359	-3,6344	103,6344		401-501	13,7462	208,1272	-3,6432	103,6432		401-501	13,7544	208,1412	-3,6240	103,6240	
401-601	21,3893	208,1447	-2,8497	102,8497		401-601	21,3765	208,1311	-2,8651	102,8651		401-601	21,3881	208,1496	-2,8561	102,8561	
501-601	7,6400	208,1604	-1,4373	101,4373		501-601	7,6332	208,1382	-1,4638	101,4638		501-601	7,6365	208,1648	-1,4730	101,4730	



ANEXO 45. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO NEGRO. B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo negro (Trimble GX) Estación B-2000

Campaña 2ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
101-201	-0,0037	-0,0066	-0,0033	0,0231	-0,0114
101-301	-0,0035	-0,0051	-0,0037	0,0087	-0,0063
101-401	-0,0023	0,0062	0,0051	-0,0068	0,0057
101-501	-0,0047	0,0001	0,0001	-0,0041	0,0040
101-601	-0,0086	-0,0054	-0,0058	-0,0008	0,0008
201-301	0,0008	-0,0018	-0,0004	-0,0210	0,0049
201-401	0,0054	0,0107	0,0045	-0,0401	0,0170
201-501	0,0004	0,0005	0,0003	-0,0246	0,0154
201-601	-0,0056	-0,0052	-0,0039	-0,0164	0,0122
301-401	0,0069	0,0042	0,0014	-0,0380	0,0124
301-501	0,0006	0,0011	0,0006	-0,0195	0,0105
301-601	-0,0063	-0,0022	-0,0015	-0,0108	0,0071
401-501	-0,0059	-0,0087	-0,0019	0,0088	-0,0019
401-601	-0,0127	-0,0136	-0,0046	0,0154	-0,0052
501-601	-0,0068	-0,0223	-0,0027	0,0266	-0,0032

Campaña 3ª respecto 2ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
101-201	-0,0018	0,0028	0,0014	-0,0198	0,0098
101-301	0,0044	0,0074	0,0054	-0,0076	0,0055
101-401	-0,0010	-0,0004	-0,0003	0,0012	-0,0010
101-501	0,0033	0,0077	0,0076	-0,0028	0,0028
101-601	0,0046	0,0110	0,0119	-0,0015	0,0017
201-301	0,0057	0,0171	0,0040	0,0196	-0,0046
201-401	-0,0010	-0,0043	-0,0018	0,0255	-0,0108
201-501	0,0061	0,0056	0,0035	0,0111	-0,0070
201-601	0,0087	0,0096	0,0071	0,0109	-0,0081
301-401	-0,0064	0,0138	0,0045	0,0209	-0,0068
301-501	0,0018	0,0114	0,0062	0,0051	-0,0027
301-601	0,0053	0,0138	0,0091	0,0057	-0,0037
401-501	0,0082	0,0140	0,0030	-0,0192	0,0041
401-601	0,0115	0,0185	0,0062	-0,0090	0,0030
501-601	0,0033	0,0266	0,0032	0,0091	-0,0011

Campaña 3ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
101-201	-0,0055	-0,0038	-0,0019	0,0033	-0,0016
101-301	0,0009	0,0024	0,0017	0,0011	-0,0008
101-401	-0,0033	0,0058	0,0048	-0,0056	0,0046
101-501	-0,0015	0,0078	0,0077	-0,0069	0,0068
101-601	-0,0040	0,0056	0,0060	-0,0023	0,0025
201-301	0,0065	0,0153	0,0036	-0,0013	0,0003
201-401	0,0043	0,0064	0,0027	-0,0146	0,0062
201-501	0,0065	0,0061	0,0038	-0,0134	0,0085
201-601	0,0031	0,0043	0,0032	-0,0056	0,0042
301-401	0,0005	0,0180	0,0058	-0,0171	0,0056
301-501	0,0024	0,0126	0,0068	-0,0144	0,0078
301-601	-0,0010	0,0116	0,0077	-0,0052	0,0034
401-501	0,0022	0,0053	0,0011	-0,0104	0,0022
401-601	-0,0012	0,0049	0,0017	0,0064	-0,0021
501-601	-0,0036	0,0044	0,0005	0,0357	-0,0043

Código de Colores	
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Light Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Dark Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.



ANEXO 46. TRIMBLE. VECTORES ENTRE ESFERAS DE PUNTERÍA (B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**  
**Entre esferas (Trimble GX) Estación B-4000**

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
102-202	31,1060	127,2158	-0,7826	100,7826	31,1030	127,2229	-0,8109	100,8109	31,1141	127,2063	-0,7574	100,7574
102-302	46,3424	127,1443	-0,4999	100,4999	46,3367	127,1505	-0,5455	100,5455	46,3627	127,1420	-0,4987	100,4987
102-402	52,4877	152,2128	-1,4843	101,4843	52,4815	152,2186	-1,5069	101,5069	52,4931	152,1973	-1,4747	101,4747
102-502	62,3279	163,1916	-1,4877	101,4877	62,3215	163,1998	-1,5185	101,5185	62,3342	163,1792	-1,4934	101,4934
102-602	68,7776	168,1571	-1,9663	101,9663	68,7736	168,1647	-1,9857	101,9857	68,7844	168,1440	-1,9635	101,9635
202-302	15,2373	126,9982	0,0773	99,9227	15,2345	127,0025	-0,0036	100,0036	15,2495	127,0108	0,0290	99,9710
202-402	26,5667	181,8004	-2,0163	102,0163	26,5626	181,8066	-2,0278	102,0278	26,5642	181,7893	-2,0271	102,0271
202-502	39,7199	190,7501	-1,7216	101,7216	39,7160	190,7593	-1,7477	101,7477	39,7203	190,7434	-1,7503	101,7503
202-602	47,6881	193,7584	-2,3254	102,3254	47,6859	193,7649	-2,3349	102,3349	47,6891	193,7500	-2,3379	102,3379
302-402	20,2620	220,4760	-2,7022	102,7022	20,2587	220,4813	-2,6564	102,6564	20,2527	220,5058	-2,6810	102,6810
302-502	34,0229	215,3860	-2,0447	102,0447	34,0204	215,3936	-2,0388	102,0388	34,0163	215,4002	-2,0570	102,0570
302-602	42,2148	214,0337	-2,6550	102,6550	42,2130	214,0374	-2,6365	102,6365	42,2080	214,0414	-2,6522	102,6522
402-502	13,9224	207,9751	-1,0644	101,0644	13,9228	207,9870	-1,1168	101,1168	13,9256	207,9713	-1,1258	101,1258
402-602	22,1509	208,1428	-2,5882	102,5882	22,1524	208,1463	-2,5946	102,5946	22,1546	208,1339	-2,6020	102,6020
502-602	8,2394	208,4270	-5,1633	105,1633	8,2399	208,4161	-5,0920	105,0920	8,2391	208,4096	-5,0975	105,0975





ANEXO 47. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (ESFERAS DE PUNTERÍA. B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Esferas (Trimble GX) Estación B-4000

Campaña 2ª respecto 1ª						Código de Colores
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
102-202	-0,0030	0,0071	0,0035	0,0283	-0,0138	n ≤ 1 mm.
102-302	-0,0057	0,0062	0,0045	0,0456	-0,0332	1 < n ≤ 2 mm.
102-402	-0,0061	0,0059	0,0049	0,0226	-0,0186	2 < n ≤ 3 mm.
102-502	-0,0065	0,0082	0,0080	0,0307	-0,0301	3 < n ≤ 4 mm.
102-602	-0,0041	0,0076	0,0082	0,0194	-0,0209	4 < n ≤ 5 mm.
202-302	-0,0028	0,0043	0,0010	0,0809	-0,0194	5 < n ≤ 10 mm.
202-402	-0,0041	0,0063	0,0026	0,0115	-0,0048	10 < n ≤ 20 mm.
202-502	-0,0039	0,0092	0,0057	0,0261	-0,0163	20 < n ≤ 40 mm.
202-602	-0,0023	0,0065	0,0049	0,0095	-0,0071	n > 40 mm.
302-402	-0,0034	0,0053	0,0017	-0,0458	0,0146	
302-502	-0,0025	0,0076	0,0040	-0,0059	0,0031	
302-602	-0,0018	0,0037	0,0025	-0,0186	0,0123	
402-502	0,0004	0,0119	0,0026	0,0524	-0,0115	
402-602	0,0016	0,0035	0,0012	0,0065	-0,0023	
502-602	0,0005	-0,0108	-0,0014	-0,0712	0,0092	

Campaña 3ª respecto 2ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
102-202	0,0111	-0,0167	-0,0081	-0,0536	0,0262
102-302	0,0261	-0,0085	-0,0062	-0,0468	0,0340
102-402	0,0115	-0,0214	-0,0176	-0,0322	0,0265
102-502	0,0127	-0,0207	-0,0202	-0,0251	0,0246
102-602	0,0108	-0,0207	-0,0224	-0,0222	0,0240
202-302	0,0150	0,0083	0,0020	-0,0326	0,0078
202-402	0,0017	-0,0174	-0,0072	-0,0007	0,0003
202-502	0,0043	-0,0160	-0,0100	0,0026	-0,0017
202-602	0,0033	-0,0149	-0,0112	0,0031	-0,0023
302-402	-0,0060	0,0245	0,0078	0,0246	-0,0078
302-502	-0,0042	0,0066	0,0035	0,0182	-0,0097
302-602	-0,0050	0,0040	0,0027	0,0157	-0,0104
402-502	0,0029	-0,0157	-0,0034	0,0090	-0,0020
402-602	0,0021	-0,0123	-0,0043	0,0074	-0,0026
502-602	-0,0008	-0,0065	-0,0008	0,0054	-0,0007

Campaña 3ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
102-202	0,0081	-0,0096	-0,0047	-0,0252	0,0123
102-302	0,0204	-0,0023	-0,0017	-0,0012	0,0008
102-402	0,0054	-0,0155	-0,0128	-0,0096	0,0079
102-502	0,0063	-0,0125	-0,0122	0,0057	-0,0055
102-602	0,0067	-0,0131	-0,0142	-0,0028	0,0030
202-302	0,0122	0,0126	0,0030	0,0483	-0,0116
202-402	-0,0025	-0,0111	-0,0046	0,0108	-0,0045
202-502	0,0004	-0,0068	-0,0042	0,0287	-0,0179
202-602	0,0010	-0,0084	-0,0063	0,0125	-0,0094
302-402	-0,0093	0,0298	0,0095	-0,0212	0,0067
302-502	-0,0066	0,0141	0,0075	0,0123	-0,0066
302-602	-0,0069	0,0077	0,0051	-0,0028	0,0019
402-502	0,0033	-0,0038	-0,0008	0,0614	-0,0134
402-602	0,0037	-0,0089	-0,0031	0,0139	-0,0048
502-602	-0,0003	-0,0173	-0,0022	-0,0658	0,0085



ANEXO 48. TRIMBLE. VECTORES ENTRE ESFERAS DE PUNTERÍA (B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**  
**Entre esferas (Trimble GX) Estación B-2000**

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
102-202	31,1079	127,2139	-0,7453	100,7453	31,1047	127,2163	-0,7552	100,7552	31,1074	127,2229	-0,7524	100,7524
102-302	46,3461	127,1458	-0,4919	100,4919	46,3428	127,1462	-0,4976	100,4976	46,3490	127,1544	-0,4953	100,4953
102-402	52,4883	152,2090	-1,4637	101,4637	52,4851	152,2081	-1,4702	101,4702	52,4901	152,2189	-1,4676	101,4676
102-502	62,3277	163,1910	-1,4828	101,4828	62,3260	163,1903	-1,4872	101,4872	62,3351	163,2026	-1,4855	101,4855
102-602	68,7774	168,1537	-1,9552	101,9552	68,7760	168,1512	-1,9585	101,9585	68,7862	168,1651	-1,9569	101,9569
202-302	15,2390	127,0070	0,0255	99,9745	15,2390	127,0033	0,0281	99,9719	15,2424	127,0146	0,0293	99,9707
202-402	26,5655	181,7979	-2,0192	102,0192	26,5635	181,7921	-2,0206	102,0206	26,5678	181,8058	-2,0187	102,0187
202-502	39,7196	190,7531	-1,7431	101,7431	39,7184	190,7478	-1,7424	101,7424	39,7276	190,7600	-1,7417	101,7417
202-602	47,6868	193,7569	-2,3337	102,3337	47,6850	193,7497	-2,3322	102,3322	47,6961	193,7639	-2,3316	102,3316
302-402	20,2578	220,4799	-2,6675	102,6675	20,2556	220,4776	-2,6714	102,6714	20,2594	220,4945	-2,6697	102,6697
302-502	34,0206	215,3920	-2,0466	102,0466	34,0191	215,3874	-2,0469	102,0469	34,0273	215,3995	-2,0467	102,0467
302-602	42,2103	214,0346	-2,6459	102,6459	42,2078	214,0280	-2,6452	102,6452	42,2184	214,0422	-2,6448	102,6448
402-502	13,9239	207,9861	-1,1200	101,1200	13,9247	207,9796	-1,1153	101,1153	13,9294	207,9857	-1,1173	101,1173
402-602	22,1508	208,1420	-2,6025	102,6025	22,1506	208,1322	-2,5975	102,5975	22,1577	208,1446	-2,5984	102,5984
502-602	8,2372	208,4064	-5,1089	105,1089	8,2362	208,3910	-5,1039	105,1039	8,2385	208,4139	-5,1030	105,1030



ANEXO 49. TRIMBLE. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (ESFERAS DE PUNTERÍA. B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Esferas (Trimble GX) Estación B-2000

Campaña 2ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
102-202	-0,0032	0,0024	0,0012	0,0099	-0,0048
102-302	-0,0032	0,0004	0,0003	0,0057	-0,0042
102-402	-0,0032	-0,0009	-0,0007	0,0065	-0,0054
102-502	-0,0017	-0,0007	-0,0007	0,0044	-0,0043
102-602	-0,0013	-0,0025	-0,0027	0,0033	-0,0036
202-302	0,0000	-0,0037	-0,0009	-0,0026	0,0006
202-402	-0,0020	-0,0059	-0,0024	0,0014	-0,0006
202-502	-0,0012	-0,0053	-0,0033	-0,0007	0,0005
202-602	-0,0018	-0,0072	-0,0054	-0,0015	0,0011
302-402	-0,0021	-0,0023	-0,0007	0,0039	-0,0012
302-502	-0,0015	-0,0045	-0,0024	0,0004	-0,0002
302-602	-0,0025	-0,0066	-0,0044	-0,0007	0,0005
402-502	0,0008	-0,0065	-0,0014	-0,0047	0,0010
402-602	-0,0002	-0,0098	-0,0034	-0,0050	0,0017
502-602	-0,0010	-0,0154	-0,0020	-0,0050	0,0006

Campaña 3ª respecto 2ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
102-202	0,0027	0,0066	0,0032	-0,0028	0,0014
102-302	0,0062	0,0081	0,0059	-0,0023	0,0017
102-402	0,0050	0,0109	0,0090	-0,0026	0,0021
102-502	0,0092	0,0123	0,0120	-0,0017	0,0017
102-602	0,0102	0,0139	0,0151	-0,0016	0,0017
202-302	0,0034	0,0113	0,0027	-0,0012	0,0003
202-402	0,0042	0,0138	0,0057	-0,0019	0,0008
202-502	0,0092	0,0123	0,0076	-0,0006	0,0004
202-602	0,0111	0,0142	0,0106	-0,0007	0,0005
302-402	0,0037	0,0169	0,0054	-0,0017	0,0005
302-502	0,0081	0,0121	0,0065	-0,0002	0,0001
302-602	0,0106	0,0141	0,0094	-0,0003	0,0002
402-502	0,0047	0,0061	0,0013	0,0020	-0,0004
402-602	0,0071	0,0124	0,0043	0,0009	-0,0003
502-602	0,0023	0,0229	0,0030	-0,0009	0,0001

Campaña 3ª respecto 1ª					
Vector	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
102-202	-0,0005	0,0090	0,0044	0,0071	-0,0035
102-302	0,0029	0,0085	0,0062	0,0034	-0,0025
102-402	0,0018	0,0100	0,0082	0,0040	-0,0033
102-502	0,0074	0,0115	0,0113	0,0027	-0,0026
102-602	0,0089	0,0114	0,0123	0,0017	-0,0019
202-302	0,0034	0,0076	0,0018	-0,0038	0,0009
202-402	0,0022	0,0079	0,0033	-0,0005	0,0002
202-502	0,0080	0,0070	0,0044	-0,0014	0,0009
202-602	0,0093	0,0070	0,0052	-0,0022	0,0016
302-402	0,0016	0,0146	0,0046	0,0022	-0,0007
302-502	0,0067	0,0075	0,0040	0,0001	-0,0001
302-602	0,0081	0,0076	0,0050	-0,0011	0,0007
402-502	0,0055	-0,0004	-0,0001	-0,0027	0,0006
402-602	0,0069	0,0026	0,0009	-0,0041	0,0014
502-602	0,0014	0,0075	0,0010	-0,0059	0,0008

Código de Colores	
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Light Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Dark Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.



ANEXOS

**ANEXO 50. COMPARATIVA ENTRE CENTROS DE PLACAS (B-4000)**

**Coordenadas Topocéntricas Horizontales      Sistema 4000**  
**Escáner Láser Trimble GX      Estación B-4000**  
**Comparativa entre centros de placas por promedio y por lectura directa sobre monitor.**

1ª campaña												Código de Colores
Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z	dif. X	dif. Y	dif. Z	Dg	
100 V	7,7976	60,4587	4,4491	100 c	7,8041	60,4573	4,4468	0,0065	-0,0014	-0,0023	0,0070	n ≤ 1 mm.
101 N	7,9893	60,3725	4,8207	101 c	7,9915	60,3663	4,8064	0,0023	-0,0062	-0,0143	0,0157	1 < n ≤ 2 mm.
200 V	36,1983	47,5518	3,9025	200 c	36,1938	47,5546	3,9035	-0,0045	0,0027	0,0011	0,0054	2 < n ≤ 3 mm.
201 N	36,5429	47,3986	3,7364	201 c	36,5470	47,3980	3,7241	0,0041	-0,0006	-0,0123	0,0130	3 < n ≤ 4 mm.
300 V	50,5081	41,0581	4,4435	300 c	50,5075	41,0610	4,4447	-0,0006	0,0029	0,0012	0,0032	4 < n ≤ 5 mm.
301 N	50,1588	41,2204	4,4519	301 c	50,1625	41,2193	4,4446	0,0036	-0,0011	-0,0073	0,0082	5 < n ≤ 10 mm.
400 V	44,1374	21,9486	3,6561	400 c	44,1374	21,9491	3,6546	0,0001	0,0005	-0,0015	0,0016	10 < n ≤ 20 mm.
401 N	44,0740	21,4248	3,4311	401 c	44,0742	21,4380	3,4158	0,0002	0,0132	-0,0154	0,0203	20 < n ≤ 40 mm.
500 V	42,3953	8,3720	2,6339	500 c	42,3962	8,3724	2,6321	0,0009	0,0004	-0,0018	0,0020	n > 40 mm.
501 N	42,3244	7,8164	2,6383	501 c	42,3234	7,8176	2,6281	-0,0009	0,0013	-0,0102	0,0103	
600 V	41,2987	-0,1305	2,6976	600 c	41,2992	-0,1298	2,6932	0,0005	0,0007	-0,0044	0,0045	
601 N	41,3473	0,2401	2,4586	601 c	41,3450	0,2394	2,4560	-0,0023	-0,0007	-0,0026	0,0035	

2ª campaña											
Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z	dif. X	dif. Y	dif. Z	Dg
100 V	7,8076	60,4564	4,4478	100 c	7,8092	60,4547	4,4466	0,0016	-0,0017	-0,0012	0,0027
101 N	8,0185	60,3577	4,8011	101 c	8,0025	60,3629	4,7979	-0,0160	0,0052	-0,0032	0,0172
200 V	36,2016	47,5487	3,8766	200 c	36,2052	47,5461	3,8705	0,0037	-0,0025	-0,0061	0,0076
201 N	36,5503	47,3919	3,6988	201 c	36,5540	47,3871	3,6940	0,0037	-0,0048	-0,0048	0,0077
300 V	50,5121	41,0551	4,4081	300 c	50,5097	41,0568	4,4091	-0,0024	0,0017	0,0010	0,0031
301 N	50,1641	41,2144	4,4091	301 c	50,1617	41,2089	4,4083	-0,0024	-0,0055	-0,0008	0,0061
400 V	44,1387	21,9457	3,6262	400 c	44,1364	21,9436	3,6242	-0,0023	-0,0021	-0,0020	0,0036
401 N	44,0753	21,4312	3,3860	401 c	44,0709	21,4336	3,3816	-0,0044	0,0024	-0,0044	0,0067
500 V	42,3951	8,3714	2,6035	500 c	42,3937	8,3708	2,6051	-0,0014	-0,0006	0,0016	0,0022
501 N	42,3235	7,8153	2,5992	501 c	42,3218	7,8219	2,6016	-0,0017	0,0066	0,0025	0,0072
600 V	41,2991	-0,1304	2,6667	600 c	41,2984	-0,1323	2,6653	-0,0006	-0,0019	-0,0014	0,0025
601 N	41,3472	0,2446	2,4254	601 c	41,3435	0,2433	2,4251	-0,0037	-0,0013	-0,0003	0,0040

3ª campaña											
Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z	dif. X	dif. Y	dif. Z	Dg
100 V	7,7838	60,4580	4,4570	100 c	7,7763	60,4591	4,4544	-0,0075	0,0011	-0,0026	0,0080
101 N	7,9761	60,3679	4,8176	101 c	7,9681	60,3721	4,8160	-0,0080	0,0042	-0,0016	0,0092
200 V	36,1907	47,5541	3,9112	200 c	36,1865	47,5557	3,9096	-0,0042	0,0016	-0,0016	0,0047
201 N	36,5470	47,3909	3,7416	201 c	36,5369	47,3980	3,7276	-0,0101	0,0071	-0,0140	0,0187
300 V	50,5124	41,0527	4,4522	300 c	50,5112	41,0502	4,4551	-0,0011	-0,0026	0,0029	0,0040
301 N	50,1583	41,2119	4,4621	301 c	50,1648	41,1994	4,4542	0,0065	-0,0125	-0,0079	0,0161
400 V	44,1355	21,9500	3,6569	400 c	44,1322	21,9495	3,6656	-0,0033	-0,0005	0,0087	0,0093
401 N	44,0692	21,4379	3,4270	401 c	44,0665	21,4354	3,4275	-0,0028	-0,0026	0,0005	0,0038
500 V	42,3952	8,3712	2,6360	500 c	42,3931	8,3716	2,6405	-0,0022	0,0004	0,0045	0,0050
501 N	42,3218	7,8201	2,6401	501 c	42,3194	7,8086	2,6353	-0,0024	-0,0116	-0,0047	0,0127
600 V	41,3001	-0,1253	2,6988	600 c	41,2967	-0,1278	2,6985	-0,0034	-0,0024	-0,0003	0,0042
601 N	41,3485	0,2779	2,4402	601 c	41,3480	0,2559	2,4548	-0,0005	-0,0220	0,0146	0,0264



ANEXO 51. COMPARATIVA ENTRE CENTROS DE PLACAS (B-2000)

**Coordenadas Topocéntricas Horizontales Sistema 4000**  
**Escáner Láser Trimble GX Estación B-2000**  
**Comparativa entre centros de placas por promedio y por lectura directa sobre monitor.**

1ª campaña											
Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z	dif. X	dif. Y	dif. Z	Dg
100 V	7,7961	60,4669	4,4635	100 c	7,7928	60,4622	4,4416	-0,0034	-0,0047	-0,0219	0,0227
101 N	7,9943	60,3756	4,8137	101 c	7,9964	60,3688	4,8060	0,0021	-0,0068	-0,0077	0,0105
200 V	36,1941	47,5546	3,9027	200 c	36,1954	47,5533	3,9021	0,0013	-0,0013	-0,0006	0,0019
201 N	36,5459	47,3972	3,7346	201 c	36,5448	47,3968	3,7249	-0,0011	-0,0004	-0,0096	0,0097
300 V	50,5082	41,0575	4,4432	300 c	50,5081	41,0579	4,4434	-0,0002	0,0003	0,0002	0,0004
301 N	50,1617	41,2159	4,4545	301 c	50,1564	41,2184	4,4438	-0,0052	0,0024	-0,0108	0,0122
400 V	44,1373	21,9497	3,6571	400 c	44,1367	21,9498	3,6549	-0,0005	0,0001	-0,0023	0,0023
401 N	44,0737	21,4426	3,4177	401 c	44,0722	21,4370	3,4150	-0,0015	-0,0057	-0,0027	0,0065
500 V	42,3950	8,3755	2,6315	500 c	42,3950	8,3764	2,6302	0,0000	0,0009	-0,0013	0,0015
501 N	42,3239	7,8249	2,6330	501 c	42,3232	7,8219	2,6246	-0,0007	-0,0030	-0,0084	0,0090
600 V	41,2995	-0,1253	2,6945	600 c	41,3003	-0,1280	2,6893	0,0008	-0,0027	-0,0052	0,0059
601 N	41,3475	0,2495	2,4605	601 c	41,3476	0,2536	2,4507	0,0001	0,0042	-0,0098	0,0107

2ª campaña											
Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z	dif. X	dif. Y	dif. Z	Dg
100 V	7,7986	60,4580	4,4472	100 c	7,7996	60,4578	4,4459	0,0010	-0,0002	-0,0014	0,0017
101 N	7,9969	60,3677	4,8096	101 c	7,9948	60,3664	4,8056	-0,0020	-0,0013	-0,0040	0,0047
200 V	36,1926	47,5527	3,9039	200 c	36,1925	47,5525	3,9001	-0,0001	-0,0002	-0,0039	0,0039
201 N	36,5461	47,3939	3,7193	201 c	36,5447	47,3922	3,7223	-0,0014	-0,0017	0,0031	0,0037
300 V	50,5073	41,0561	4,4445	300 c	50,5056	41,0550	4,4426	-0,0017	-0,0011	-0,0019	0,0028
301 N	50,1626	41,2129	4,4442	301 c	50,1575	41,2139	4,4421	-0,0051	0,0011	-0,0021	0,0056
400 V	44,1364	21,9506	3,6584	400 c	44,1369	21,9509	3,6567	0,0005	0,0003	-0,0017	0,0018
401 N	44,0711	21,4328	3,4194	401 c	44,0710	21,4325	3,4137	-0,0001	-0,0003	-0,0057	0,0057
500 V	42,3957	8,3776	2,6338	500 c	42,3960	8,3770	2,6375	0,0002	-0,0006	0,0037	0,0038
501 N	42,3239	7,8208	2,6331	501 c	42,3231	7,8241	2,6282	-0,0008	0,0033	-0,0050	0,0060
600 V	41,3027	-0,1250	2,6959	600 c	41,3036	-0,1191	2,6925	0,0009	0,0058	-0,0034	0,0068
601 N	41,3510	0,2519	2,4576	601 c	41,3499	0,2525	2,4552	-0,0012	0,0006	-0,0024	0,0028

3ª campaña											
Pto.	X	Y	Z	Pto.	X	Y	Z	dif. X	dif. Y	dif. Z	Dg
100 V	7,8063	60,4636	4,4505	100 c	7,8045	60,4632	4,4523	-0,0018	-0,0004	0,0019	0,0026
101 N	8,0006	60,3734	4,8088	101 c	8,0005	60,3738	4,8061	-0,0001	0,0004	-0,0028	0,0028
200 V	36,1988	47,5581	3,9067	200 c	36,2036	47,5562	3,9075	0,0048	-0,0019	0,0008	0,0052
201 N	36,5479	47,3990	3,7282	201 c	36,5451	47,3997	3,7273	-0,0029	0,0007	-0,0010	0,0031
300 V	50,5151	41,0568	4,4482	300 c	50,5121	41,0562	4,4503	-0,0030	-0,0006	0,0021	0,0037
301 N	50,1682	41,2118	4,4489	301 c	50,1661	41,2139	4,4459	-0,0021	0,0021	-0,0030	0,0042
400 V	44,1406	21,9477	3,6605	400 c	44,1383	21,9446	3,6600	-0,0023	-0,0031	-0,0005	0,0039
401 N	44,0744	21,4395	3,4175	401 c	44,0747	21,4342	3,4230	0,0003	-0,0052	0,0055	0,0076
500 V	42,3968	8,3707	2,6358	500 c	42,3952	8,3692	2,6373	-0,0016	-0,0015	0,0016	0,0027
501 N	42,3231	7,8195	2,6350	501 c	42,3222	7,8174	2,6410	-0,0009	-0,0021	0,0061	0,0065
600 V	41,3006	-0,1314	2,6979	600 c	41,2999	-0,1253	2,7052	-0,0007	0,0061	0,0073	0,0095
601 N	41,3467	0,2478	2,4583	601 c	41,3461	0,2463	2,4617	-0,0006	-0,0014	0,0034	0,0037

**Código de Colores**

- n ≤ 1 mm.
- 1 < n ≤ 2 mm.
- 2 < n ≤ 3 mm.
- 3 < n ≤ 4 mm.
- 4 < n ≤ 5 mm.
- 5 < n ≤ 10 mm.
- 10 < n ≤ 20 mm.
- 20 < n ≤ 40 mm.
- n > 40 mm.



ANEXO 52. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA COORDENADAS RED DE APOYO.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas Trimble respecto coordenadas TCA-2003**

Pto.	Coordenadas 1ª Campaña									Diferencias 1ª Campaña									Código de Colores
	TCA 2003			Trimble B-4000			Trimble B-2000			Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003						
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ				
1001	5,5490	36,0485	1,8366	5,5531	36,0529	1,8318	5,5502	36,0542	1,8301	0,0041	0,0044	-0,0049	0,0012	0,0057	-0,0066	1 < n ≤ 2 mm.			
1002	5,5492	36,0488	1,8715	5,5521	36,0479	1,8583	5,5535	36,0535	1,8647	0,0030	-0,0009	-0,0133	0,0043	0,0048	-0,0069	2 < n ≤ 3 mm.			
2001	29,8953	26,8102	1,7140	29,8986	26,8113	1,7090				0,0033	0,0011	-0,0049				3 < n ≤ 4 mm.			
2002	29,8951	26,8100	1,7487	29,8955	26,8072	1,7361				0,0004	-0,0028	-0,0126				4 < n ≤ 5 mm.			
3001	22,3185	3,5299	0,5776	22,3200	3,5290	0,5731	22,3166	3,5301	0,5710	0,0016	-0,0009	-0,0046	-0,0019	0,0002	-0,0066	5 < n ≤ 10 mm.			
3002	22,3176	3,5302	0,6127	22,3139	3,5290	0,6023	22,3153	3,5341	0,6054	-0,0037	-0,0011	-0,0104	-0,0023	0,0039	-0,0073	10 < n ≤ 20 mm.			
4001	0,0013	-0,0006	0,0771				-0,0006	-0,0005	0,0663				-0,0019	0,0001	-0,0109	20 < n ≤ 40 mm.			
4002	0,0007	0,0002	0,1123				0,0023	0,0030	0,1035				0,0016	0,0028	-0,0088	n > 40 mm.			

Pto.	Coordenadas 2ª Campaña									Diferencias 2ª Campaña								
	TCA 2003			Trimble B-4000			Trimble B-2000			Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003					
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ			
1001	5,5495	36,0509	1,8352	5,5550	36,0527	1,8282	5,5488	36,0531	1,8311	0,0055	0,0018	-0,0070	-0,0007	0,0021	-0,0041			
1002	5,5494	36,0504	1,8702	5,5569	36,0472	1,8655	5,5532	36,0512	1,8657	0,0075	-0,0032	-0,0047	0,0038	0,0008	-0,0045			
2001	29,8964	26,8094	1,7126	29,8985	26,8109	1,6855				0,0021	0,0014	-0,0271						
2002	29,8961	26,8103	1,7474	29,8992	26,8064	1,7248				0,0030	-0,0038	-0,0226						
3001	22,3173	3,5297	0,5760	22,3186	3,5290	0,5567	22,3173	3,5299	0,5699	0,0013	-0,0007	-0,0192	-0,0001	0,0002	-0,0060			
3002	22,3175	3,5300	0,6111	22,3175	3,5266	0,5932	22,3184	3,5335	0,6065	0,0000	-0,0033	-0,0180	0,0009	0,0036	-0,0047			
4001	-0,0016	-0,0003	0,0757				-0,0012	-0,0011	0,0677				0,0004	-0,0008	-0,0079			
4002	-0,0006	0,0006	0,1108				0,0022	0,0025	0,1030				0,0028	0,0018	-0,0078			

Pto.	Coordenadas 3ª Campaña									Diferencias 3ª Campaña								
	TCA 2003			Trimble B-4000			Trimble B-2000			Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003					
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ			
1001	5,5497	36,0520	1,8349	5,5396	36,0581	1,8350	5,5465	36,0603	1,8326	-0,0101	0,0061	0,0001	-0,0032	0,0082	-0,0023			
1002	5,5498	36,0525	1,8699	5,5442	36,0550	1,8684	5,5439	36,0480	1,8672	-0,0056	0,0025	-0,0015	-0,0059	-0,0046	-0,0027			
2001	29,8951	26,8075	1,7111	29,8980	26,8097	1,7143				0,0029	0,0022	0,0032						
2002	29,8947	26,8072	1,7462	29,8910	26,8151	1,7441				-0,0037	0,0079	-0,0021						
3001	22,3170	3,5300	0,5755	22,3253	3,5309	0,5720	22,3155	3,5241	0,5726	0,0083	0,0009	-0,0035	-0,0015	-0,0059	-0,0029			
3002	22,3158	3,5298	0,6106	22,3206	3,5390	0,6084	22,3187	3,5270	0,6080	0,0048	0,0091	-0,0021	0,0029	-0,0028	-0,0026			
4001	-0,0010	0,0003	0,0750				-0,0030	-0,0027	0,0720				-0,0020	-0,0029	-0,0030			
4002	-0,0021	0,0009	0,1101				0,0025	-0,0020	0,1060				0,0046	-0,0029	-0,0041			



ANEXO 53. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. PEQ. 1º CAMP)

**Sistema Topocéntrico Horizontal 1ª Campaña**  
Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales

TCA 2003			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5197	9,7210	3,2030
4001-2001	40,1921	53,4581	2,7156
4001-3001	22,6021	90,0117	1,6272
1001-2001	26,0404	123,0884	-0,2999
1001-3001	36,6096	169,6893	-2,1897
2001-3001	24,5086	220,0311	-2,9527

Trimble B-4000			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5240	9,7292	3,1941
4001-2001	40,1957	53,4623	2,7076
4001-3001	22,6046	90,0171	1,6142
1001-2001	26,0408	123,0965	-0,3001
1001-3001	36,6131	169,6975	-2,1890
2001-3001	24,5111	220,0338	-2,9514

Trimble B-2000			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5254	9,7248	3,1910
4001-2001	40,1929	53,4623	2,7078
4001-3001	22,6020	90,0113	1,6086
1001-2001	26,0423	123,1048	-0,2958
1001-3001	36,6131	169,6985	-2,1896
2001-3001	24,5081	220,0385	-2,9571

**Diferencias**

Trimble B 4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001	0,0043	0,0083	0,0047	0,0089	-0,0051	117
4001-2001	0,0036	0,0042	0,0027	0,0080	-0,0051	88
4001-3001	0,0024	0,0054	0,0019	0,0130	-0,0046	108
1001-2001	0,0004	0,0081	0,0033	0,0002	-0,0001	16
1001-3001	0,0035	0,0081	0,0047	-0,0007	0,0004	95
2001-3001	0,0024	0,0027	0,0010	-0,0012	0,0005	100

Trimble B 2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001	0,0057	0,0038	0,0022	0,0120	-0,0069	156
4001-2001	0,0008	0,0042	0,0027	0,0079	-0,0050	19
4001-3001	-0,0002	-0,0004	-0,0001	0,0186	-0,0066	-8
1001-2001	0,0019	0,0164	0,0067	-0,0041	0,0017	75
1001-3001	0,0035	0,0092	0,0053	-0,0001	0,0001	95
2001-3001	-0,0005	0,0074	0,0029	0,0045	-0,0017	-21

Código de Colores	
	n ≤ 1 mm.
	1 < n ≤ 2 mm.
	2 < n ≤ 3 mm.
	3 < n ≤ 4 mm.
	4 < n ≤ 5 mm.
	5 < n ≤ 10 mm.
	10 < n ≤ 20 mm.
	20 < n ≤ 40 mm.
	n > 40 mm.



ANEXO 54. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. PEQ. 2ª CAMP)

**Sistema Topocéntrico Horizontal 2ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003			
Base	D	α (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5222	9,7262	3,2003
4001-2001	40,1943	53,4636	2,7134
4001-3001	22,6037	90,0139	1,6223
1001-2001	26,0421	123,0951	-0,2996
1001-3001	36,6111	169,6939	-2,1901
2001-3001	24,5087	220,0371	-2,9536

Trimble B-4000			
Base	D	α (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5240	9,7326	3,1880
4001-2001	40,1943	53,4628	2,6704
4001-3001	22,6028	90,0166	1,5682
1001-2001	26,0391	123,0989	-0,3489
1001-3001	36,6119	169,7025	-2,2114
2001-3001	24,5107	220,0374	-2,9329

Trimble B-2000			
Base	D	α (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5248	9,7236	3,1930
4001-2001	40,1947	53,4628	2,7076
4001-3001	22,6033	90,0108	1,6054
1001-2001	26,0439	123,0992	-0,2985
1001-3001	36,6132	169,6945	-2,1934
2001-3001	24,5087	220,0386	-2,9599

**Diferencias**

Trimble B-4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001	0,0017	0,0063	0,0036	0,0123	-0,0071	48
4001-2001	0,0000	-0,0008	-0,0005	0,0430	-0,0271	0
4001-3001	-0,0010	0,0027	0,0009	0,0541	-0,0192	-43
1001-2001	-0,0030	0,0038	0,0016	0,0492	-0,0201	-114
1001-3001	0,0007	0,0086	0,0049	0,0213	-0,0122	20
2001-3001	0,0020	0,0003	0,0001	-0,0207	0,0080	80

Trimble B-2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001	0,0026	-0,0026	-0,0015	0,0073	-0,0042	70
4001-2001	0,0004	-0,0008	-0,0005	0,0057	-0,0036	10
4001-3001	-0,0004	-0,0031	-0,0011	0,0169	-0,0060	-19
1001-2001	0,0018	0,0041	0,0017	-0,0011	0,0005	70
1001-3001	0,0021	0,0006	0,0003	0,0033	-0,0019	56
2001-3001	0,0000	0,0015	0,0006	0,0063	-0,0024	-1

**Código de Colores**

n ≤ 1 mm.	White
1 < n ≤ 2 mm.	Light Green
2 < n ≤ 3 mm.	Light Blue
3 < n ≤ 4 mm.	Light Yellow
4 < n ≤ 5 mm.	Yellow
5 < n ≤ 10 mm.	Orange
10 < n ≤ 20 mm.	Dark Orange
20 < n ≤ 40 mm.	Red
n > 40 mm.	Dark Red





ANEXO 55. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. PEQ. 3ª CAMP)

**Sistema Topocéntrico Horizontal 3ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5227	9,7252	3,1998
4001-2001	40,1912	53,4645	2,7112
4001-3001	22,6027	90,0141	1,6211
1001-2001	26,0418	123,1033	-0,3026
1001-3001	36,6116	169,6953	-2,1904
2001-3001	24,5063	220,0366	-2,9512

Trimble B-4000			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5272	9,7045	3,1995
4001-2001	40,1943	53,4636	2,7160
4001-3001	22,6100	90,0141	1,6106
1001-2001	26,0553	123,1009	-0,2949
1001-3001	36,6247	169,6710	-2,1959
2001-3001	24,5061	220,0221	-2,9686

Trimble B-2000			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5334	9,7203	3,1948
4001-2001	40,1947	53,4636	2,7160
4001-3001	22,6026	90,0227	1,6130
1001-2001	26,0479	123,1199	-0,2892
1001-3001	36,6250	169,7041	-2,1906
2001-3001	24,5125	220,0361	-2,9661

**Diferencias**

Trimble B-4000 - TCA 2003							
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	Código de Colores
4001-1001	0,0046	-0,0208	-0,0119	0,0003	-0,0002	125	n ≤ 1 mm.
4001-2001	0,0032	-0,0009	-0,0006	-0,0048	0,0030	79	1 < n ≤ 2 mm.
4001-3001	0,0073	0,0000	0,0000	0,0105	-0,0037	323	2 < n ≤ 3 mm.
1001-2001	0,0135	-0,0024	-0,0010	-0,0077	0,0032	517	3 < n ≤ 4 mm.
1001-3001	0,0131	-0,0243	-0,0140	0,0055	-0,0031	358	4 < n ≤ 5 mm.
2001-3001	-0,0001	-0,0144	-0,0055	0,0174	-0,0067	-5	5 < n ≤ 10 mm.

Trimble B-2000 - TCA 2003							
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm	Código de Colores
4001-1001	0,0107	-0,0050	-0,0029	0,0049	-0,0028	294	10 < n ≤ 20 mm.
4001-2001	0,0035	-0,0009	-0,0006	-0,0048	0,0030	87	20 < n ≤ 40 mm.
4001-3001	-0,0001	0,0086	0,0030	0,0080	-0,0029	-4	n > 40 mm.
1001-2001	0,0061	0,0166	0,0068	-0,0134	0,0055	234	
1001-3001	0,0134	0,0088	0,0051	0,0002	-0,0001	365	
2001-3001	0,0062	-0,0004	-0,0002	0,0149	-0,0057	253	



ANEXO 56. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. GR. 1ª CAMP)

**Sistema Topocéntrico Horizontal 1ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003				
Base	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5211	9,7224	3,2638	96,7362
4002-2002	40,1933	53,4596	2,7706	97,2294
4002-3002	22,6027	90,0130	1,7261	98,2739
1002-2002	26,0402	123,0896	-0,3003	100,3003
1002-3002	36,6091	169,6909	-2,1894	102,1894
2002-3002	24,5084	220,0331	-2,9518	102,9518

Trimble B-4000				
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)	
4002-1002	36,5203	9,7288	3,2407	96,7593
4002-2002	40,1918	53,4639	2,7508	97,2492
4002-3002	22,5993	90,0143	1,6969	98,3031
1002-2002	26,0385	123,0964	-0,2986	100,2986
1002-3002	36,6062	169,7013	-2,1847	102,1847
2002-3002	24,5079	220,0445	-2,9463	102,9463

Trimble B-2000				
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)	
4002-1002	36,5231	409,7266	3,2516	96,7484
4002-2002	40,1896	453,4634	2,7510	97,2490
4002-3002	22,5988	490,0080	1,7058	98,2942
1002-2002	26,0390	123,1061	-0,3142	100,3142
1002-3002	36,6068	569,7019	-2,1903	102,1903
2002-3002	24,5043	220,0450	-2,9386	102,9386

**Diferencias**

Trimble B-4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	-0,0008	0,0064	0,0037	0,0231	-0,0132	-22
4002-2002	-0,0015	0,0042	0,0027	0,0198	-0,0125	-38
4002-3002	-0,0034	0,0013	0,0005	0,0292	-0,0104	-150
1002-2002	-0,0017	0,0067	0,0028	-0,0017	0,0007	-66
1002-3002	-0,0029	0,0105	0,0060	-0,0048	0,0027	-79
2002-3002	-0,0005	0,0114	0,0044	-0,0055	0,0021	-19

Trimble B-2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	0,0020	400,0042	0,0024	0,0122	-0,0070	56
4002-2002	-0,0037	400,0037	0,0024	0,0197	-0,0124	-92
4002-3002	-0,0039	399,9950	-0,0018	0,0203	-0,0072	-173
1002-2002	-0,0012	0,0165	0,0067	0,0140	-0,0057	-44
1002-3002	-0,0023	400,0110	0,0063	0,0009	-0,0005	-63
2002-3002	-0,0041	0,0119	0,0046	-0,0132	0,0051	-166

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red	20 < n ≤ 40 mm.
Dark Red	n > 40 mm.



ANEXO 57. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. GR. 2ª CAMP)

**Sistema Topocéntrico Horizontal 2ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5225	9,7248	3,2613
4002-1002	40,1949	53,4624	2,7684
4002-3002	22,6037	90,0153	1,7214
1002-2002	26,0414	123,0921	-0,3002
1002-3002	36,6106	169,6930	-2,1898
2002-3002	24,5092	220,0357	-2,9524

Trimble B-4000			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5207	9,7373	3,2533
4002-2002	40,1935	53,4687	2,7327
4002-3002	22,6022	90,0226	1,6709
1002-2002	26,0376	123,0975	-0,3440
1002-3002	36,6077	169,7047	-2,2130
2002-3002	24,5094	220,0435	-2,9403

Trimble B-2000			
Base	D	Az (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5213	409,7267	3,2536
4002-2002	40,1913	453,4634	2,7634
4002-3002	22,6020	490,0097	1,7084
1002-2002	26,0392	123,0987	-0,2973
1002-3002	36,6068	569,6952	-2,1903
2002-3002	24,5049	220,0387	-2,9564

**Diferencias**

Trimble B-4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	-0,0018	0,0125	0,0072	0,0081	-0,0046	-48
4002-2002	-0,0014	0,0063	0,0040	0,0358	-0,0226	-34
4002-3002	-0,0015	0,0073	0,0026	0,0505	-0,0179	-67
1002-2002	-0,0039	0,0053	0,0022	0,0438	-0,0179	-149
1002-3002	-0,0029	0,0117	0,0067	0,0232	-0,0134	-78
2002-3002	0,0002	0,0078	0,0030	-0,0121	0,0047	10

Trimble B-2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	-0,0012	400,0019	0,0011	0,0078	-0,0045	-32
4002-2002	-0,0036	400,0010	0,0006	0,0050	-0,0032	-90
4002-3002	-0,0017	399,9944	-0,0020	0,0130	-0,0046	-76
1002-2002	-0,0023	0,0066	0,0027	-0,0029	0,0012	-88
1002-3002	-0,0038	400,0021	0,0012	0,0005	-0,0003	-104
2002-3002	-0,0043	0,0030	0,0012	0,0040	-0,0015	-176

Código de Colores	
n ≤ 1 mm.	
1 < n ≤ 2 mm.	
2 < n ≤ 3 mm.	
3 < n ≤ 4 mm.	
4 < n ≤ 5 mm.	
5 < n ≤ 10 mm.	
10 < n ≤ 20 mm.	
20 < n ≤ 40 mm.	
n > 40 mm.	



ANEXO 58. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. GR. 3ª CAMP)

**Sistema Topocéntrico Horizontal 3ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003				
Base	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5246	9,7274	3,2606	96,7394
4002-2002	40,1927	53,4663	2,7667	97,2333
4002-3002	22,6034	90,0163	1,7199	98,2801
1002-2002	26,0416	123,1055	-0,3025	100,3025
1002-3002	36,6116	169,6980	-2,1902	102,1902
2002-3002	24,5065	220,0387	-2,9510	102,9510

Trimble B-4000				
Base	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5266	9,7133	3,2578	96,7422
4002-2002	40,1941	53,4498	2,7632	97,2368
4002-3002	22,6076	89,9896	1,7135	98,2865
1002-2002	26,0414	123,0915	-0,3039	100,3039
1002-3002	36,6105	169,6766	-2,1913	102,1913
2002-3002	24,5027	220,0186	-2,9516	102,9516

Trimble B-2000				
Base	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5211	409,7098	3,2563	96,7437
4002-2002	40,1915	453,4586	2,7634	97,2366
4002-3002	22,6017	490,0154	1,7128	98,2872
1002-2002	26,0460	123,0895	-0,3011	100,3011
1002-3002	36,6141	569,6829	-2,1899	102,1899
2002-3002	24,5084	220,0305	-2,9520	102,9520

**Diferencias**

Trimble B-4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	0,0020	-0,0141	-0,0081	0,0028	-0,0016	56
4002-2002	0,0014	-0,0165	-0,0104	0,0034	-0,0022	35
4002-3002	0,0042	-0,0266	-0,0095	0,0063	-0,0022	185
1002-2002	-0,0002	-0,0140	-0,0057	0,0014	-0,0006	-7
1002-3002	-0,0012	-0,0214	-0,0123	0,0011	-0,0007	-32
2002-3002	-0,0038	-0,0201	-0,0077	0,0005	-0,0002	-157

Trimble B-2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	-0,0034	399,9824	-0,0101	0,0043	-0,0025	-94
4002-2002	-0,0012	399,9924	-0,0048	0,0033	-0,0021	-30
4002-3002	-0,0017	399,9991	-0,0003	0,0071	-0,0025	-75
1002-2002	0,0044	-0,0160	-0,0065	-0,0014	0,0006	168
1002-3002	0,0025	399,9849	-0,0087	-0,0003	0,0002	67
2002-3002	0,0019	-0,0082	-0,0031	0,0009	-0,0004	78

Código de Colores

n ≤ 1 mm.
1 < n ≤ 2 mm.
2 < n ≤ 3 mm.
3 < n ≤ 4 mm.
4 < n ≤ 5 mm.
5 < n ≤ 10 mm.
10 < n ≤ 20 mm.
20 < n ≤ 40 mm.
n > 40 mm.



ANEXO 59. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR RED DE APOYO (B-4000)

Sistema Topocéntrico Local		Vectores error				Trimble GX				Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)				Código de Colores		
1ª campaña Estación B-4000		Vector Error		E. long. (dy)		E. transv.		ppm		E. long. (dy)		E. transv.			ppm	
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	E.I.	E.t.	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	ppm	
1001	0,0077	38,3137	-46,5633	0,0033	-0,0052	0,0061	164,1722	130	167	130	167	0,0106	cent.	cent.	0,0106	n ≤ 1 mm.
1002	0,0136	108,5476	-88,7309	0,0024	-0,0134	0,0136	188,8303	-9	373	-9	373	0,0237	cent.	cent.	0,0237	1 < n ≤ 2 mm.
2001	0,0060	25,4318	-63,3244	0,0013	-0,0051	0,0052	184,2450	75	130	75	130	0,0083	cent.	cent.	0,0083	2 < n ≤ 3 mm.
2002	0,0129	138,0997	-88,4975	0,0019	-0,0127	0,0128	190,4638	-32	319	-32	319	0,0203	cent.	cent.	0,0203	3 < n ≤ 4 mm.
3001	0,0049	42,8350	-77,8797	0,0013	-0,0046	0,0047	185,8681	58	209	58	209	0,0133	cent.	cent.	0,0133	4 < n ≤ 5 mm.
3002	0,0111	190,8557	-79,2956	0,0005	-0,0105	0,0105	196,9296	-156	467	-156	467	0,0297	cent.	cent.	0,0297	5 < n ≤ 10 mm.
<b>2ª campaña</b>																
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	ppm	E. ang. cent.		
1001	0,0091	70,3646	-58,8795	0,0049	-0,0072	0,0087	162,2630	67	239	67	239	0,0152	cent.	cent.	0,0152	20 < n ≤ 40 mm.
1002	0,0094	116,0900	-36,6059	0,0077	-0,0051	0,0092	137,5500	-54	252	-54	252	0,0161	cent.	cent.	0,0161	n > 40 mm.
2001	0,0272	8,8160	-96,7166	0,0002	-0,0272	0,0272	199,5464	35	676	35	676	0,0431	cent.	cent.	0,0431	
2002	0,0231	104,1940	-89,2077	0,0039	-0,0228	0,0231	189,2307	-6	576	-6	576	0,0366	cent.	cent.	0,0366	
3001	0,0193	43,4122	-96,7032	0,0006	-0,0193	0,0193	197,9210	34	853	34	853	0,0543	cent.	cent.	0,0543	
3002	0,0183	109,4667	-89,9944	0,0028	-0,0181	0,0183	190,1030	-19	809	-19	809	0,0515	cent.	cent.	0,0515	
<b>3ª campaña</b>																
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	ppm	E. ang. cent.		
1001	0,0118	324,7494	-2,8407	-0,0109	-0,0005	0,0109	-103,0694	122	298	-103,0694	122	298	0,0190	cent.	cent.	0,0190
1002	0,0063	316,8004	-18,8454	-0,0058	-0,0018	0,0061	-119,4805	43	166	-119,4805	43	166	0,0106	cent.	cent.	0,0106
2001	0,0048	5,1527	43,0343	0,0037	0,0030	0,0030	6,3959	93	75	0,0030	93	75	0,0048	cent.	cent.	0,0048
2002	0,0090	318,4746	-17,8510	-0,0083	-0,0025	0,0086	-118,5873	61	215	-118,5873	61	215	0,0137	cent.	cent.	0,0137
3001	0,0091	3,1414	-27,1501	0,0004	-0,0037	0,0038	193,1158	364	167	0,0038	364	167	0,0106	cent.	cent.	0,0106
3002	0,0106	340,8455	-14,6809	-0,0082	-0,0024	0,0086	-118,1487	272	380	-118,1487	272	380	0,0242	cent.	cent.	0,0242



ANEXO 60. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR RED DE APOYO (B-2000)

Sistema Topocéntrico Local										Vectores error				Trimble GX							
1ª campaña		Estación B-2000		Vector Error		E. long. (dy)		E. transv.		E. ang. ppm		E. long. (dy)		E. transv.		E. ang. ppm					
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.	E.t.	E. ang. cent.	Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.	E.t.	E. ang. cent.
1001	0,0088	89,9605	-54,3376	0,0057	-0,0066	0,0087	154,7310	35	336	0,0214	3001	0,0069	86,4030	-79,2014	0,0022	-0,0065	0,0069	179,6421	19	280	0,0178
1002	0,0094	123,7956	-52,6685	0,0059	-0,0069	0,0091	154,9292	-89	350	0,0223	3002	0,0086	145,9457	-61,5564	0,0037	-0,0071	0,0080	169,5811	-132	326	0,0208
4001	0,0110	48,6566	-86,4895	0,0016	-0,0108	0,0109	190,5769	42	272	0,0173	4001	0,0110	48,6566	-86,4895	0,0017	-0,0108	0,0109	190,5769	42	272	0,0173
4002	0,0093	180,0837	-75,1602	0,0011	-0,0086	0,0087	191,9847	-84	216	0,0138	4002	0,0093	180,0837	-75,1602	0,0034	-0,0086	0,0087	191,9847	-84	216	0,0138

2ª campaña										
Vector Error		E. long. (dy)		E. transv.		E. ang. ppm				
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.	E.t.	E. ang. cent.
1001	0,0046	56,8533	-68,5088	0,0017	-0,0041	0,0044	174,6765	53	170	0,0108
1002	0,0059	164,3235	-55,8291	0,0020	-0,0045	0,0050	173,4983	-123	191	0,0121
3001	0,0060	159,8531	-94,8188	0,0003	-0,0060	0,0060	196,9405	-16	245	0,0156
3002	0,0059	196,0189	-54,6259	0,0002	-0,0045	0,0045	196,5648	-158	184	0,0117
4001	0,0080	319,3276	-89,9482	-0,0012	-0,0079	0,0080	-190,4008	9	199	0,0126
4002	0,0085	209,5892	-71,5213	-0,0006	-0,0077	0,0077	-195,4246	-91	191	0,0122

3ª campaña										
Vector Error		E. long. (dy)		E. transv.		E. ang. ppm				
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.	E.t.	E. ang. cent.
1001	0,0091	53,5856	-16,7200	0,0066	-0,0024	0,0070	122,0262	225	268	0,0171
1002	0,0079	334,8438	-22,4070	-0,0063	-0,0027	0,0069	-125,8578	148	265	0,0169
3001	0,0068	395,9628	-24,8569	-0,0004	-0,0026	0,0026	-190,2740	255	106	0,0068
3002	0,0048	328,3748	-33,0279	-0,0038	-0,0024	0,0044	-135,9170	73	182	0,0116
4001	0,0046	384,4468	-41,9372	-0,0009	-0,0028	0,0030	-180,7192	89	74	0,0047
4002	0,0068	282,0199	-38,9590	-0,0053	-0,0039	0,0066	-140,1772	-39	165	0,0105

Código de Colores

n ≤ 1 mm.	White
1 < n ≤ 2 mm.	Light Green
2 < n ≤ 3 mm.	Light Blue
3 < n ≤ 4 mm.	Light Yellow
4 < n ≤ 5 mm.	Light Orange
5 < n ≤ 10 mm.	Orange
10 < n ≤ 20 mm.	Dark Orange
20 < n ≤ 40 mm.	Red-Orange
n > 40 mm.	Red



ANEXO 61. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA COORDENADAS RED DE CONTROL 1ª CAMP.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas Trimble respecto coordenadas TCA-2003 1ª campaña**

Pto.	Coordenadas									Diferencias									Código de Colores
	TCA 2003			Trimble B-4000			Trimble B-2000			Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003						
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ				
100 V	7,7954	60,4578	4,4532	7,7976	60,4587	4,4491	7,7961	60,4669	4,4635	0,0023	0,0009	-0,0041	0,0008	0,0091	0,0103				
101 N	7,9878	60,3688	4,8136	7,9893	60,3725	4,8207	7,9943	60,3756	4,8137	0,0015	0,0038	0,0071	0,0065	0,0068	0,0001				
102 p	8,2441	60,1928	4,4460	8,2458	60,2025	4,4410	8,2424	60,2009	4,4349	0,0017	0,0096	-0,0050	-0,0016	0,0080	-0,0111				
200 V	36,1930	47,5552	3,9076	36,1983	47,5518	3,9025	36,1941	47,5546	3,9027	0,0053	-0,0034	-0,0051	0,0011	-0,0006	-0,0049				
201 N	36,5417	47,3980	3,7286	36,5429	47,3986	3,7364	36,5459	47,3972	3,7346	0,0011	0,0006	0,0078	0,0041	-0,0009	0,0059				
202 G	36,5488	47,3058	4,0759	36,5502	47,3068	4,0586	36,5492	47,3052	4,0707	0,0014	0,0010	-0,0173	0,0004	-0,0006	-0,0052				
300 V	50,5079	41,0576	4,4498	50,5081	41,0581	4,4435	50,5082	41,0575	4,4432	0,0002	0,0005	-0,0063	0,0003	-0,0001	-0,0066				
301 N	50,1625	41,2147	4,4490	50,1588	41,2204	4,4519	50,1617	41,2159	4,4545	-0,0036	0,0057	0,0029	-0,0008	0,0013	0,0055				
302 p	50,4342	41,0297	4,0829	50,4377	41,0368	4,0771	50,4373	41,0326	4,0768	0,0035	0,0072	-0,0058	0,0031	0,0030	-0,0061				
400 V	44,1382	21,9492	3,6613	44,1374	21,9486	3,6561	44,1373	21,9497	3,6571	-0,0008	-0,0006	-0,0052	-0,0009	0,0005	-0,0042				
401 N	44,0735	21,4373	3,4227	44,0740	21,4248	3,4311	44,0737	21,4426	3,4177	0,0005	-0,0125	0,0085	0,0003	0,0054	-0,0050				
402 G	44,0392	21,8307	3,2339	44,0383	21,8311	3,2173	44,0379	21,8310	3,2282	-0,0009	0,0004	-0,0165	-0,0013	0,0003	-0,0056				
500 V	42,3961	8,3745	2,6378	42,3953	8,3720	2,6339	42,3950	8,3755	2,6315	-0,0008	-0,0025	-0,0040	-0,0011	0,0010	-0,0064				
501 N	42,3238	7,8192	2,6363	42,3244	7,8164	2,6383	42,3239	7,8249	2,6330	0,0005	-0,0029	0,0020	0,0000	0,0056	-0,0033				
502 p	42,2943	8,0197	2,9894	42,2990	8,0198	2,9846	42,2960	8,0186	2,9833	0,0046	0,0001	-0,0048	0,0017	-0,0010	-0,0061				
600 V	41,3003	-0,1276	2,7014	41,2987	-0,1305	2,6976	41,2995	-0,1253	2,6945	-0,0016	-0,0029	-0,0038	-0,0008	0,0023	-0,0069				
601 N	41,3469	0,2440	2,4625	41,3473	0,2401	2,4586	41,3475	0,2495	2,4605	0,0004	-0,0039	-0,0039	0,0006	0,0054	-0,0020				
602 G	41,2163	-0,1230	2,3315	41,2151	-0,1207	2,3170	41,2150	-0,1206	2,3230	-0,0013	0,0023	-0,0145	-0,0013	0,0024	-0,0086				



ANEXO 62. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA COORDENADAS RED DE CONTROL 2ª CAMP.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas Trimble respecto coordenadas TCA-2003 2ª campaña**

Pto.	TCA 2003									Coordenadas									Diferencias									Código de Colores
	Trimble B-4000			Trimble B-2000			Trimble B-4000 - TCA 2003			Trimble B-2000 - TCA 2003			Trimble B-4000 - TCA 2003			Trimble B-2000 - TCA 2003												
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ										
100 V	7,7952	60,4606	4,4529	7,8076	60,4564	4,4478	7,7986	60,4580	4,4472	7,986	60,4580	4,4472	0,0124	-0,0042	-0,0051	0,0034	-0,0026	-0,0056										
101 N	7,9876	60,3714	4,8133	8,0185	60,3577	4,8011	7,9969	60,3677	4,8096	8,2438	60,1993	4,4408	0,0310	-0,0137	-0,0122	0,0093	-0,0037	-0,0037										
102 p	8,2438	60,1955	4,4449	8,2560	60,1983	4,4401	8,2438	60,1993	4,4408	36,1926	47,5527	3,9039	0,0123	0,0028	-0,0048	0,0001	0,0037	-0,0040										
200 V	36,1941	47,5562	3,9070	36,2016	47,5487	3,8766	36,1926	47,5527	3,9039	36,5461	47,3939	3,7193	0,0075	-0,0075	-0,0304	-0,0015	-0,0034	-0,0030										
201 N	36,5429	47,3995	3,7282	36,5503	47,3919	3,6988	36,5461	47,3939	3,7193	50,5073	41,0561	4,4445	0,0074	-0,0076	-0,0294	0,0032	-0,0056	-0,0090										
202 G	36,5497	47,3068	4,0757	36,5561	47,3009	4,0439	36,5471	47,3039	4,0718	50,1626	41,2129	4,4442	0,0065	-0,0059	-0,0318	-0,0026	-0,0029	-0,0039										
300 V	50,5094	41,0586	4,4486	50,5121	41,0551	4,4081	50,5073	41,0561	4,4445	50,4356	41,0321	4,0786	0,0028	-0,0035	-0,0405	-0,0021	-0,0025	-0,0041										
301 N	50,1644	41,2158	4,4487	50,1641	41,2144	4,4091	50,1626	41,2129	4,4442	21,9506	3,6584	4,4445	-0,0003	-0,0014	-0,0396	-0,0018	-0,0029	-0,0045										
302 p	50,4357	41,0309	4,0826	50,4407	41,0311	4,0431	50,4356	41,0321	4,0786	44,1364	21,9506	3,6584	0,0049	0,0002	-0,0396	-0,0001	0,0012	-0,0040										
400 V	44,1390	21,9499	3,6610	44,1387	21,9457	3,6262	44,1364	21,9506	3,6584	44,0711	21,4328	3,4194	-0,0004	-0,0042	-0,0348	-0,0027	0,0007	-0,0026										
401 N	44,0744	21,4378	3,4223	44,0753	21,4312	3,3860	44,0711	21,4328	3,4194	21,8323	3,2289	4,0786	0,0010	-0,0066	-0,0362	-0,0032	-0,0050	-0,0029										
402 G	44,0401	21,8315	3,2337	44,0405	21,8285	3,1980	44,0376	21,8323	3,2289	42,3957	8,3776	2,6338	0,0004	-0,0030	-0,0357	-0,0025	0,0008	-0,0048										
500 V	42,3970	8,3749	2,6375	42,3951	8,3714	2,6035	42,3957	8,3776	2,6338	42,3239	7,8208	2,6331	-0,0019	-0,0035	-0,0340	-0,0013	0,0027	-0,0037										
501 N	42,3247	7,8195	2,6357	42,3235	7,8153	2,5992	42,3239	7,8208	2,6331	8,0190	2,9849	8,0190	-0,0012	-0,0041	-0,0366	-0,0008	0,0013	-0,0026										
502 p	42,2951	8,0192	2,9883	42,2986	8,0173	2,9537	42,2971	8,0190	2,9849	-0,0250	0,0079	0,0032	0,0034	-0,0019	-0,0346	0,0019	-0,0002	-0,0034										
600 V	41,3011	-0,1279	2,7010	41,2991	-0,1304	2,6667	41,3027	-0,1250	2,6959	41,3510	0,2519	2,4576	-0,0021	-0,0025	-0,0344	0,0015	0,0029	-0,0052										
601 N	41,3478	0,2440	2,4622	41,3472	0,2446	2,4254	41,3510	0,2519	2,4576	41,2181	-0,1196	2,3253	-0,0007	0,0007	-0,0367	0,0032	0,0079	-0,0045										
602 G	41,2175	-0,1232	2,3309	41,2159	-0,1246	2,2954	41,2181	-0,1196	2,3253	-0,0016	-0,0014	-0,0355	-0,0016	-0,0014	-0,0355	0,0006	0,0036	-0,0056										





ANEXO 63. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPARATIVA COORDENADAS RED DE CONTROL 3ª CAMP.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas Trimble respecto coordenadas TCA-2003 3ª campaña**

Pto.	Coordenadas									Diferencias									Código de Colores
	TCA 2003			Trimble B-4000			Trimble B-2000			Trimble B 4000 - TCA 2003			Trimble B 2000 - TCA 2003						
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ				
100 V	7,7948	60,4594	4,4522	7,7838	60,4580	4,4570	7,8063	60,4636	4,4505	-0,0110	-0,0013	0,0048	0,0115	0,0042	-0,0017	1			
101 N	7,9873	60,3704	4,8125	7,9761	60,3679	4,8176	8,0006	60,3734	4,8088	-0,0112	-0,0025	0,0051	0,0133	0,0030	-0,0037	2			
102 p	8,2432	60,1947	4,4442	8,2305	60,1995	4,4496	8,2494	60,2065	4,4426	-0,0127	0,0048	0,0053	0,0062	0,0117	-0,0017	3			
200 V	36,1936	47,5546	3,9066	36,1907	47,5541	3,9112	36,1988	47,5581	3,9067	-0,0028	-0,0005	0,0046	0,0052	0,0035	0,0001	4			
201 N	36,5426	47,3979	3,7277	36,5470	47,3909	3,7416	36,5479	47,3990	3,7282	0,0044	-0,0071	0,0138	0,0053	0,0011	0,0005	5			
202 G	36,5492	47,3055	4,0749	36,5443	47,3047	4,0794	36,5538	47,3070	4,0749	-0,0049	-0,0008	0,0046	0,0046	0,0015	0,0001	10			
300 V	50,5101	41,0568	4,4484	50,5124	41,0527	4,4522	50,5151	41,0568	4,4482	0,0023	-0,0041	0,0039	0,0051	0,0000	-0,0001	20			
301 N	50,1646	41,2138	4,4483	50,1583	41,2119	4,4621	50,1682	41,2118	4,4489	-0,0063	-0,0019	0,0138	0,0036	-0,0020	0,0006	n > 40 mm.			
302 p	50,4357	41,0290	4,0824	50,4417	41,0270	4,0864	50,4443	41,0314	4,0819	0,0060	-0,0020	0,0040	0,0086	0,0024	-0,0005	10 < n ≤ 20 mm.			
400 V	44,1374	21,9497	3,6604	44,1355	21,9500	3,6569	44,1406	21,9477	3,6605	-0,0019	0,0003	-0,0034	0,0032	-0,0020	0,0001	1 < n ≤ 2 mm.			
401 N	44,0729	21,4375	3,4216	44,0692	21,4379	3,4270	44,0744	21,4395	3,4175	-0,0037	0,0004	0,0054	0,0015	0,0020	-0,0041	2 < n ≤ 3 mm.			
402 G	44,0388	21,8313	3,2327	44,0361	21,8328	3,2337	44,0400	21,8297	3,2326	-0,0027	0,0015	0,0010	0,0012	-0,0016	-0,0001	3 < n ≤ 4 mm.			
500 V	42,3949	8,3736	2,6372	42,3952	8,3712	2,6360	42,3968	8,3707	2,6358	0,0003	-0,0023	-0,0012	0,0019	-0,0029	-0,0014	4 < n ≤ 5 mm.			
501 N	42,3226	7,8181	2,6354	42,3218	7,8201	2,6401	42,3231	7,8195	2,6350	-0,0008	0,0021	0,0046	0,0005	0,0014	-0,0005	5 < n ≤ 10 mm.			
502 p	42,2936	8,0176	2,9878	42,2973	8,0184	2,9875	42,2975	8,0119	2,9882	0,0037	0,0008	-0,0003	0,0040	-0,0057	0,0004	10 < n ≤ 20 mm.			
600 V	41,2992	-0,1298	2,7006	41,3001	-0,1253	2,6988	41,3006	-0,1314	2,6979	0,0009	0,0044	-0,0018	0,0014	-0,0016	-0,0027	20 < n ≤ 40 mm.			
601 N	41,3458	0,2423	2,4617	41,3485	0,2779	2,4402	41,3467	0,2478	2,4583	0,0026	0,0356	-0,0215	0,0008	0,0055	-0,0034	n > 40 mm.			
602 G	41,2152	-0,1249	2,3303	41,2155	-0,1228	2,3285	41,2153	-0,1286	2,3285	0,0003	0,0021	-0,0018	0,0001	-0,0037	-0,0018				



ANEXOS

ANEXO 64. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR 1ª CAMPAÑA B-4000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 1ª campaña				Estación B-4000			Vectores error Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)					Trimble GX		
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			ppm		E. ang. cent.	Código de Colores			
	Dg	Or. (cent)	ε <sub>a</sub> (cent)		dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.					E.t.
100 V	0,0048	67,5339	-70,3483	0,0010	0,0019	-0,0043	0,0047	173,6814	17	76	0,0049	1 < n ≤ 2 mm.		
101 N	0,0082	16,0263	62,0264	0,0044	0,0011	0,0068	0,0069	10,6662	73	112	0,0071	2 < n ≤ 3 mm.		
102 p	0,0110	2,7029	-34,7069	0,0094	0,0004	-0,0057	0,0057	195,5519	154	94	0,0060	3 < n ≤ 4 mm.		
200 V	0,0081	94,4917	-47,7549	0,0005	0,0059	-0,0055	0,0081	147,8739	9	135	0,0086	4 < n ≤ 5 mm.		
201 N	0,0079	27,6239	85,6251	0,0016	0,0007	0,0077	0,0077	6,1294	27	128	0,0082	5 < n ≤ 10 mm.		
202 G	0,0174	17,8902	-97,9687	0,0005	0,0002	-0,0174	0,0174	199,4365	9	290	0,0185	10 < n ≤ 20 mm.		
300 V	0,0063	366,3473	-99,1355	0,0001	0,0000	-0,0063	0,0063	-199,5640	1	97	0,0062	20 < n ≤ 40 mm.		
301 N	0,0074	307,9507	21,2699	0,0009	-0,0069	0,0024	0,0073	-78,5754	13	112	0,0072	n > 40 mm.		
302 p	0,0099	372,7132	-44,0589	0,0069	-0,0032	-0,0063	0,0071	-170,4096	106	108	0,0069			
400 V	0,0053	190,0519	-93,2221	-0,0006	0,0001	-0,0053	0,0053	198,9413	-11	107	0,0068			
401 N	0,0151	126,1670	33,3998	-0,0052	0,0120	0,0076	0,0142	64,1496	-106	288	0,0184			
402 G	0,0166	256,9087	-100,2023	0,0000	0,0000	-0,0166	0,0166	199,8423	1	336	0,0214			
500 V	0,0048	132,8457	-66,2265	-0,0012	0,0021	-0,0041	0,0046	169,9635	-28	107	0,0068			
501 N	0,0036	100,4766	34,5262	0,0000	0,0031	0,0018	0,0036	65,4730	-1	83	0,0053			
502 p	0,0067	9,9540	-55,5622	0,0042	0,0007	-0,0051	0,0052	191,7302	98	120	0,0076			
600 V	0,0050	131,5676	-58,8911	-0,0014	0,0027	-0,0040	0,0048	162,7397	-35	116	0,0074			
601 N	0,0055	93,6657	-53,6545	0,0004	0,0037	-0,0041	0,0055	153,8112	9	133	0,0085			
602 G	0,0147	268,5363	-92,0697	-0,0009	-0,0016	-0,0146	0,0147	-193,0106	-21	356	0,0227			

ANEXO 65. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR 1ª CAMPAÑA B-2000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 1ª campaña				Estación B-2000			Vectores error Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)					Trimble GX		
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			ppm		E. ang. cent.	Código de Colores			
	Dg	Or. (cent)	ε <sub>a</sub> (cent)		dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.					E.t.
100 V	0,0138	42,3703	49,1367	0,0078	0,0061	0,0096	0,0114	35,9933	193	283	0,0180	1 < n ≤ 2 mm.		
101 N	0,0094	85,3248	-4,5228	0,0021	0,0091	-0,0007	0,0092	104,6453	53	228	0,0145	2 < n ≤ 3 mm.		
102 p	0,0138	23,9512	-64,1837	0,0068	0,0027	-0,0117	0,0120	185,5064	171	300	0,0191	3 < n ≤ 4 mm.		
200 V	0,0051	113,7251	-89,8929	-0,0002	0,0008	-0,0050	0,0051	190,1231	-8	233	0,0148	4 < n ≤ 5 mm.		
201 N	0,0073	93,1543	54,8252	0,0005	0,0047	0,0055	0,0073	44,9926	23	334	0,0212	5 < n ≤ 10 mm.		
202 G	0,0053	144,0506	-98,4987	-0,0001	0,0001	-0,0053	0,0053	198,8439	-4	242	0,0154	10 < n ≤ 20 mm.		
300 V	0,0066	52,0437	-103,6219	-0,0003	-0,0003	-0,0066	0,0066	-197,3567	-10	263	0,0167	20 < n ≤ 40 mm.		
301 N	0,0057	304,9444	76,6839	0,0002	-0,0020	0,0054	0,0057	-23,2519	6	229	0,0146	n > 40 mm.		
302 p	0,0075	390,3423	-66,5576	0,0037	-0,0006	-0,0065	0,0065	-194,4377	148	259	0,0165			
400 V	0,0043	213,2581	-91,6878	-0,0006	-0,0001	-0,0043	0,0043	-198,2720	-36	284	0,0181			
401 N	0,0073	280,1950	-54,0292	-0,0015	-0,0046	-0,0055	0,0072	-155,5770	-97	471	0,0300			
402 G	0,0058	190,4099	-90,5697	-0,0008	0,0001	-0,0057	0,0057	198,5746	-56	380	0,0242			
500 V	0,0065	182,6167	-88,0559	-0,0012	0,0003	-0,0064	0,0064	196,7435	-53	289	0,0184			
501 N	0,0065	237,2693	-36,0813	-0,0046	-0,0030	-0,0035	0,0046	-154,4827	-201	204	0,0130			
502 p	0,0064	371,7968	-83,3817	0,0015	-0,0007	-0,0062	0,0062	-192,7416	66	276	0,0176			
600 V	0,0073	204,7813	-80,3560	-0,0022	-0,0002	-0,0070	0,0070	-198,4777	-76	238	0,0152			
601 N	0,0058	233,1082	-23,9122	-0,0047	-0,0027	-0,0021	0,0034	-142,7035	-162	118	0,0075			
602 G	0,0090	193,2889	-81,5147	-0,0026	0,0003	-0,0086	0,0086	197,9990	-88	295	0,0188			



ANEXO 66. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR 2ª CAMPAÑA B-4000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 2ª campaña				Estación B-4000			Vectores error Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)						Trimble GX		ppm		E. ang.		Código de Colores
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	cent.	E.I.	E.t.	cent.	E.I.	E.t.	cent.		
	Dg	Or. (cent)	ea (cent)		dx	dz	Et												
100 V	0,0140	112,4980	-28,2916	-0,0025	0,0124	-0,0060	0,0138	128,7738	-40	226	0,0144								
101 N	0,0360	118,0909	-27,0050	-0,0092	0,0315	-0,0148	0,0348	127,9957	-150	569	0,0363								
102 p	0,0135	77,0674	-27,6587	0,0043	0,0114	-0,0057	0,0127	129,3054	71	209	0,0133								
200 V	0,0322	108,7625	-82,8531	-0,0012	0,0085	-0,0310	0,0322	183,0076	-20	537	0,0342								
201 N	0,0313	108,9526	-81,8687	-0,0012	0,0087	-0,0300	0,0313	182,0383	-21	521	0,0332								
202 G	0,0330	105,4718	-87,2058	-0,0006	0,0066	-0,0323	0,0330	187,2518	-9	551	0,0351								
300 V	0,0408	101,0219	-97,3211	0,0000	0,0017	-0,0407	0,0408	197,3215	0	625	0,0398								
301 N	0,0396	159,1731	-102,0380	0,0010	-0,0008	-0,0396	0,0396	-198,7805	16	609	0,0387								
302 p	0,0399	41,1910	-96,0876	0,0020	0,0015	-0,0398	0,0398	197,6397	30	611	0,0389								
400 V	0,0351	134,8831	-97,0829	-0,0008	0,0014	-0,0350	0,0350	197,5095	-17	709	0,0451								
401 N	0,0369	119,5015	-92,7937	-0,0013	0,0040	-0,0366	0,0368	193,1265	-26	750	0,0477								
402 G	0,0358	120,3975	-98,8009	-0,0002	0,0006	-0,0358	0,0358	198,8619	-4	727	0,0463								
500 V	0,0342	144,0462	-96,5189	-0,0012	0,0014	-0,0342	0,0342	197,3183	-28	790	0,0503								
501 N	0,0368	130,2256	-96,3927	-0,0010	0,0019	-0,0368	0,0368	196,7909	-22	854	0,0544								
502 p	0,0348	43,3762	-97,2526	0,0012	0,0009	-0,0348	0,0348	198,2689	27	806	0,0513								
600 V	0,0345	143,5652	-98,1414	-0,0006	0,0008	-0,0345	0,0345	198,5597	-15	834	0,0531								
601 N	0,0368	250,9033	-102,1743	0,0009	0,0009	-0,0367	0,0367	198,4406	21	887	0,0565								
602 G	0,0356	153,9366	-99,7865	-0,0001	0,0001	-0,0356	0,0356	199,8587	-2	862	0,0549								

ANEXO 67. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR 2ª CAMPAÑA B-2000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 2ª campaña				Estación B-2000			Vectores error Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)						Trimble GX		ppm		E. ang.		Código de Colores
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	cent.	E.I.	E.t.	cent.	E.I.	E.t.	cent.		
	Dg	Or. (cent)	ea (cent)		dx	dz	Et												
100 V	0,0071	177,8255	-63,1691	-0,0037	0,0013	-0,0059	0,0061	186,0376	-90	151	0,0096								
101 N	0,0107	160,8126	-27,5394	-0,0079	0,0056	-0,0045	0,0072	142,9438	-197	178	0,0113								
102 p	0,0055	37,9553	-57,1390	0,0028	0,0019	-0,0043	0,0047	173,1948	71	118	0,0075								
200 V	0,0048	207,9666	-49,2859	-0,0034	-0,0004	-0,0034	0,0034	-191,9176	-157	156	0,0100								
201 N	0,0110	146,7754	-66,2583	-0,0037	0,0041	-0,0095	0,0104	173,8915	-172	477	0,0304								
202 G	0,0055	226,0738	-56,9235	-0,0031	-0,0014	-0,0043	0,0045	-180,2944	-145	207	0,0131								
300 V	0,0052	182,1254	-63,2399	-0,0027	0,0008	-0,0044	0,0044	188,6296	-109	176	0,0112								
301 N	0,0057	174,6590	-64,8367	-0,0028	0,0012	-0,0048	0,0050	185,0705	-110	199	0,0127								
302 p	0,0042	333,3923	-86,8121	0,0004	-0,0007	-0,0041	0,0042	-188,5442	17	167	0,0106								
400 V	0,0038	195,1399	-55,6711	-0,0024	0,0002	-0,0029	0,0029	195,9463	-160	192	0,0122								
401 N	0,0066	113,4397	-35,3426	-0,0012	0,0055	-0,0035	0,0065	135,9860	-77	428	0,0272								
402 G	0,0054	197,3107	-74,3169	-0,0021	0,0001	-0,0050	0,0050	198,8526	-142	332	0,0212								
500 V	0,0047	209,8217	-60,0556	-0,0027	-0,0004	-0,0038	0,0039	-192,9346	-123	173	0,0110								
501 N	0,0030	202,4825	-68,6555	-0,0014	-0,0001	-0,0027	0,0027	-198,6689	-63	118	0,0075								
502 p	0,0039	344,2277	-70,3336	0,0011	-0,0013	-0,0035	0,0037	-176,5275	50	166	0,0105								
600 V	0,0061	255,9942	-65,9323	-0,0020	-0,0024	-0,0053	0,0058	-172,7238	-68	198	0,0126								
601 N	0,0097	250,4212	-32,8877	-0,0059	-0,0060	-0,0048	0,0077	-142,8811	-204	264	0,0168								
602 G	0,0066	236,0814	-64,7893	-0,0029	-0,0019	-0,0056	0,0059	-179,6237	-101	204	0,0130								



ANEXOS

ANEXO 68. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR 3ª CAMPAÑA B-4000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 3ª campaña Estación B-4000					Vectores error Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)				Trimble GX			
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			Dir. (Cent.)	ppm		E. ang. cent.	
	Dg	Or. (cent)	εα (cent)		dx	dz	Et		E.l.	E.t.		
100 V	0,0121	284,0749	21,2938	-0,0028	-0,0111	0,0040	0,0118	-78,0743	-46	192	0,0122	
101 N	0,0126	277,4741	21,4497	-0,0041	-0,0111	0,0042	0,0119	-77,2481	-67	194	0,0124	
102 p	0,0146	314,3472	19,2832	0,0031	-0,0135	0,0043	0,0142	-80,2476	51	233	0,0149	
200 V	0,0054	247,3296	60,4812	-0,0023	-0,0021	0,0044	0,0049	-28,6953	-39	82	0,0052	
201 N	0,0162	122,6021	61,5469	-0,0032	0,0086	0,0133	0,0158	36,5596	-53	264	0,0168	
202 G	0,0068	247,6549	42,9506	-0,0039	-0,0036	0,0042	0,0055	-44,8813	-65	92	0,0059	
300 V	0,0061	110,9963	39,2724	-0,0009	0,0049	0,0035	0,0060	60,2761	-13	92	0,0059	
301 N	0,0153	224,6925	67,2387	-0,0070	-0,0028	0,0133	0,0136	-13,4124	-107	209	0,0133	
302 p	0,0074	64,1155	31,8593	0,0035	0,0055	0,0036	0,0066	63,4428	53	101	0,0064	
400 V	0,0039	240,0461	-72,3780	-0,0013	-0,0010	-0,0036	0,0037	-183,0568	-27	75	0,0047	
401 N	0,0065	235,9387	57,3464	-0,0034	-0,0022	0,0051	0,0056	-25,5228	-70	113	0,0072	
402 G	0,0032	261,2620	15,5202	-0,0018	-0,0026	0,0008	0,0027	-81,2614	-37	55	0,0035	
500 V	0,0027	103,0613	-33,5513	-0,0001	0,0023	-0,0013	0,0027	133,5834	-3	61	0,0039	
501 N	0,0051	288,4639	67,8556	-0,0004	-0,0024	0,0045	0,0051	-31,7014	-10	118	0,0075	
502 p	0,0038	398,7575	-9,9335	0,0038	-0,0001	-0,0006	0,0006	-192,1425	87	14	0,0009	
600 V	0,0049	312,5918	-28,3265	0,0009	-0,0043	-0,0021	0,0048	-128,8165	21	116	0,0074	
601 N	0,0417	305,0530	-38,2843	0,0027	-0,0342	-0,0236	0,0416	-138,3780	66	1003	0,0639	
602 G	0,0028	308,0409	-47,5992	0,0003	-0,0020	-0,0019	0,0028	-147,8531	6	68	0,0043	

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Light Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Dark Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.

ANEXO 69. CLÁSICA/TRIMBLE: COMPONENTES VECTORES ERROR 3ª CAMPAÑA B-2000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 3ª campaña Estación B-2000					Vectores error Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)				Trimble GX			
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			Dir. (Cent.)	ppm		E. ang. cent.	
	Dg	Or. (cent)	εα (cent)		dx	dz	Et		E.l.	E.t.		
100 V	0,0124	114,7293	-13,5399	-0,0028	0,0118	-0,0026	0,0121	113,8990	-69	300	0,0191	
101 N	0,0141	122,7513	-22,1234	-0,0047	0,0125	-0,0048	0,0134	123,4873	-116	332	0,0211	
102 p	0,0134	67,5264	-12,6127	0,0064	0,0115	-0,0026	0,0118	114,3943	161	295	0,0188	
200 V	0,0063	43,5099	-4,8441	0,0049	0,0040	-0,0005	0,0040	107,6489	224	184	0,0117	
201 N	0,0055	67,4080	0,4530	0,0027	0,0048	0,0000	0,0048	99,4804	123	219	0,0139	
202 G	0,0048	59,7992	-5,9128	0,0028	0,0039	-0,0004	0,0039	107,3142	131	180	0,0114	
300 V	0,0051	38,8350	-7,8431	0,0041	0,0029	-0,0006	0,0029	113,5518	163	117	0,0074	
301 N	0,0042	72,2068	2,0190	0,0018	0,0038	0,0001	0,0038	97,7722	70	151	0,0096	
302 p	0,0089	21,0287	-8,9423	0,0084	0,0029	-0,0013	0,0031	126,1716	334	125	0,0079	
400 V	0,0038	14,7328	-5,3630	0,0037	0,0009	-0,0003	0,0009	122,4576	243	61	0,0039	
401 N	0,0048	319,3733	-71,6779	0,0006	-0,0020	-0,0043	0,0048	-172,8238	41	312	0,0199	
402 G	0,0020	38,8202	-9,4989	0,0016	0,0011	-0,0003	0,0012	116,3420	109	79	0,0050	
500 V	0,0038	0,9196	-27,5987	0,0034	0,0000	-0,0016	0,0016	198,0140	153	71	0,0045	
501 N	0,0016	260,1715	-21,5299	-0,0009	-0,0012	-0,0005	0,0013	-126,0612	-38	58	0,0037	
502 p	0,0070	398,3755	-0,2508	0,0070	-0,0002	0,0000	0,0002	-109,7513	310	8	0,0005	
600 V	0,0034	379,4660	-59,9419	0,0019	-0,0006	-0,0028	0,0028	-185,5630	65	97	0,0062	
601 N	0,0065	235,5123	-36,3622	-0,0046	-0,0029	-0,0035	0,0046	-156,1347	-160	157	0,0100	
602 G	0,0041	23,6463	-29,9740	0,0034	0,0013	-0,0018	0,0023	160,5655	116	78	0,0049	

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Light Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Dark Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.



ANEXO 70. FARO. ESTACIÓN B-4000: COORDENADAS. DIFERENCIAS ENTRE CAMPAÑAS.

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000					
Escáner Láser Faro Photon 80				Estación B-4000					
Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
100 V	7,8031	60,4561	4,4670	7,7888	60,4599	4,4918	7,7909	60,4552	4,4539
101 N	8,0008	60,3642	4,8240	7,9829	60,3665	4,8450	7,9806	60,3698	4,8148
102 p	8,2547	60,2068	4,4622	8,2424	60,2090	4,4793	8,2329	60,2057	4,4473
200 V	36,1982	47,5472	3,9352	36,1995	47,5454	3,9499	36,1877	47,5509	3,9103
201 N	36,5522	47,3884	3,7513	36,5387	47,3931	3,7726	36,5421	47,3927	3,7313
202 G	36,5573	47,3006	4,0949	36,5534	47,2956	4,1319	36,5456	47,2984	4,0795
300 V	50,5276	41,0422	4,4965	50,5093	41,0516	4,5114	50,5076	41,0475	4,4480
301 N	50,1609	41,2083	4,4767	50,1642	41,2094	4,4895	50,1662	41,2078	4,4586
302 p	50,4737	41,0986	4,0979	50,4429	41,0379	4,1280	50,4490	41,0329	4,0894
400 V	44,1362	21,9461	3,6792	44,1379	21,9438	3,6754	44,1375	21,9561	3,6598
401 N	44,0716	21,4290	3,4483	44,0712	21,4299	3,4429	44,0714	21,4376	3,4235
402 G	44,0405	21,8192	3,2618	44,0456	21,8301	3,2662	44,0381	21,8266	3,2399
500 V	42,3940	8,3690	2,6638	42,3961	8,3695	2,6428	42,3935	8,3696	2,6378
501 N	42,3209	7,8153	2,6589	42,3236	7,8181	2,6435	42,3207	7,8115	2,6367
502 p	42,3014	8,0228	3,0161	42,3051	8,0196	2,9925	42,3025	8,0169	2,9902
600 V	41,2953	-0,1303	2,7268	41,2970	-0,1308	2,7217	41,2935	-0,1350	2,7000
601 N	41,3420	0,2412	2,4897	41,3425	0,2403	2,4890	41,3411	0,2384	2,4664
602 G	41,2135	-0,1254	2,3586	41,2141	-0,1306	2,3568	41,2117	-0,1312	2,3342
1001	5,5468	36,0569	1,8440	5,5484	36,0553	1,8724	5,5449	36,0607	1,8297
1002	5,5532	36,0464	1,8763	5,5466	36,0472	1,9074	5,5429	36,0498	1,8656
2001	29,9010	26,8135	1,7211	29,9019	26,8118	1,7391	29,9025	26,8093	1,7112
2002	29,8918	26,8052	1,7687	29,8927	26,8056	1,7805	29,8915	26,8039	1,7557
3001	22,3267	3,5340	0,5714	22,3277	3,5291	0,5901	22,3273	3,5290	0,5755
3002	22,3152	3,5250	0,6188	22,3168	3,5259	0,6207	22,3128	3,5368	0,6118
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000					
Escáner Láser Faro Photon 80				Estación B-4000			Diferencias entre campañas		
Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
100 V	-0,0143	0,0038	0,0248	0,0020	-0,0047	-0,0380	-0,0122	-0,0009	-0,0131
101 N	-0,0179	0,0023	0,0209	-0,0023	0,0034	-0,0302	-0,0202	0,0057	-0,0093
102 p	-0,0123	0,0022	0,0170	-0,0096	-0,0033	-0,0320	-0,0218	-0,0011	-0,0150
200 V	0,0013	-0,0018	0,0147	-0,0118	0,0055	-0,0396	-0,0106	0,0037	-0,0249
201 N	-0,0136	0,0048	0,0213	0,0035	-0,0005	-0,0434	-0,0101	0,0043	-0,0201
202 G	-0,0039	-0,0051	0,0371	-0,0078	0,0029	-0,0524	-0,0117	-0,0022	-0,0154
300 V	-0,0183	0,0095	0,0149	-0,0017	-0,0041	-0,0633	-0,0201	0,0054	-0,0485
301 N	0,0033	0,0012	0,0128	0,0020	-0,0017	-0,0309	0,0053	-0,0005	-0,0181
302 p	-0,0308	-0,0607	0,0301	0,0060	-0,0050	-0,0386	-0,0248	-0,0657	-0,0086
400 V	0,0018	-0,0024	-0,0038	-0,0004	0,0124	-0,0156	0,0013	0,0100	-0,0194
401 N	-0,0004	0,0008	-0,0054	0,0002	0,0077	-0,0194	-0,0002	0,0085	-0,0247
402 G	0,0050	0,0108	0,0044	-0,0074	-0,0034	-0,0263	-0,0024	0,0074	-0,0219
500 V	0,0021	0,0004	-0,0210	-0,0026	0,0001	-0,0050	-0,0005	0,0005	-0,0260
501 N	0,0027	0,0028	-0,0154	-0,0029	-0,0066	-0,0068	-0,0002	-0,0038	-0,0222
502 p	0,0037	-0,0031	-0,0236	-0,0026	-0,0028	-0,0023	0,0012	-0,0059	-0,0259
600 V	0,0017	-0,0005	-0,0051	-0,0035	-0,0042	-0,0217	-0,0018	-0,0046	-0,0268
601 N	0,0004	-0,0009	-0,0008	-0,0014	-0,0019	-0,0226	-0,0009	-0,0029	-0,0234
602 G	0,0007	-0,0051	-0,0018	-0,0024	-0,0006	-0,0226	-0,0017	-0,0058	-0,0244
1001	0,0017	-0,0016	0,0284	-0,0036	0,0054	-0,0427	-0,0019	0,0038	-0,0142
1002	-0,0066	0,0008	0,0311	-0,0037	0,0026	-0,0438	-0,0103	0,0034	-0,0107
2001	0,0009	-0,0017	0,0180	0,0006	-0,0025	-0,0279	0,0015	-0,0042	-0,0099
2002	0,0009	0,0004	0,0119	-0,0012	-0,0018	-0,0248	-0,0003	-0,0014	-0,0129
3001	0,0010	-0,0048	0,0187	-0,0004	-0,0001	-0,0146	0,0006	-0,0050	0,0041
3002	0,0017	0,0008	0,0019	-0,0040	0,0109	-0,0089	-0,0023	0,0117	-0,0070
4000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Código de Colores									
White	n ≤ 1 mm.								
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.								
Green	2 < n ≤ 3 mm.								
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.								
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.								
Orange	5 < n ≤ 10 mm.								
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.								
Red-Orange	20 < n ≤ 40 mm.								
Red	n > 40 mm.								



ANEXOS

ANEXO 71. FARO. ESTACIÓN B-2000: COORDENADAS. DIFERENCIAS ENTRE CAMPAÑAS.

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000					
Escáner Láser Faro Photon 80				Estación B-2000					
Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
100 V	7,7999	60,4551	4,4802	7,7899	60,4593	4,4846	7,8073	60,4619	4,4661
101 N	7,9851	60,3639	4,8484	7,9964	60,3644	4,8447	8,0193	60,3651	4,8313
102 p	8,2347	60,2027	4,4724	8,2370	60,2030	4,4788	8,2483	60,2104	4,4560
200 V	36,1897	47,5548	3,9123	36,1942	47,5539	3,9173	36,2004	47,5502	3,9179
201 N	36,5383	47,3976	3,7328	36,5425	47,3967	3,7388	36,5496	47,3927	3,7420
202 G	36,5514	47,3009	4,0814	36,5477	47,3019	4,0937	36,5547	47,3023	4,0847
300 V	50,5129	41,0502	4,4427	50,5138	41,0498	4,4421	50,5134	41,0473	4,4416
301 N	50,1649	41,2083	4,4438	50,1693	41,2075	4,4429	50,1698	41,2045	4,4422
302 p	50,4464	41,0302	4,0775	50,4497	41,0297	4,0756	50,4489	41,0263	4,0776
400 V	44,1331	21,9485	3,6580	44,1336	21,9463	3,6488	44,1288	21,9428	3,6610
401 N	44,0683	21,4369	3,4186	44,0692	21,4342	3,4101	44,0648	21,4309	3,4213
402 G	44,0353	21,8322	3,2290	44,0338	21,8248	3,2212	44,0314	21,8230	3,2323
500 V	42,3924	8,3763	2,6464	42,3896	8,3754	2,6397	42,3787	8,3684	2,6432
501 N	42,3216	7,8218	2,6471	42,3189	7,8177	2,6396	42,3071	7,8119	2,6414
502 p	42,2987	8,0112	2,9977	42,2934	8,0078	2,9929	42,2865	8,0041	2,9972
600 V	41,2981	-0,1244	2,7210	41,2923	-0,1313	2,7076	41,2777	-0,1340	2,7101
601 N	41,3448	0,2482	2,4809	41,3396	0,2464	2,4708	41,3257	0,2403	2,4783
602 G	41,2165	-0,1228	2,3520	41,2076	-0,1290	2,3401	41,1934	-0,1323	2,3497
1001	5,5406	36,0537	1,8608	5,5425	36,0558	1,8724	5,5453	36,0617	1,8398
1002	5,5511	36,0469	1,8957	5,5484	36,0440	1,9105	5,5536	36,0511	1,8708
2000	29,8959	26,8089	1,6413	29,8968	26,8093	1,6407	29,8952	26,8072	1,6397
3001	22,3071	3,5207	0,5785	22,3055	3,5218	0,5926	22,2988	3,5265	0,5903
3002	22,3147	3,5300	0,6343	22,3152	3,5301	0,6262	22,3000	3,5360	0,6239
4001	-0,0079	-0,0071	0,1145	-0,0072	-0,0049	0,1371	-0,0083	-0,0011	0,1135
4002	0,0006	0,0005	0,1713	-0,0005	-0,0005	0,1655	0,0010	0,0009	0,1486

Coordenadas Topocéntricas Horizontales				Sistema 4000					
Escáner Láser Faro Photon 80				Estación B-2000					
Pto.	2ª respecto 1ª			3ª respecto 2ª			3ª respecto 1ª		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
100 V	-0,0100	0,0042	0,0044	0,0174	0,0026	-0,0185	0,0074	0,0069	-0,0142
101 N	0,0113	0,0006	-0,0037	0,0229	0,0007	-0,0134	0,0342	0,0012	-0,0171
102 p	0,0023	0,0003	0,0063	0,0113	0,0074	-0,0228	0,0136	0,0077	-0,0164
200 V	0,0045	-0,0009	0,0049	0,0062	-0,0037	0,0006	0,0107	-0,0046	0,0055
201 N	0,0042	-0,0008	0,0060	0,0071	-0,0040	0,0032	0,0113	-0,0048	0,0092
202 G	-0,0037	0,0010	0,0123	0,0069	0,0004	-0,0090	0,0032	0,0014	0,0033
300 V	0,0009	-0,0005	-0,0006	-0,0004	-0,0025	-0,0005	0,0005	-0,0030	-0,0010
301 N	0,0044	-0,0009	-0,0009	0,0006	-0,0029	-0,0006	0,0049	-0,0038	-0,0015
302 p	0,0033	-0,0005	-0,0019	-0,0008	-0,0033	0,0020	0,0025	-0,0038	0,0001
400 V	0,0006	-0,0022	-0,0092	-0,0048	-0,0035	0,0122	-0,0042	-0,0057	0,0030
401 N	0,0009	-0,0027	-0,0085	-0,0044	-0,0032	0,0111	-0,0035	-0,0060	0,0026
402 G	-0,0015	-0,0074	-0,0077	-0,0024	-0,0019	0,0111	-0,0039	-0,0092	0,0033
500 V	-0,0027	-0,0009	-0,0067	-0,0109	-0,0070	0,0035	-0,0136	-0,0079	-0,0032
501 N	-0,0027	-0,0040	-0,0075	-0,0118	-0,0058	0,0018	-0,0145	-0,0099	-0,0057
502 p	-0,0054	-0,0034	-0,0068	-0,0069	-0,0037	0,0043	-0,0123	-0,0071	-0,0025
600 V	-0,0058	-0,0069	-0,0134	-0,0145	-0,0027	0,0025	-0,0204	-0,0096	-0,0110
601 N	-0,0053	-0,0018	-0,0100	-0,0139	-0,0060	0,0075	-0,0191	-0,0079	-0,0025
602 G	-0,0089	-0,0062	-0,0119	-0,0142	-0,0033	0,0096	-0,0231	-0,0096	-0,0023
1001	0,0018	0,0021	0,0117	0,0029	0,0059	-0,0326	0,0047	0,0080	-0,0210
1002	-0,0026	-0,0029	0,0147	0,0051	0,0171	-0,0397	0,0025	0,0142	-0,0250
2000	0,0009	0,0004	-0,0006	-0,0016	-0,0021	-0,0010	-0,0007	-0,0017	-0,0016
3001	-0,0016	0,0011	0,0141	-0,0067	0,0048	-0,0023	-0,0083	0,0059	0,0118
3002	0,0006	0,0002	-0,0081	-0,0152	0,0058	-0,0024	-0,0146	0,0060	-0,0104
4001	0,0007	0,0023	0,0227	-0,0010	0,0037	-0,0237	-0,0003	0,0060	-0,0010
4002	-0,0011	-0,0010	-0,0058	0,0015	0,0013	-0,0170	0,0004	0,0003	-0,0228

Código de Colores	
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red-Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.



ANEXO 72. FARO (B-4000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS PEQUEÑAS.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal					
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)					
Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)						Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)					
Escáner Láser Faro Photon 80						Escáner Láser Faro Photon 80					
Estación B-4000						Estación B-4000					
1ª campaña						Campaña 2ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1001	36,5276	0,1526	9,7172	0,0505	3,2151	96,7849	0,0001	0,0033	0,0019	-0,0496	0,0285
4000-2001	40,1994	0,8398	53,4623	0,0428	2,7265	97,2735	0,0003	0,0030	0,0019	-0,0285	0,0180
4000-3001	22,6119	1,4138	90,0063	0,0253	1,6088	98,3912	0,0007	0,0138	0,0049	-0,0527	0,0187
1001-2001	26,0496	1,9335	123,0930	-0,0047	-0,3002	100,3002	-0,0006	0,0010	0,0004	0,0256	-0,0105
1001-3001	36,6187	2,6653	169,6766	-0,0348	-2,2129	102,2129	0,0029	0,0036	0,0021	0,0168	-0,0096
2001-3001	24,5077	-2,8270	220,0255	-0,0469	-2,9878	102,9878	0,0029	-0,0027	-0,0011	-0,0022	0,0009
2ª campaña						Campaña 3ª respecto 2ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1001	36,5277	0,1527	9,7205	0,0513	3,2648	96,7352	0,0026	-0,0076	-0,0044	0,0747	-0,0429
4000-2001	40,1997	0,8398	53,4653	0,0433	2,7550	97,2450	-0,0024	0,0036	0,0023	0,0441	-0,0278
4000-3001	22,6126	1,4140	90,0201	0,0261	1,6615	98,3385	-0,0008	0,0002	0,0001	0,0410	-0,0146
1001-2001	26,0490	1,9336	123,0941	-0,0051	-0,3258	100,3258	0,0067	0,0143	0,0059	-0,0362	0,0148
1001-3001	36,6216	2,6653	169,6802	-0,0350	-2,2296	102,2296	0,0054	-0,0005	-0,0003	-0,0492	0,0283
2001-3001	24,5106	-2,8271	220,0228	-0,0469	-2,9855	102,9855	-0,0025	0,0044	0,0017	-0,0343	0,0132
3ª campaña						Campaña 3ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1001	36,5303	0,1526	9,7129	0,0501	3,1900	96,8100	0,0027	-0,0043	-0,0025	0,0251	-0,0144
4000-2001	40,1973	0,8399	53,4689	0,0426	2,7109	97,2891	-0,0021	0,0066	0,0042	0,0156	-0,0098
4000-3001	22,6118	1,4140	90,0203	0,0255	1,6205	98,3795	-0,0001	0,0141	0,0050	-0,0116	0,0041
1001-2001	26,0557	1,9338	123,1084	-0,0045	-0,2895	100,2895	0,0060	0,0153	0,0063	-0,0106	0,0044
1001-3001	36,6269	2,6653	169,6797	-0,0343	-2,1804	102,1804	0,0083	0,0031	0,0018	-0,0324	0,0187
2001-3001	24,5081	-2,8270	220,0272	-0,0464	-2,9512	102,9512	0,0003	0,0017	0,0006	-0,0365	0,0141

Código de Colores

□	n ≤ 1 mm.
□	1 < n ≤ 2 mm.
□	2 < n ≤ 3 mm.
□	3 < n ≤ 4 mm.
□	4 < n ≤ 5 mm.
□	5 < n ≤ 10 mm.
□	10 < n ≤ 20 mm.
□	20 < n ≤ 40 mm.
□	n > 40 mm.



ANEXO 73. FARO (B-4000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS GRANDES.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal					
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)					
Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)					
Escáner Láser Faro Photon 80 Estación B-4000						Escáner Láser Faro Photon 80 Estación B-4000					
1ª campaña						Campaña 2ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1002	36,5199	0,1529	9,7311	0,0514	3,2722	96,7278	0,0014	-0,0116	-0,0066	-0,0542	0,0311
4000-2002	40,1891	0,8398	53,4623	0,0440	2,8026	97,1974	0,0015	0,0005	0,0003	-0,0187	0,0118
4000-3002	22,6004	1,4141	90,0260	0,0274	1,7433	98,2567	0,0018	-0,0016	-0,0006	-0,0051	0,0018
1002-2002	26,0342	1,9337	123,1017	-0,0041	-0,2631	100,2631	0,0072	-0,0057	-0,0023	0,0470	-0,0192
1002-3002	36,6086	2,6657	169,7031	-0,0344	-2,1871	102,1871	0,0047	-0,0128	-0,0074	0,0506	-0,0291
2002-3002	24,5090	-2,8270	220,0307	-0,0469	-2,9879	102,9879	-0,0002	-0,0015	-0,0006	0,0260	-0,0100
2ª campaña						Campaña 3ª respecto 2ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1002	36,5213	0,1527	9,7195	0,0522	3,3263	96,6737	-0,0001	-0,0072	-0,0041	0,0730	-0,0419
4000-2002	40,1906	0,8398	53,4628	0,0443	2,8213	97,1787	-0,0032	0,0009	0,0005	0,0391	-0,0247
4000-3002	22,6022	1,4141	90,0244	0,0275	1,7484	98,2516	-0,0025	-0,0321	-0,0114	0,0248	-0,0088
1002-2002	26,0414	1,9336	123,0959	-0,0049	-0,3100	100,3100	0,0039	0,0079	0,0032	-0,0416	0,0170
1002-3002	36,6133	2,6655	169,6903	-0,0351	-2,2377	102,2377	-0,0086	-0,0062	-0,0036	-0,0568	0,0327
2002-3002	24,5089	-2,8270	220,0291	-0,0473	-3,0139	103,0139	-0,0119	0,0172	0,0066	-0,0400	0,0154
3ª campaña						Campaña 3ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
4000-1002	36,5211	0,1526	9,7123	0,0511	3,2534	96,7466	0,0012	-0,0187	-0,0107	0,0188	-0,0108
4000-2002	40,1874	0,8398	53,4636	0,0437	2,7822	97,2178	-0,0017	0,0013	0,0008	0,0204	-0,0129
4000-3002	22,5997	1,4136	89,9923	0,0271	1,7236	98,2764	-0,0007	-0,0337	-0,0120	0,0197	-0,0070
1002-2002	26,0453	1,9337	123,1038	-0,0042	-0,2684	100,2684	0,0111	0,0021	0,0009	0,0054	-0,0022
1002-3002	36,6047	2,6654	169,6841	-0,0343	-2,1809	102,1809	-0,0039	-0,0190	-0,0109	-0,0062	0,0036
2002-3002	24,4970	-2,8267	220,0463	-0,0467	-2,9739	102,9739	-0,0121	0,0157	0,0060	-0,0140	0,0054

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red	20 < n ≤ 40 mm.
Dark Red	n > 40 mm.





ANEXO 74. FARO (B-2000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS PEQUEÑAS.

Sistema Topocéntrico Horizontal						Sistema Topocéntrico Horizontal					
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales						Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)					
Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)						Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)					
Escáner Láser Faro Photon 80						Escáner Láser Faro Photon 80					
Estación B-2000						Estación B-2000					
1ª campaña						Campaña 2ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1001	26,0518	-1,2080	323,0954	0,0084	0,5364	99,4636	-0,0002	0,0046	0,0019	-0,0300	0,0123
2000-3001	24,5166	-2,8266	220,0543	-0,0434	-2,7606	102,7606	-0,0005	0,0068	0,0026	-0,0382	0,0147
2000-4001	40,1954	-2,3018	253,4623	-0,0380	-2,4188	102,4188	-0,0020	0,0024	0,0015	-0,0368	0,0232
1001-3001	36,6219	2,6657	169,7055	-0,0350	-2,2295	102,2295	-0,0008	0,0061	0,0035	-0,0042	0,0024
1001-4001	36,5270	-2,9889	209,7192	-0,0478	-3,0448	103,0448	-0,0005	0,0019	0,0011	-0,0192	0,0110
3001-4001	22,5969	-1,7276	290,0183	-0,0205	-1,3075	101,3075	-0,0027	0,0022	0,0008	-0,0239	0,0085
2ª campaña						Campaña 3ª respecto 2ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1001	26,0516	-1,2079	323,1000	0,0089	0,5664	99,4336	-0,0015	0,0222	0,0091	0,0773	-0,0316
2000-3001	24,5161	-2,8265	220,0611	-0,0428	-2,7223	102,7223	-0,0049	0,0182	0,0070	0,0040	-0,0015
2000-4001	40,1934	-2,3018	253,4647	-0,0374	-2,3820	102,3820	-0,0034	0,0064	0,0040	0,0362	-0,0228
1001-3001	36,6211	2,6658	169,7116	-0,0350	-2,2253	102,2253	-0,0044	0,0156	0,0090	-0,0524	0,0302
1001-4001	36,5265	-2,9889	209,7212	-0,0475	-3,0256	103,0256	0,0023	0,0062	0,0035	-0,0158	0,0091
3001-4001	22,5943	-1,7276	290,0205	-0,0202	-1,2835	101,2835	-0,0049	-0,0054	-0,0019	0,0604	-0,0215
3ª campaña						Campaña 3ª respecto 1ª					
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1001	26,0500	-1,2076	323,1221	0,0077	0,4891	99,5109	-0,0017	0,0267	0,0109	0,0473	-0,0194
2000-3001	24,5112	-2,8262	220,0793	-0,0428	-2,7263	102,7263	-0,0054	0,0250	0,0096	-0,0342	0,0132
2000-4001	40,1900	-2,3017	253,4710	-0,0380	-2,4182	102,4182	-0,0054	0,0087	0,0055	-0,0006	0,0004
1001-3001	36,6167	2,6661	169,7272	-0,0341	-2,1728	102,1728	-0,0052	0,0218	0,0125	-0,0567	0,0326
1001-4001	36,5288	-2,9888	209,7273	-0,0473	-3,0098	103,0098	0,0018	0,0081	0,0047	-0,0350	0,0201
3001-4001	22,5893	-1,7276	290,0152	-0,0211	-1,3440	101,3440	-0,0076	-0,0032	-0,0011	0,0365	-0,0130

Código de Colores

	n ≤ 1 mm.
	1 < n ≤ 2 mm.
	2 < n ≤ 3 mm.
	3 < n ≤ 4 mm.
	4 < n ≤ 5 mm.
	5 < n ≤ 10 mm.
	10 < n ≤ 20 mm.
	20 < n ≤ 40 mm.
	n > 40 mm.



ANEXO 75. FARO (B-2000). BASES RED DE APOYO CON ESFERAS GRANDES.

Sistema Topocéntrico Horizontal											
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales					Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)						
Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)					Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						
Escáner Láser Faro Photon 80					Estación B-2000						
1ª campaña					Campaña 2ª respecto 1ª						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1002	26,0399	-1,2081	323,0888	0,0098	0,6221	99,3779	0,0023	-0,0106	-0,0043	-0,0374	0,0153
2000-3002	24,5030	-2,8268	220,0432	-0,0411	-2,6170	102,6170	0,0006	0,0006	0,0002	0,0193	-0,0074
2000-4002	40,1819	-2,3018	253,4623	-0,0366	-2,3294	102,3294	0,0026	0,0005	0,0003	0,0081	-0,0051
1002-3002	36,6054	2,6656	169,6970	-0,0345	-2,1943	102,1943	-0,0004	-0,0074	-0,0043	0,0397	-0,0228
1002-4002	36,5119	-2,9888	209,7264	-0,0472	-3,0078	103,0078	-0,0011	-0,0022	-0,0012	0,0359	-0,0206
3002-4002	22,5962	-1,7277	290,0132	-0,0205	-1,3044	101,3044	0,0018	-0,0025	-0,0009	-0,0065	0,0023

Sistema Topocéntrico Horizontal											
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales					Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)						
Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)					Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						
Escáner Láser Faro Photon 80					Estación B-2000						
2ª campaña					Campaña 3ª respecto 2ª						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1002	26,0422	-1,2083	323,0782	0,0104	0,6596	99,3404	0,0002	0,0498	0,0204	0,0947	-0,0387
2000-3002	24,5037	-2,8267	220,0438	-0,0414	-2,6364	102,6364	-0,0033	0,0401	0,0155	0,0039	-0,0015
2000-4002	40,1845	-2,3018	253,4628	-0,0367	-2,3375	102,3375	-0,0040	0,0009	0,0005	0,0255	-0,0161
1002-3002	36,6050	2,6655	169,6896	-0,0351	-2,2340	102,2340	-0,0006	0,0405	0,0233	-0,0650	0,0374
1002-4002	36,5108	-2,9888	209,7242	-0,0478	-3,0437	103,0437	0,0150	0,0021	0,0012	-0,0410	0,0235
3002-4002	22,5980	-1,7277	290,0107	-0,0204	-1,2979	101,2979	-0,0155	-0,0198	-0,0070	0,0420	-0,0149

Sistema Topocéntrico Horizontal											
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales					Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)						
Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)					Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)						
Escáner Láser Faro Photon 80					Estación B-2000						
3ª campaña					Campaña 3ª respecto 1ª						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
2000-1002	26,0424	-1,2075	323,1280	0,0089	0,5649	99,4351	0,0025	0,0392	0,0160	0,0572	-0,0234
2000-3002	24,5004	-2,8261	220,0839	-0,0415	-2,6403	102,6403	-0,0026	0,0407	0,0157	0,0233	-0,0090
2000-4002	40,1805	-2,3018	253,4636	-0,0371	-2,3631	102,3631	-0,0014	0,0013	0,0008	0,0336	-0,0212
1002-3002	36,6044	2,6661	169,7301	-0,0341	-2,1690	102,1690	-0,0010	0,0331	0,0190	-0,0253	0,0145
1002-4002	36,5259	-2,9888	209,7263	-0,0472	-3,0028	103,0028	0,0139	-0,0001	0,0000	-0,0050	0,0029
3002-4002	22,5825	-1,7280	289,9909	-0,0210	-1,3400	101,3400	-0,0137	-0,0223	-0,0079	0,0355	-0,0126

Código de Colores	
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red-Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.



ANEXO 76. FARO. ESCANEADO DESDE B-4000 (SEÑALES DE PUNTERÍA)

<b>Sistema Topocéntrico Horizontal</b>					<b>2ª campaña</b>					<b>3ª campaña</b>									
<b>Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales</b>																			
<b>Estación B-4000</b>																			
<b>Faro Photon 80</b>																			
Pto.	1ª campaña		2ª campaña		Pto.	1ª campaña		2ª campaña		Pto.	1ª campaña		2ª campaña		Pto.	1ª campaña		2ª campaña	
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)		D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)		D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)		D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100 V	61,1210	8,1717	4,6569	95,3431	100 V	61,1248	8,1564	4,6825	95,3175	100 V	61,1177	8,1592	4,6434	95,3566					
101 N	61,0829	8,3890	5,0330	94,9670	101 N	61,0845	8,3701	5,0547	94,9453	101 N	61,0851	8,3673	5,0231	94,9769					
102 p	60,9337	8,6743	4,6662	95,3338	102 p	60,9355	8,6613	4,6839	95,3161	102 p	60,9285	8,6518	4,6509	95,3491					
200 V	59,8877	41,4249	4,1862	95,8138	200 V	59,8879	41,4272	4,2018	95,7982	200 V	59,8826	41,4136	4,1600	95,8400					
201 N	59,9650	41,8269	3,9852	96,0148	201 N	59,9618	41,8124	4,0081	95,9919	201 N	59,9610	41,8156	3,9641	96,0359					
202 G	59,9212	41,8882	4,3539	95,6461	202 G	59,9174	41,8882	4,3936	95,6064	202 G	59,9113	41,8798	4,3383	95,6617					
300 V	65,2512	56,5711	4,3905	95,6095	300 V	65,2440	56,5526	4,4055	95,5945	300 V	65,2357	56,5547	4,3441	95,6559					
301 N	65,0714	56,2180	4,3832	95,6168	301 N	65,0755	56,2191	4,3955	95,6045	301 N	65,0738	56,2216	4,3653	95,6347					
302 p	65,2187	56,4951	4,0027	95,9973	302 p	65,1586	56,5221	4,0359	95,9641	302 p	65,1577	56,5296	3,9981	96,0019					
400 V	49,4284	70,6241	4,7431	95,2569	400 V	49,4287	70,6279	4,7382	95,2618	400 V	49,4326	70,6133	4,7176	95,2824					
401 N	49,1263	71,1883	4,4722	95,5278	401 N	49,1260	71,1871	4,4653	95,5347	401 N	49,1282	71,1782	4,4399	95,5601					
402 G	49,2574	70,7162	4,2188	95,7812	402 G	49,2669	70,7065	4,2237	95,7763	402 G	49,2570	70,7062	4,1904	95,8096					
500 V	43,2942	87,5920	3,9195	96,0805	500 V	43,2951	87,5920	3,8885	96,1115	500 V	43,2922	87,5911	3,8814	96,1186					
501 N	43,1185	88,3746	3,9282	96,0718	501 N	43,1207	88,3713	3,9052	96,0948	501 N	43,1162	88,3801	3,8956	96,1044					
502 p	43,1610	88,0677	4,4523	95,5477	502 p	43,1624	88,0733	4,4172	95,5828	502 p	43,1592	88,0767	4,4142	95,5858					
600 V	41,3854	100,2009	4,1977	95,8023	600 V	41,3868	100,2017	4,1897	95,8103	600 V	41,3819	100,2081	4,1567	95,8433					
601 N	41,4176	99,6285	3,8292	96,1708	601 N	41,4180	99,6300	3,8280	96,1720	601 N	41,4153	99,6329	3,7934	96,2066					
602 G	41,2811	100,1938	3,6393	96,3607	602 G	41,2817	100,2017	3,6365	96,3635	602 G	41,2780	100,2027	3,6019	96,3981					



ANEXOS

ANEXO 77. FARO. DIFERENCIAS ESCANEEO B-4000 (SEÑALES DE PUNTERÍA)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Estación B-4000 Faro Photon 80**

Pto.	Campaña 2ª respecto 1ª					Código de Colores
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100 V	0,0038	-0,0153	-0,0147	-0,0256	0,0246	n ≤ 1 mm.
101 N	0,0016	-0,0189	-0,0181	-0,0218	0,0209	1 < n ≤ 2 mm.
102 p	0,0018	-0,0130	-0,0125	-0,0177	0,0169	2 < n ≤ 3 mm.
200 V	0,0003	0,0023	0,0021	-0,0156	0,0147	3 < n ≤ 4 mm.
201 N	-0,0031	-0,0145	-0,0137	-0,0228	0,0215	4 < n ≤ 5 mm.
202 G	-0,0038	0,0000	0,0000	-0,0397	0,0374	5 < n ≤ 10 mm.
300 V	-0,0072	-0,0185	-0,0190	-0,0150	0,0154	10 < n ≤ 20 mm.
301 N	0,0042	0,0012	0,0012	-0,0123	0,0126	20 < n ≤ 40 mm.
302 p	-0,0602	0,0270	0,0277	-0,0331	0,0339	n > 40 mm.
400 V	0,0003	0,0037	0,0029	0,0049	-0,0038	
401 N	-0,0003	-0,0012	-0,0009	0,0069	-0,0053	
402 G	0,0096	-0,0097	-0,0075	-0,0049	0,0038	
500 V	0,0009	0,0000	0,0000	0,0311	-0,0211	
501 N	0,0022	-0,0033	-0,0022	0,0230	-0,0156	
502 p	0,0014	0,0056	0,0038	0,0351	-0,0238	
600 V	0,0014	0,0007	0,0005	0,0080	-0,0052	
601 N	0,0004	0,0015	0,0009	0,0012	-0,0008	
602 G	0,0006	0,0080	0,0052	0,0028	-0,0018	

Pto.	Campaña 3ª respecto 2ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	-0,0071	0,0027	0,0026	0,0391	-0,0375
101 N	0,0006	-0,0028	-0,0027	0,0317	-0,0304
102 p	-0,0069	-0,0095	-0,0090	0,0330	-0,0316
200 V	-0,0054	-0,0136	-0,0128	0,0418	-0,0394
201 N	-0,0008	0,0032	0,0030	0,0439	-0,0414
202 G	-0,0061	-0,0084	-0,0079	0,0554	-0,0521
300 V	-0,0083	0,0021	0,0021	0,0614	-0,0629
301 N	-0,0017	0,0025	0,0025	0,0302	-0,0309
302 p	-0,0009	0,0075	0,0077	0,0378	-0,0387
400 V	0,0039	-0,0146	-0,0113	0,0206	-0,0160
401 N	0,0022	-0,0088	-0,0068	0,0254	-0,0196
402 G	-0,0099	-0,0003	-0,0002	0,0333	-0,0257
500 V	-0,0029	-0,0009	-0,0006	0,0071	-0,0048
501 N	-0,0045	0,0088	0,0060	0,0096	-0,0065
502 p	-0,0032	0,0033	0,0023	0,0030	-0,0020
600 V	-0,0049	0,0064	0,0042	0,0330	-0,0214
601 N	-0,0027	0,0029	0,0019	0,0346	-0,0225
602 G	-0,0037	0,0010	0,0007	0,0346	-0,0224

Pto.	Campaña 3ª respecto 1ª				
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	-0,0034	-0,0126	-0,0121	0,0135	-0,0129
101 N	0,0022	-0,0217	-0,0208	0,0099	-0,0095
102 p	-0,0051	-0,0225	-0,0215	0,0153	-0,0146
200 V	-0,0051	-0,0113	-0,0106	0,0262	-0,0246
201 N	-0,0040	-0,0113	-0,0107	0,0211	-0,0199
202 G	-0,0099	-0,0084	-0,0079	0,0156	-0,0147
300 V	-0,0155	-0,0164	-0,0168	0,0464	-0,0475
301 N	0,0025	0,0036	0,0037	0,0179	-0,0183
302 p	-0,0611	0,0346	0,0354	0,0046	-0,0047
400 V	0,0042	-0,0108	-0,0084	0,0255	-0,0198
401 N	0,0019	-0,0101	-0,0078	0,0323	-0,0249
402 G	-0,0003	-0,0100	-0,0077	0,0284	-0,0220
500 V	-0,0020	-0,0009	-0,0006	0,0381	-0,0259
501 N	-0,0023	0,0055	0,0037	0,0326	-0,0221
502 p	-0,0018	0,0089	0,0061	0,0381	-0,0258
600 V	-0,0035	0,0072	0,0047	0,0410	-0,0266
601 N	-0,0023	0,0044	0,0029	0,0358	-0,0233
602 G	-0,0031	0,0090	0,0058	0,0374	-0,0242



ANEXO 78. FARO. ESCANEADO DESDE B-2000 (SEÑALES DE PUNTERÍA)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**  
**Estación B-2000 Faro Photon 80**

Pto.	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100 V	40,3529	363,0071	4,4825	95,5175	40,3624	362,9960	4,4893	95,5107	40,3547	363,0253	4,4624	95,5376
101 N	40,2033	363,1734	5,0839	94,9161	40,1975	363,1874	5,0798	94,9202	40,1855	363,2224	5,0615	94,9385
102 p	39,9044	363,3668	4,5205	95,4795	39,9041	363,3686	4,5316	95,4684	39,9036	363,3941	4,4968	95,5032
200 V	21,7982	18,7516	6,6447	93,3553	21,7985	18,7630	6,6608	93,3392	21,7995	18,7860	6,6653	93,3347
201 N	21,7345	19,8679	6,1357	93,8643	21,7350	19,8781	6,1549	93,8451	21,7363	19,9041	6,1671	93,8329
202 G	21,6834	19,9923	7,1795	92,8205	21,6841	19,9789	7,2174	92,7826	21,6881	20,0004	7,1923	92,8077
300 V	25,2136	61,5167	7,0878	92,9122	25,2131	61,5185	7,0881	92,9119	25,2139	61,5211	7,0892	92,9108
301 N	25,0206	60,6771	7,1457	92,8543	25,0226	60,6849	7,1443	92,8557	25,0239	60,6898	7,1448	92,8552
302 p	25,1098	61,4624	6,1864	93,8136	25,1111	61,4678	6,1827	93,8173	25,1113	61,4714	6,1902	93,8098
400 V	15,1785	120,9438	8,4838	91,5162	15,1779	120,9548	8,4477	91,5523	15,1771	120,9646	8,5039	91,4961
401 N	15,2602	123,0658	7,4316	92,5684	15,2604	123,0780	7,3982	92,6018	15,2596	123,0866	7,4497	92,5503
402 G	15,0735	121,5454	6,7179	93,2821	15,0731	121,5798	6,6878	93,3122	15,0735	121,5801	6,7389	93,2611
500 V	22,2920	162,0717	2,8713	97,1287	22,2908	162,0825	2,8540	97,1460	22,2898	162,1123	2,8671	97,1329
501 N	22,7139	163,1092	2,8199	97,1801	22,7154	163,1244	2,8005	97,1995	22,7130	163,1541	2,8086	97,1914
502 p	22,5617	162,8701	3,8353	96,1647	22,5611	162,8908	3,8178	96,1822	22,5598	162,9058	3,8332	96,1668
600 V	29,2674	174,5052	2,3492	97,6508	29,2710	174,5249	2,3210	97,6790	29,2666	174,5514	2,3289	97,6711
601 N	28,9354	174,0908	1,8475	98,1525	28,9347	174,1052	1,8267	98,1733	28,9337	174,1335	1,8455	98,1545
602 G	29,2229	174,6676	1,5484	98,4516	29,2249	174,6928	1,5236	98,4764	29,2214	174,7193	1,5469	98,4531



ANEXO 79. FARO. DIFERENCIAS ESCANEO B-2000 (SEÑALES DE PUNTERÍA)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Estación B-2000 Faro Photon 80**

Campaña 2ª respecto 1ª						Código de Colores
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	
100 V	0,0095	-0,0111	-0,0071	-0,0068	0,0043	n ≤ 1 mm.
101 N	-0,0058	0,0140	0,0088	0,0041	-0,0026	1 < n ≤ 2 mm.
102 p	-0,0003	0,0018	0,0011	-0,0111	0,0070	2 < n ≤ 3 mm.
200 V	0,0003	0,0113	0,0039	-0,0161	0,0055	3 < n ≤ 4 mm.
201 N	0,0005	0,0103	0,0035	-0,0193	0,0066	4 < n ≤ 5 mm.
202 G	0,0006	-0,0134	-0,0046	-0,0379	0,0129	5 < n ≤ 10 mm.
300 V	-0,0005	0,0019	0,0007	-0,0003	0,0001	10 < n ≤ 20 mm.
301 N	0,0021	0,0078	0,0031	0,0014	-0,0005	20 < n ≤ 40 mm.
302 p	0,0013	0,0054	0,0021	0,0037	-0,0014	n > 40 mm.
400 V	-0,0006	0,0110	0,0026	0,0361	-0,0086	
401 N	0,0002	0,0123	0,0029	0,0333	-0,0080	
402 G	-0,0004	0,0345	0,0082	0,0301	-0,0071	
500 V	-0,0012	0,0108	0,0038	0,0173	-0,0060	
501 N	0,0015	0,0152	0,0054	0,0195	-0,0070	
502 p	-0,0007	0,0207	0,0073	0,0175	-0,0062	
600 V	0,0037	0,0197	0,0091	0,0282	-0,0130	
601 N	-0,0006	0,0144	0,0065	0,0207	-0,0094	
602 G	0,0021	0,0252	0,0116	0,0248	-0,0114	

Campaña 3ª respecto 2ª					
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	-0,0077	0,0293	0,0186	0,0269	-0,0170
101 N	-0,0120	0,0350	0,0221	0,0183	-0,0115
102 p	-0,0005	0,0255	0,0160	0,0348	-0,0218
200 V	0,0009	0,0231	0,0079	-0,0044	0,0015
201 N	0,0013	0,0260	0,0089	-0,0121	0,0041
202 G	0,0041	0,0215	0,0073	0,0251	-0,0085
300 V	0,0008	0,0025	0,0010	-0,0011	0,0004
301 N	0,0013	0,0049	0,0019	-0,0006	0,0002
302 p	0,0002	0,0036	0,0014	-0,0075	0,0030
400 V	-0,0009	0,0097	0,0023	-0,0562	0,0134
401 N	-0,0008	0,0086	0,0021	-0,0514	0,0123
402 G	0,0004	0,0003	0,0001	-0,0510	0,0121
500 V	-0,0010	0,0298	0,0104	-0,0130	0,0046
501 N	-0,0024	0,0298	0,0106	-0,0082	0,0029
502 p	-0,0013	0,0150	0,0053	-0,0153	0,0054
600 V	-0,0044	0,0265	0,0122	-0,0079	0,0036
601 N	-0,0010	0,0283	0,0129	-0,0188	0,0085
602 G	-0,0035	0,0265	0,0122	-0,0233	0,0107

Campaña 3ª respecto 1ª					
Pto.	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100 V	0,0018	0,0181	0,0115	0,0201	-0,0127
101 N	-0,0178	0,0490	0,0309	0,0224	-0,0141
102 p	-0,0009	0,0273	0,0171	0,0236	-0,0148
200 V	0,0013	0,0344	0,0118	-0,0206	0,0070
201 N	0,0018	0,0363	0,0124	-0,0314	0,0107
202 G	0,0047	0,0082	0,0028	-0,0128	0,0044
300 V	0,0003	0,0044	0,0017	-0,0014	0,0005
301 N	0,0034	0,0127	0,0050	0,0008	-0,0003
302 p	0,0016	0,0091	0,0036	-0,0038	0,0015
400 V	-0,0014	0,0208	0,0049	-0,0201	0,0048
401 N	-0,0006	0,0208	0,0050	-0,0181	0,0043
402 G	0,0000	0,0347	0,0082	-0,0210	0,0050
500 V	-0,0022	0,0406	0,0142	0,0042	-0,0015
501 N	-0,0009	0,0449	0,0160	0,0113	-0,0040
502 p	-0,0020	0,0357	0,0127	0,0022	-0,0008
600 V	-0,0008	0,0462	0,0212	0,0203	-0,0093
601 N	-0,0017	0,0427	0,0194	0,0020	-0,0009
602 G	-0,0015	0,0517	0,0237	0,0015	-0,0007



ANEXO 80. FARO. VECTORES ENTRE SEÑALES DE PUNTERÍA POR GRUPOS (B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Escáner Láser Faro Photon 80** Estación B-4000  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales entre señales de puntería (por grupos)

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
100-101	0,4183	127,6973	65,0982	34,9018	0,4136	128,5554	65,1355	34,8645	0,4166	126,9157	66,7032	33,2968
100-102	0,5158	132,1081	-0,5896	100,5896	0,5185	132,1580	-1,5457	101,5457	0,5076	132,7157	-0,8300	100,8300
101-102	0,4691	135,3264	-56,0638	156,0638	0,4753	134,7134	-55,8975	155,8975	0,4750	136,7228	-56,3159	156,3159
200-201	0,4294	126,8527	-28,1680	128,1680	0,4119	126,8555	-28,3216	128,3216	0,4275	126,7204	-27,5063	127,5063
200-202	0,4639	138,3107	22,3679	77,6321	0,4699	139,1298	25,3261	74,6739	0,4696	139,1024	23,4747	76,5253
201-202	0,3546	196,3418	84,0564	15,9436	0,3726	190,4782	82,9357	17,0643	0,3608	197,6627	83,1638	16,8362
300-301	0,4031	327,0788	-3,1328	103,1328	0,3801	327,3058	-3,6646	103,6646	0,3773	327,9399	1,7757	98,2243
300-302	0,4061	351,4532	-87,6961	187,6961	0,3893	287,0107	-88,8642	188,8642	0,3637	284,4080	-89,3818	189,3818
301-302	0,5033	121,4748	-54,2303	154,2303	0,4876	135,1217	-53,1628	153,1628	0,4969	135,2600	-53,3268	153,3268
400-401	0,5700	207,9125	-26,5630	126,5630	0,5680	208,2235	-26,8540	126,8540	0,5737	208,0688	-27,0238	127,0238
400-402	0,4466	241,1118	-76,8463	176,8463	0,4346	243,4301	-78,1150	178,1150	0,4505	241,6586	-76,3984	176,3984
401-402	0,4336	394,9504	-28,2946	128,2946	0,4382	395,9320	-26,4161	126,4161	0,4315	394,5704	-27,9836	127,9836
500-501	0,5585	208,3590	-0,5609	100,5609	0,5561	208,3294	0,0783	99,9217	0,5628	208,2611	-0,1248	100,1248
500-502	0,5025	216,6392	49,4458	50,5542	0,5029	216,2059	48,9409	51,0591	0,5068	216,0658	48,9458	51,0542
501-502	0,4135	394,0364	66,3765	33,6235	0,4034	394,1814	66,5409	33,4591	0,4092	394,3963	66,3876	33,6124
600-601	0,4432	7,9639	-35,9329	135,9329	0,4404	7,7570	-35,4511	135,4511	0,4430	8,0733	-35,3717	135,3717
600-602	0,3773	303,8103	-86,0565	186,0565	0,3742	300,1842	-85,7857	185,7857	0,3749	302,9200	-85,9876	185,9876
601-602	0,4101	221,4672	-20,7239	120,7239	0,4141	221,2036	-20,6780	120,6780	0,4133	221,4337	-20,7200	120,7200



ANEXO 81. FARO. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (SEÑALES POR GRUPOS B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Escáner Láser Faro Photon 80**  
**Estación B-4000**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos) para señales de puntería por grupos**

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª			Campaña 3ª respecto 2ª			Campaña 3ª respecto 1ª			
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	
100-101	-0,0047	0,8581	0,0056	-0,0029	-1,6386	-0,0107	-1,5677	-0,0018	-0,7816	-0,0051
100-102	0,0027	0,0499	0,0004	-0,0109	0,5578	0,0045	-0,7156	-0,0082	0,6077	0,0048
101-102	0,0061	-0,6130	-0,0045	-0,0003	2,0094	0,0150	0,4184	0,0058	1,3964	0,0104
200-201	-0,0175	0,0028	0,0000	0,0156	-0,1351	-0,0009	-0,8153	-0,0019	-0,1323	-0,0009
200-202	0,0060	0,8191	0,0060	-0,0003	-0,0274	-0,0002	1,8514	0,0053	0,7917	0,0058
201-202	0,0180	-5,8636	-0,0328	-0,0118	7,1845	0,0422	-0,2281	-0,0137	1,3209	0,0075
300-301	-0,0230	0,2270	0,0014	-0,0028	0,6341	0,0038	-5,4404	0,0013	0,8611	0,0051
300-302	-0,0168	-14,4425	-0,0938	-0,0256	-2,6027	-0,0159	0,5176	-0,0938	17,0462	-0,0938
301-302	-0,0157	13,6468	0,1096	0,0092	0,1384	0,0011	0,1640	-0,0013	-0,0065	13,7852
400-401	-0,0020	0,3111	0,0028	0,0057	-0,1547	-0,0014	0,1698	0,0037	0,1564	0,0014
400-402	-0,0120	2,3183	0,0163	0,0159	-1,7715	-0,0121	-1,7166	0,0039	0,5468	0,0039
401-402	0,0046	0,9816	0,0067	-0,0067	-1,3617	-0,0094	1,5675	-0,0020	-0,3800	-0,0026
500-501	-0,0024	-0,0296	-0,0003	0,0066	-0,0683	-0,0006	0,2031	0,0042	-0,0979	-0,0009
500-502	0,0004	-0,4333	-0,0034	0,0039	-0,1401	-0,0011	-0,0048	0,0043	-0,5734	-0,0046
501-502	-0,0101	0,1450	0,0009	0,0058	0,2149	0,0014	0,1533	-0,0043	0,3599	0,0023
600-601	-0,0028	-0,2069	-0,0014	0,0026	0,3163	0,0022	-0,0794	0,0002	0,1094	0,0008
600-602	-0,0031	-3,6261	-0,0215	0,0007	2,7358	0,0161	0,2019	-0,0024	-0,8903	-0,0052
601-602	0,0040	-0,2636	-0,0017	-0,0008	0,2301	0,0015	0,0421	0,0032	-0,0334	-0,0002

Vector	dif. D (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)
100-101	-1,6050	0,1050	0,0105
100-102	0,2405	-0,0019	-0,0019
101-102	0,2521	-0,0019	-0,0019
200-201	-0,6617	0,0044	0,0044
200-202	-1,1067	0,0082	0,0082
201-202	0,8926	-0,0051	-0,0051
300-301	-4,9085	0,0291	0,0291
300-302	1,6856	-0,0096	-0,0096
301-302	-0,9035	0,0071	0,0071
400-401	0,4608	-0,0042	-0,0042
400-402	-0,4479	0,0032	0,0032
401-402	-0,3111	0,0021	0,0021
500-501	-0,4361	0,0039	0,0039
500-502	0,5000	-0,0040	-0,0040
501-502	-0,0111	0,0001	0,0001
600-601	-0,5612	0,0039	0,0039
600-602	-0,0689	0,0004	0,0004
601-602	-0,0039	0,0000	0,0000

Vector	Código de Colores
n ≤ 1 mm.	Verde
1 < n ≤ 2 mm.	Amarillo
2 < n ≤ 3 mm.	Naranja
3 < n ≤ 4 mm.	Rojo
4 < n ≤ 5 mm.	Naranja claro
5 < n ≤ 10 mm.	Amarillo claro
10 < n ≤ 20 mm.	Naranja claro
20 < n ≤ 40 mm.	Rojo claro
n > 40 mm.	Rojo oscuro





ANEXO 82. FARO. VECTORES ENTRE SEÑALES DE PUNTERÍA POR GRUPOS (B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Escáner Láser Faro Photon 80** Estación B-2000  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales entre señales de puntería (por grupos)

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
100-101	0,4221	129,1362	67,4769	32,5231	0,4258	127,4167	64,1693	35,8307	0,4332	127,2789	63,8521	36,1479
100-102	0,5028	133,4832	-0,9865	100,9865	0,5154	133,1335	-0,7204	100,7204	0,5077	133,0006	-1,2639	101,2639
101-102	0,4792	136,5010	-57,4221	157,4221	0,4668	137,6141	-57,3668	157,3668	0,4661	137,8221	-59,5935	159,5935
200-201	0,4225	126,9786	-27,9406	127,9406	0,4218	126,9820	-27,8185	127,8185	0,4215	126,9646	-27,3949	127,3949
200-202	0,4732	138,9687	23,2637	76,7363	0,4686	139,4199	24,5788	75,4212	0,4635	138,8692	23,4421	76,5579
201-202	0,3620	191,4537	82,6329	17,3671	0,3674	196,4911	83,3572	16,6428	0,3544	196,4682	83,5481	16,4519
300-301	0,3822	327,1426	0,1890	99,8110	0,3789	327,3250	0,1312	99,8688	0,3779	327,3280	0,1043	99,8957
300-302	0,3717	281,3589	-88,0261	188,0261	0,3726	280,6686	-88,4497	188,4497	0,3703	280,0528	-88,2671	188,2671
301-302	0,4951	135,9200	-53,0161	153,0161	0,4951	135,9764	-53,2082	153,2082	0,4926	136,1807	-53,0716	153,0716
400-401	0,5685	208,0171	-27,6688	127,6688	0,5686	207,9718	-27,5778	127,5778	0,5688	207,9250	-27,6938	127,6938
400-402	0,4552	244,4969	-78,3361	178,3361	0,4556	243,8038	-77,5741	177,5741	0,4557	243,4631	-77,9825	177,9825
401-402	0,4397	394,7013	-28,3943	128,3943	0,4354	394,2540	-28,5695	128,5695	0,4365	394,5881	-28,5064	128,5064
500-501	0,5590	208,0851	0,0819	99,9181	0,5621	208,0310	-0,0078	100,0078	0,5611	208,1531	-0,2011	100,2011
500-502	0,5167	215,9822	47,9414	52,0586	0,5188	216,3065	47,6742	52,3258	0,5163	215,7954	48,1009	51,8991
501-502	0,4009	392,3603	68,4305	31,5695	0,4020	391,4904	68,3438	31,6562	0,4049	393,1913	68,3212	31,6788
600-601	0,4457	7,9412	-36,2296	136,2296	0,4482	7,9327	-35,4308	135,4308	0,4428	8,1153	-35,0650	135,0650
600-602	0,3780	301,2460	-86,1386	186,1386	0,3772	301,7300	-85,5837	185,5837	0,3702	301,2305	-85,3634	185,3634
601-602	0,4131	221,2068	-20,1978	120,1978	0,4188	221,5213	-20,2137	120,2137	0,4158	221,7199	-20,0253	120,0253



ANEXO 83. FARO. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (SEÑALES POR GRUPOS B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Escáner Láser Faro Photon 80 Estación B-2000**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos) para señales de puntería por grupos**

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª			Campaña 3ª respecto 2ª			Campaña 3ª respecto 1ª		
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)
100-101	0,0037	-1,7195	-0,0114	0,0074	-0,1377	-0,0009	0,3172	-0,0021	3,6248
100-102	0,0126	-0,3497	-0,0028	-0,0077	-0,1329	-0,0011	0,5434	-0,0044	0,2773
101-102	-0,0124	1,1131	0,0084	-0,0007	0,2081	0,0015	2,2267	-0,0165	2,1714
200-201	-0,0008	0,0034	0,0000	-0,0002	-0,0174	-0,0001	-0,4236	0,0028	-0,0001
200-202	-0,0046	0,4512	0,0034	-0,0052	-0,5507	-0,0041	1,1367	-0,0084	-0,1784
201-202	0,0054	5,0374	0,0287	-0,0130	-0,0229	-0,0001	-0,1910	0,0011	-0,9152
300-301	-0,0033	0,1825	0,0011	-0,0010	0,0030	0,0000	0,0269	-0,0002	0,0847
300-302	0,0009	-0,6903	-0,0040	-0,0023	-0,6158	-0,0036	-0,1826	0,0011	0,2410
301-302	0,0000	0,0564	0,0004	-0,0026	0,2043	0,0016	-0,1366	0,0011	-0,0076
400-401	0,0001	-0,0453	-0,0004	0,0002	-0,0468	-0,0004	0,1160	-0,0010	0,0250
400-402	0,0004	-0,6931	-0,0050	0,0001	-0,3407	-0,0024	0,4084	-0,0029	-1,0338
401-402	-0,0043	-0,4474	-0,0031	0,0011	0,3341	0,0023	-0,0631	0,0004	-0,1133
500-501	0,0031	-0,0542	-0,0005	-0,0010	0,1221	0,0011	0,1932	-0,0017	0,0066
500-502	0,0021	0,3243	0,0026	-0,0025	-0,5111	-0,0042	-0,4266	0,0035	-0,1868
501-502	0,0010	-0,8700	-0,0055	0,0030	1,7009	0,0107	0,0227	-0,0001	0,8310
600-601	0,0025	-0,0085	-0,0001	-0,0054	0,1826	0,0013	-0,3657	0,0026	0,1741
600-602	-0,0008	0,4840	0,0029	-0,0070	-0,4995	-0,0030	-0,2202	0,0013	-0,0155
601-602	0,0057	0,3145	0,0020	-0,0030	0,1986	0,0013	-0,1884	0,0012	0,5131

Vector	Código de Colores		
	n ≤ 1 mm.	1 < n ≤ 2 mm.	2 < n ≤ 3 mm.
100-101	0,0111	-1,8573	-0,0126
100-102	0,0049	-0,4826	-0,0038
101-102	-0,0131	1,3211	0,0097
200-201	-0,0010	-0,0140	-0,0001
200-202	-0,0097	-0,0995	-0,0007
201-202	-0,0076	5,0145	0,0280
300-301	-0,0044	0,1854	0,0011
300-302	-0,0014	-1,3061	-0,0076
301-302	-0,0025	0,2607	0,0020
400-401	0,0003	-0,0921	-0,0008
400-402	0,0005	-1,0338	-0,0074
401-402	-0,0032	-0,1133	-0,0008
500-501	0,0020	0,0679	0,0006
500-502	-0,0004	-0,1868	-0,0015
501-502	0,0040	0,8310	0,0053
600-601	-0,0029	0,1741	0,0012
600-602	-0,0078	-0,0155	-0,0001
601-602	0,0027	0,5131	0,0034



ANEXO 84. FARO. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERÍA FONDO VERDE (B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Entre placas de puntería con fondo verde (Faro Photon 80) Estación B-4000

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100-200	31,1962	127,1637	-1,0854	101,0854	31,2129	127,1610	-1,1054	101,1054	31,1961	127,1538	-1,1094	101,1094
100-300	46,9285	127,1522	0,0400	99,9600	46,9225	127,1474	0,0265	99,9735	46,9188	127,1488	-0,0079	100,0079
100-400	52,9502	151,8512	-0,9472	100,9472	52,9661	151,8422	-0,9813	100,9813	52,9517	151,8303	-0,9547	100,9547
100-500	62,5527	162,6800	-1,8354	101,8354	62,5659	162,6679	-1,8817	101,8817	62,5584	162,6692	-1,8484	101,8484
100-600	69,2493	167,8513	-1,5999	101,5999	69,2616	167,8403	-1,6272	101,6272	69,2580	167,8446	-1,6123	101,6123
200-300	15,7468	127,1294	2,2698	97,7302	15,7243	127,1204	2,2738	97,7262	15,7367	127,1390	2,1760	97,8240
200-400	26,8047	180,8592	-0,6079	100,6079	26,8055	180,8584	-0,6518	100,6518	26,8021	180,8278	-0,5949	100,5949
200-500	39,6854	190,0149	-2,0398	102,0398	39,6845	190,0130	-2,0972	102,0972	39,6901	189,9998	-2,0413	102,0413
200-600	47,9645	193,2198	-1,6040	101,6040	47,9637	193,2190	-1,6303	101,6303	47,9737	193,2094	-1,6062	101,6062
300-400	20,1538	220,5616	-2,5823	102,5823	20,1594	220,4895	-2,6406	102,6406	20,1415	220,5022	-2,4921	102,4921
300-500	33,7201	215,5322	-3,4617	103,4617	33,7259	215,4906	-3,5290	103,5290	33,7189	215,4942	-3,4194	103,4194
300-600	42,2320	214,0430	-2,6684	102,6684	42,2382	214,0102	-2,6982	102,6982	42,2369	214,0128	-2,6355	102,6355
400-500	13,7260	208,1244	-4,7138	104,7138	13,7245	208,1244	-4,7945	104,7945	13,7361	208,1273	-4,7408	104,7408
400-600	22,2789	208,1474	-2,7223	102,7223	22,2771	208,1483	-2,7263	102,7263	22,2941	208,1510	-2,7415	102,7415
500-600	8,5703	208,1842	0,4680	99,5320	8,5714	208,1863	0,5863	99,4137	8,5756	208,1887	0,4618	99,5382



ANEXO 85. FARO. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO VERDE. B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo verde  
(Faro Photon 80) Estación B-4000

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª			Campaña 3ª respecto 1ª			Campaña 3ª respecto 2ª			Campaña 3ª respecto 1ª					
	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Z (m)
100-200	0,0167	-0,0026	-0,0013	0,0201	-0,0098	-0,0168	-0,0072	-0,0035	0,0040	-0,0020	-0,0001	-0,0098	-0,0048	0,0241	-0,0118
100-300	-0,0060	-0,0047	-0,0035	0,0135	-0,0099	-0,0036	0,0014	0,0011	0,0344	-0,0254	-0,0097	-0,0033	-0,0024	0,0479	-0,0353
100-400	0,0159	-0,0090	-0,0074	0,0341	-0,0284	-0,0144	-0,0119	-0,0099	-0,0266	0,0221	0,0015	-0,0208	-0,0173	0,0076	-0,0063
100-500	0,0132	-0,0120	-0,0118	0,0463	-0,0455	-0,0075	0,0013	0,0013	-0,0333	0,0328	0,0057	-0,0107	-0,0105	0,0129	-0,0127
100-600	0,0122	-0,0110	-0,0119	0,0272	-0,0296	-0,0035	0,0042	0,0046	-0,0149	0,0162	0,0087	-0,0067	-0,0073	0,0124	-0,0135
200-300	-0,0225	-0,0089	-0,0022	-0,0040	0,0010	0,0123	0,0185	0,0046	0,0978	-0,0242	-0,0102	0,0096	0,0024	0,0938	-0,0232
200-400	0,0008	-0,0008	-0,0003	0,0439	-0,0185	-0,0034	-0,0306	-0,0129	-0,0569	0,0239	-0,0026	-0,0314	-0,0132	-0,0130	0,0055
200-500	-0,0010	-0,0020	-0,0012	0,0574	-0,0358	0,0057	-0,0132	-0,0082	-0,0559	0,0348	0,0047	-0,0151	-0,0094	0,0015	-0,0009
200-600	-0,0008	-0,0008	-0,0006	0,0263	-0,0198	0,0100	-0,0096	-0,0072	-0,0241	0,0182	0,0092	-0,0104	-0,0078	0,0022	-0,0016
300-400	0,0056	-0,0721	-0,0228	0,0583	-0,0185	-0,0179	0,0127	0,0040	-0,1485	0,0470	-0,0123	-0,0595	-0,0188	-0,0902	0,0285
300-500	0,0058	-0,0417	-0,0221	0,0673	-0,0356	-0,0070	0,0036	0,0019	-0,1096	0,0583	-0,0012	-0,0381	-0,0202	-0,0423	0,0224
300-600	0,0062	-0,0328	-0,0218	0,0297	-0,0197	-0,0013	0,0026	0,0018	-0,0627	0,0416	0,0049	-0,0302	-0,0200	-0,0330	0,0219
400-500	-0,0015	0,0000	0,0000	0,0807	-0,0174	0,0116	0,0029	0,0006	-0,0536	0,0116	0,0101	0,0029	0,0006	0,0270	-0,0058
400-600	-0,0018	0,0008	0,0003	0,0039	-0,0014	0,0170	0,0027	0,0009	0,0153	-0,0053	0,0152	0,0035	0,0012	0,0192	-0,0067
500-600	0,0011	0,0022	0,0003	-0,1183	0,0159	0,0042	0,0024	0,0003	0,1245	-0,0168	0,0053	0,0046	0,0006	0,0062	-0,0008

Código de Colores

	n ≤ 1 mm.
	1 < n ≤ 2 mm.
	2 < n ≤ 3 mm.
	3 < n ≤ 4 mm.
	4 < n ≤ 5 mm.
	5 < n ≤ 10 mm.
	10 < n ≤ 20 mm.
	20 < n ≤ 40 mm.
	n > 40 mm.



ANEXO 86. FARO. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERÍA FONDO VERDE (B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Entre placas de puntería con fondo verde (Faro Photon 80) Estación B-2000

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
100-200	31,1884	127,1521	-1,1592	101,1592	31,2038	127,1494	-1,1575	101,1575	31,1958	127,1707	-1,1187	101,1187
100-300	46,9143	127,1474	-0,0510	100,0510	46,9262	127,1470	-0,0576	100,0576	46,9121	127,1634	-0,0331	100,0331
100-400	52,9483	151,8483	-0,9886	100,9886	52,9605	151,8443	-1,0047	101,0047	52,9492	151,8688	-0,9680	100,9680
100-500	62,5476	162,6740	-1,8668	101,8668	62,5562	162,6707	-1,8778	101,8778	62,5479	162,7001	-1,8556	101,8556
100-600	69,2466	167,8434	-1,6175	101,6175	69,2588	167,8450	-1,6336	101,6336	69,2474	167,8731	-1,6145	101,6145
200-300	15,7399	127,1380	2,1453	97,8547	15,7363	127,1422	2,1237	97,8763	15,7298	127,1489	2,1201	97,8799
200-400	26,8113	180,8506	-0,6038	100,6038	26,8115	180,8604	-0,6374	100,6374	26,8079	180,8851	-0,6100	100,6100
200-500	39,6867	190,0041	-2,0311	102,0311	39,6859	190,0156	-2,0498	102,0498	39,6864	190,0435	-2,0451	102,0451
200-600	47,9669	193,2051	-1,5813	101,5813	47,9722	193,2196	-1,6055	101,6055	47,9689	193,2468	-1,6031	101,6031
300-400	20,1543	220,5211	-2,4790	102,4790	20,1564	220,5203	-2,5061	102,5061	20,1582	220,5326	-2,4660	102,4660
300-500	33,7158	215,5079	-3,3934	103,3934	33,7175	215,5144	-3,4048	103,4048	33,7241	215,5316	-3,3966	103,3966
300-600	42,2282	214,0165	-2,5962	102,5962	42,2365	214,0243	-2,6151	102,6151	42,2397	214,0451	-2,6105	102,6105
400-500	13,7207	208,1205	-4,6983	104,6983	13,7197	208,1367	-4,6869	104,6869	13,7246	208,1627	-4,7255	104,7255
400-600	22,2739	208,1320	-2,6789	102,6789	22,2795	208,1485	-2,6903	102,6903	22,2804	208,1765	-2,7179	102,7179
500-600	8,5711	208,1503	0,5547	99,4453	8,5774	208,1674	0,5042	99,4958	8,5736	208,1985	0,4967	99,5033



ANEXO 87. FARO. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO VERDE. B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo verde  
(Faro Photon 80) Estación B-2000

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª			Campaña 3ª respecto 2ª			Campaña 3ª respecto 1ª						
	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)				
100-200	0,0154	-0,0027	-0,0013	-0,0080	0,0213	0,0104	-0,0388	0,0190	0,0074	0,0186	0,0091	-0,0404	0,0198
100-300	0,0119	-0,0003	-0,0003	-0,0141	0,0164	0,0121	-0,0245	0,0181	-0,0022	0,0160	0,0118	-0,0178	0,0131
100-400	0,0122	-0,0040	-0,0033	-0,0113	0,0245	0,0204	-0,0367	0,0305	0,0009	0,0205	0,0171	-0,0206	0,0171
100-500	0,0086	-0,0033	-0,0032	-0,0083	0,0294	0,0289	-0,0222	0,0218	0,0003	0,0262	0,0257	-0,0112	0,0110
100-600	0,0122	0,0016	0,0017	-0,0114	0,0281	0,0306	-0,0191	0,0207	0,0009	0,0297	0,0323	-0,0030	0,0032
200-300	-0,0037	0,0043	0,0011	-0,0065	0,0067	0,0017	0,0035	-0,0009	-0,0101	0,0110	0,0027	0,0252	-0,0062
200-400	0,0002	0,0098	0,0041	-0,0036	0,0247	0,0104	-0,0274	0,0115	-0,0034	0,0345	0,0145	0,0062	-0,0026
200-500	-0,0008	0,0115	0,0072	0,0005	0,0279	0,0174	-0,0047	0,0029	-0,0003	0,0394	0,0245	0,0140	-0,0087
200-600	0,0053	0,0145	0,0109	-0,0033	0,0272	0,0205	-0,0024	0,0018	0,0021	0,0417	0,0314	0,0218	-0,0164
300-400	0,0021	-0,0008	-0,0003	0,0018	0,0123	0,0039	-0,0402	0,0127	0,0039	0,0115	0,0036	-0,0131	0,0041
300-500	0,0017	0,0065	0,0034	0,0066	0,0172	0,0091	-0,0082	0,0043	0,0083	0,0237	0,0126	0,0032	-0,0017
300-600	0,0083	0,0078	0,0052	0,0031	0,0208	0,0138	-0,0046	0,0031	0,0114	0,0286	0,0190	0,0143	-0,0095
400-500	-0,0011	0,0162	0,0035	0,0049	0,0260	0,0056	-0,0386	-0,0083	0,0039	0,0421	0,0091	0,0272	-0,0059
400-600	0,0057	0,0165	0,0058	0,0009	0,0279	0,0098	0,0276	-0,0097	0,0065	0,0445	0,0156	0,0390	-0,0137
500-600	0,0063	0,0171	0,0023	-0,0038	0,0311	0,0042	0,0075	-0,0010	0,0025	0,0482	0,0065	0,0579	-0,0078

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
100-200	0,0074	0,0186	0,0091	-0,0404	0,0198				
100-300	-0,0022	0,0160	0,0118	-0,0178	0,0131				
100-400	0,0009	0,0205	0,0171	-0,0206	0,0171				
100-500	0,0003	0,0262	0,0257	-0,0112	0,0110				
100-600	0,0009	0,0297	0,0323	-0,0030	0,0032				
200-300	-0,0101	0,0110	0,0027	0,0252	-0,0062				
200-400	-0,0034	0,0345	0,0145	0,0062	-0,0026				
200-500	-0,0003	0,0394	0,0245	0,0140	-0,0087				
200-600	0,0021	0,0417	0,0314	0,0218	-0,0164				
300-400	0,0039	0,0115	0,0036	-0,0131	0,0041				
300-500	0,0083	0,0237	0,0126	0,0032	-0,0017				
300-600	0,0114	0,0286	0,0190	0,0143	-0,0095				
400-500	0,0039	0,0421	0,0091	0,0272	-0,0059				
400-600	0,0065	0,0445	0,0156	0,0390	-0,0137				
500-600	0,0025	0,0482	0,0065	0,0579	-0,0078				

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
100-200	-0,0080	0,0213	0,0104	-0,0388	0,0190	
100-300	-0,0141	0,0164	0,0121	-0,0245	0,0181	
100-400	-0,0113	0,0245	0,0204	-0,0367	0,0305	
100-500	-0,0083	0,0294	0,0289	-0,0222	0,0218	
100-600	-0,0114	0,0281	0,0306	-0,0191	0,0207	
200-300	-0,0065	0,0067	0,0017	0,0035	-0,0009	
200-400	-0,0036	0,0247	0,0104	-0,0274	0,0115	
200-500	0,0005	0,0279	0,0174	-0,0047	0,0029	
200-600	-0,0033	0,0272	0,0205	-0,0024	0,0018	
300-400	0,0018	0,0123	0,0039	-0,0402	0,0127	
300-500	0,0066	0,0172	0,0091	-0,0082	0,0043	
300-600	0,0031	0,0208	0,0138	-0,0046	0,0031	
400-500	0,0049	0,0260	0,0056	-0,0386	-0,0083	
400-600	0,0009	0,0279	0,0098	0,0276	-0,0097	
500-600	-0,0038	0,0311	0,0042	0,0075	-0,0010	

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
100-200	0,0154	-0,0027	-0,0013	-0,0017	0,0008	
100-300	0,0119	-0,0003	-0,0003	0,0067	-0,0049	
100-400	0,0122	-0,0040	-0,0033	0,0161	-0,0134	
100-500	0,0086	-0,0033	-0,0032	0,0110	-0,0108	
100-600	0,0122	0,0016	0,0017	0,0161	-0,0175	
200-300	-0,0037	0,0043	0,0011	0,0216	-0,0054	
200-400	0,0002	0,0098	0,0041	0,0336	-0,0141	
200-500	-0,0008	0,0115	0,0072	0,0187	-0,0116	
200-600	0,0053	0,0145	0,0109	0,0242	-0,0182	
300-400	0,0021	-0,0008	-0,0003	0,0271	-0,0086	
300-500	0,0017	0,0065	0,0034	0,0115	-0,0061	
300-600	0,0083	0,0078	0,0052	0,0189	-0,0126	
400-500	-0,0011	0,0162	0,0035	-0,0114	0,0024	
400-600	0,0057	0,0165	0,0058	0,0114	-0,0040	
500-600	0,0063	0,0171	0,0023	0,0504	-0,0068	

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
100-200	0,0074	0,0186	0,0091	-0,0404	0,0198	
100-300	-0,0022	0,0160	0,0118	-0,0178	0,0131	
100-400	0,0009	0,0205	0,0171	-0,0206	0,0171	
100-500	0,0003	0,0262	0,0257	-0,0112	0,0110	
100-600	0,0009	0,0297	0,0323	-0,0030	0,0032	
200-300	-0,0101	0,0110	0,0027	0,0252	-0,0062	
200-400	-0,0034	0,0345	0,0145	0,0062	-0,0026	
200-500	-0,0003	0,0394	0,0245	0,0140	-0,0087	
200-600	0,0021	0,0417	0,0314	0,0218	-0,0164	
300-400	0,0039	0,0115	0,0036	-0,0131	0,0041	
300-500	0,0083	0,0237	0,0126	0,0032	-0,0017	
300-600	0,0114	0,0286	0,0190	0,0143	-0,0095	
400-500	0,0039	0,0421	0,0091	0,0272	-0,0059	
400-600	0,0065	0,0445	0,0156	0,0390	-0,0137	
500-600	0,0025	0,0482	0,0065	0,0579	-0,0078	

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
100-200	-0,0080	0,0213	0,0104	-0,0388	0,0190	
100-300	-0,0141	0,0164	0,0121	-0,0245	0,0181	
100-400	-0,0113	0,0245	0,0204	-0,0367	0,0305	
100-500	-0,0083	0,0294	0,0289	-0,0222	0,0218	
100-600	-0,0114	0,0281	0,0306	-0,0191	0,0207	
200-300	-0,0065	0,0067	0,0017	0,0035	-0,0009	
200-400	-0,0036	0,0247	0,0104	-0,0274	0,0115	
200-500	0,0005	0,0279	0,0174	-0,0047	0,0029	
200-600	-0,0033	0,0272	0,0205	-0,0024	0,0018	
300-400	0,0018	0,0123	0,0039	-0,0402	0,0127	
300-500	0,0066	0,0172	0,0091	-0,0082	0,0043	
300-600	0,0031	0,0208	0,0138	-0,0046	0,0031	
400-500	0,0049	0,0260	0,0056	-0,0386	-0,0083	
400-600	0,0009	0,0279	0,0098	0,0276	-0,0097	
500-600	-0,0038	0,0311	0,0042	0,0075	-0,0010	

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
100-200	0,0154	-0,0027	-0,0013	-0,0017	0,0008	
100-300	0,0119	-0,0003	-0,0003	0,0067	-0,0049	
100-400	0,0122	-0,0040	-0,0033	0,0161	-0,0134	
100-500	0,0086	-0,0033	-0,0032	0,0110	-0,0108	
100-600	0,0122	0,0016	0,0017	0,0161	-0,0175	
200-300	-0,0037	0,0043	0,0011	0,0216	-0,0054	
200-400	0,0002	0,0098	0,0041	0,0336	-0,0141	
200-500	-0,0008	0,0115	0,0072	0,0187	-0,0116	
200-600	0,0053	0,0145	0,0109	0,0242	-0,0182	
300-400	0,0021	-0,0008	-0,0003	0,0271	-0,0086	
300-500	0,0017	0,0065	0,0034	0,0115	-0,0061	
300-600	0,0083	0,0078	0,0052	0,0189	-0,0126	
400-500	-0,0011	0,0162	0,0035	-0,0114	0,0024	
400-600	0,0057	0,0165	0,0058	0,0114	-0,0040	
500-600	0,0063	0,0171	0,0023	0,0504	-0,0068	

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
100-200	0,0074	0,0186	0,0091	-0,0404	0,0198	
100-300	-0,0022	0,0160	0,0118	-0,0178	0,0131	
100-400	0,0009	0,0205	0,0171	-0,0206	0,0171	
100-500	0,0003	0,0262	0,0257	-0,0112	0,0110	
100-600	0,0009	0,0297	0,0323	-0,0030	0,0032	
200-300	-0,0101	0,0110	0,0027	0,0252	-0,0062	
200-400	-0,0034	0,0345	0,0145	0,0062	-0,0026	
200-500	-0,0003	0,0394	0,0245	0,0140	-0,0087	
200-600	0,0021	0,0417	0,0314	0,0218	-0,0164	
300-400	0,0039	0,0115	0,0036	-0,0131	0,0041	
300-500	0,0083	0,0237	0,0126	0,0032	-0,0017	
300-600	0,0114	0,0286	0,0190	0,0143	-0,0095	
400-500	0,0039	0,0421	0,0091	0,0272	-0,0059	
400-600	0,0065	0,0445	0,0156	0,0390	-0,0137	
500-600	0,0025	0,0482	0,0065	0,0579	-0,0078	

Código de Colores  
 n ≤ 1 mm.  
 1 < n ≤ 2 mm.  
 2 < n ≤ 3 mm.  
 3 < n ≤ 4 mm.  
 4 < n ≤ 5 mm.  
 5 < n ≤ 10 mm.  
 10 < n ≤ 20 mm.  
 20 < n ≤ 40 mm.  
 n > 40 mm.



ANEXO 88. FARO. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERÍA FONDO NEGRO (B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Entre placas de puntería con fondo negro (Faro Photon 80) Estación B-4000

Vector	1ª campaña				2ª campaña				3ª campaña			
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)
101-201	31,3800	127,1561	-2,1766	102,1766	31,3830	127,1478	-2,1758	102,1758	31,3901	127,1501	-2,1979	102,1979
101-301	46,3092	127,1502	-0,4775	100,4775	46,3291	127,1396	-0,4884	100,4884	46,3350	127,1435	-0,4894	100,4894
101-401	53,0937	152,4300	-1,6498	101,6498	53,1073	152,4158	-1,6809	101,6809	53,1056	152,4100	-1,6680	101,6680
101-501	62,8008	163,1679	-2,1952	102,1952	62,8129	163,1502	-2,2317	102,2317	62,8201	163,1562	-2,2077	102,2077
101-601	68,7885	167,7660	-2,1607	102,1607	68,8009	167,7526	-2,1805	102,1805	68,8058	167,7543	-2,1733	102,1733
201-301	14,9638	127,1379	3,0871	96,9129	14,9802	127,1223	3,0478	96,9522	14,9799	127,1296	3,0922	96,9078
201-401	27,0281	182,0511	-0,7139	100,7139	27,0359	182,0238	-0,7764	100,7764	27,0269	182,0258	-0,7249	100,7249
201-501	40,0062	190,7848	-1,7386	101,7386	40,0116	190,7596	-1,7968	101,7968	40,0157	190,7711	-1,7415	101,7415
201-601	47,4066	193,5546	-1,6944	101,6944	47,4143	193,5366	-1,7237	101,7237	47,4148	193,5433	-1,6985	101,6985
301-401	20,7209	219,0132	-3,1610	103,1610	20,7232	219,0237	-3,2166	103,2166	20,7142	219,0373	-3,1824	103,1824
301-501	34,3491	214,6808	-3,3706	103,3706	34,3492	214,6825	-3,4230	103,4230	34,3538	214,6892	-3,3777	103,3777
301-601	41,9526	213,4984	-3,0163	103,0163	41,9559	213,5020	-3,0367	103,0367	41,9565	213,5068	-3,0240	103,0240
401-501	13,7485	208,1420	-3,6570	103,6570	13,7468	208,1290	-3,7042	103,7042	13,7606	208,1350	-3,6420	103,6420
400-601	21,3844	208,1564	-2,8545	102,8545	21,3859	208,1533	-2,8406	102,8406	21,3957	208,1543	-2,8490	102,8490
501-601	7,6390	208,1822	-1,4101	101,4101	7,6426	208,1969	-1,2873	101,2873	7,6381	208,1891	-1,4201	101,4201



ANEXO 89. FARO. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO NEGRO. B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo negro (Faro Photon 80) Estación B-4000

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª			Campaña 3ª respecto 2ª			Campaña 3ª respecto 1ª			Código de Colores				
	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)		diff. V (g)	diff. Z (m)		
101-201	0,0029	-0,0083	-0,0041	0,0072	0,0022	0,0011	0,0221	-0,0109	0,0101	-0,0060	0,0212	-0,0105	n ≤ 1 mm.	
101-301	0,0198	-0,0106	-0,0077	0,0060	0,0039	0,0028	0,0009	-0,0007	0,0258	-0,0068	-0,0049	0,0119	-0,0086	1 < n ≤ 2 mm.
101-401	0,0137	-0,0143	-0,0119	-0,0017	-0,0057	-0,0048	-0,0130	0,0108	0,0119	-0,0200	-0,0167	0,0181	-0,0151	2 < n ≤ 3 mm.
101-501	0,0121	-0,0178	-0,0175	0,0072	0,0061	0,0060	-0,0240	0,0237	0,0193	-0,0117	-0,0116	0,0124	-0,0123	3 < n ≤ 4 mm.
101-601	0,0125	-0,0134	-0,0145	0,0048	0,0016	0,0018	-0,0072	0,0078	0,0173	-0,0118	-0,0127	0,0125	-0,0135	4 < n ≤ 5 mm.
201-301	0,0164	-0,0156	-0,0037	-0,0004	0,0073	0,0017	-0,0444	0,0104	0,0161	-0,0083	-0,0020	-0,0051	0,0012	5 < n ≤ 10 mm.
201-401	0,0078	-0,0272	-0,0116	-0,0090	0,0020	0,0008	-0,0516	0,0219	-0,0012	-0,0253	-0,0107	0,0110	-0,0047	10 < n ≤ 20 mm.
201-501	0,0054	-0,0251	-0,0158	0,0042	0,0114	0,0072	-0,0553	0,0347	0,0095	-0,0137	-0,0086	0,0029	-0,0019	20 < n ≤ 40 mm.
201-601	0,0077	-0,0179	-0,0133	0,0005	0,0066	0,0049	-0,0232	0,0188	0,0082	-0,0113	-0,0084	0,0041	-0,0031	n > 40 mm.
301-401	0,0023	0,0105	0,0034	-0,0090	0,0136	0,0044	-0,0342	0,0111	-0,0067	0,0241	0,0078	0,0214	-0,0070	
301-501	0,0001	0,0017	0,0009	0,0046	0,0067	0,0036	-0,0453	0,0245	0,0047	0,0085	0,0046	0,0071	-0,0038	
301-601	0,0033	0,0036	0,0024	0,0006	0,0049	0,0032	-0,0127	0,0084	0,0039	0,0084	0,0056	0,0077	-0,0051	
401-501	-0,0017	-0,0130	-0,0028	0,0138	0,0060	0,0013	-0,0621	0,0134	0,0121	-0,0070	-0,0015	-0,0149	0,0032	
400-601	0,0015	-0,0031	-0,0010	0,0099	0,0010	0,0004	0,0083	-0,0028	0,0113	-0,0020	-0,0007	-0,0055	0,0019	
501-601	0,0037	0,0148	0,0018	-0,0045	-0,0079	-0,0009	0,1328	-0,0159	-0,0008	0,0069	0,0008	0,0100	-0,0012	





ANEXO 90. FARO. VECTORES ENTRE PLACAS DE PUNTERÍA FONDO NEGRO (B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Entre placas de puntería con fondo negro (Faro Photon 80) Estación B-2000

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña						
	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	α (cent.)	V (cent.)	
101-201	31,3793	127,1369	-2,2638	102,2638	31,3730	127,1455	-2,2447	102,2447	101-201	31,3600	127,1674	-2,2117	102,2117
101-301	46,3275	127,1385	-0,5560	100,5560	46,3217	127,1442	-0,5523	100,5523	101-301	46,3028	127,1615	-0,5349	100,5349
101-401	53,0976	152,4124	-1,7144	101,7144	53,0930	152,4242	-1,7204	101,7204	101-401	53,0767	152,4514	-1,6914	101,6914
101-501	62,8054	163,1502	-2,2318	102,2318	62,8017	163,1646	-2,2358	102,2358	101-501	62,7876	163,1977	-2,2208	102,2208
101-601	68,7922	167,7477	-2,1914	102,1914	68,7865	167,7622	-2,1975	102,1975	101-601	68,7739	167,7950	-2,1785	102,1785
201-301	14,9831	127,1419	3,0221	96,9779	14,9830	127,1417	2,9928	97,0072	201-301	14,9765	127,1491	2,9776	97,0224
201-401	27,0325	182,0279	-0,7399	100,7399	27,0336	182,0365	-0,7740	100,7740	201-401	27,0295	182,0621	-0,7555	100,7555
201-501	40,0108	190,7624	-1,7277	101,7277	40,0134	190,7739	-1,7490	101,7490	201-501	40,0125	190,8042	-1,7514	101,7514
201-601	47,4103	193,5326	-1,6813	101,6813	47,4107	193,5453	-1,7028	101,7028	201-601	47,4105	193,5736	-1,6971	101,6971
301-401	20,7154	219,0415	-3,1517	103,1517	20,7186	219,0501	-3,1747	103,1747	301-401	20,7198	219,0644	-3,1382	103,1382
301-501	34,3425	214,6894	-3,3321	103,3321	34,3475	214,7008	-3,3439	103,3439	301-501	34,3531	214,7219	-3,3388	103,3388
301-601	41,9450	213,5024	-2,9803	102,9803	41,9484	213,5163	-2,9940	102,9940	301-601	41,9541	213,5368	-2,9812	102,9812
401-501	13,7484	208,1230	-3,5746	103,5746	13,7501	208,1386	-3,5694	103,5694	401-501	13,7541	208,1712	-3,6116	103,6116
400-601	21,3836	208,1381	-2,7928	102,7928	21,3836	208,1566	-2,7974	102,7974	400-601	21,3877	208,1836	-2,8077	102,8077
501-601	7,6381	208,1653	-1,3855	101,3855	7,6363	208,1891	-1,4072	101,4072	501-601	7,6367	208,2059	-1,3597	101,3597



ANEXO 91. FARO. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (PLACAS FONDO NEGRO. B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)  
Placas de puntería con fondo negro (Faro Photon 80) Estación B-2000

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª			Campaña 3ª respecto 2ª			Campaña 3ª respecto 1ª		
	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)
101-201	-0,0063	0,0085	0,0042	-0,0130	0,0219	0,0108	-0,0330	0,0162	0,0257
101-301	-0,0058	0,0057	0,0041	-0,0189	0,0172	0,0125	-0,0174	0,0126	0,0154
101-401	-0,0045	0,0118	0,0099	0,0163	0,0272	0,0227	-0,0290	0,0242	0,0192
101-501	-0,0037	0,0144	0,0142	0,0140	0,0331	0,0326	-0,0150	0,0148	0,0108
101-601	-0,0057	0,0145	0,0156	0,0126	0,0328	0,0355	-0,0190	0,0205	0,0139
201-301	-0,0001	-0,0002	-0,0001	-0,0066	0,0074	0,0017	0,0152	-0,0036	0,0445
201-401	0,0011	0,0086	0,0037	-0,0040	0,0255	0,0108	-0,0185	0,0079	0,0445
201-501	0,0026	0,0115	0,0072	-0,0009	0,0302	0,0190	0,0023	-0,0015	0,0156
201-601	0,0005	0,0127	0,0095	-0,0002	0,0283	0,0211	-0,0057	0,0043	0,0237
301-401	0,0032	0,0085	0,0028	0,0012	0,0143	0,0047	-0,0364	0,0119	0,0158
301-501	0,0050	0,0114	0,0061	0,0055	0,0212	0,0114	-0,0051	0,0027	0,0135
301-601	0,0034	0,0140	0,0092	0,0057	0,0205	0,0135	-0,0128	0,0084	0,0066
401-501	0,0017	0,0156	0,0034	0,0040	0,0326	0,0070	0,0423	-0,0091	0,0370
400-601	0,0000	0,0185	0,0062	0,0042	0,0270	0,0091	0,0103	-0,0035	0,0104
501-601	-0,0018	0,0238	0,0029	0,0004	0,0168	0,0020	-0,0475	0,0057	0,0455
									0,0049
									-0,0258
									0,0031

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Y (g)	diff. Z (m)
101-201	-0,0193	0,0304	0,0150	-0,0521	0,0257	0,0257
101-301	-0,0247	0,0229	0,0167	-0,0211	0,0154	0,0154
101-401	-0,0208	0,0390	0,0325	-0,0230	0,0192	0,0192
101-501	-0,0177	0,0475	0,0468	-0,0110	0,0108	0,0108
101-601	-0,0184	0,0473	0,0511	-0,0129	0,0139	0,0139
201-301	-0,0067	0,0072	0,0017	0,0445	-0,0105	-0,0105
201-401	-0,0029	0,0342	0,0145	0,0156	-0,0066	-0,0066
201-501	0,0017	0,0417	0,0262	0,0237	-0,0149	-0,0149
201-601	0,0003	0,0411	0,0306	0,0158	-0,0118	-0,0118
301-401	0,0043	0,0228	0,0074	-0,0135	0,0044	0,0044
301-501	0,0105	0,0325	0,0175	0,0066	-0,0036	-0,0036
301-601	0,0091	0,0345	0,0227	0,0009	-0,0006	-0,0006
401-501	0,0057	0,0482	0,0104	0,0370	-0,0080	-0,0080
400-601	0,0041	0,0455	0,0153	0,0149	-0,0050	-0,0050
501-601	-0,0014	0,0406	0,0049	-0,0258	0,0031	0,0031

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Y (g)	diff. Z (m)
101-201	-0,0130	0,0219	0,0108	-0,0330	0,0162	0,0162
101-301	-0,0189	0,0172	0,0125	-0,0174	0,0126	0,0126
101-401	-0,0163	0,0272	0,0227	-0,0290	0,0242	0,0242
101-501	-0,0140	0,0331	0,0326	-0,0150	0,0148	0,0148
101-601	-0,0126	0,0328	0,0355	-0,0190	0,0205	0,0205
201-301	-0,0066	0,0074	0,0017	0,0152	-0,0036	-0,0036
201-401	-0,0040	0,0255	0,0108	-0,0185	0,0079	0,0079
201-501	-0,0009	0,0302	0,0190	0,0023	-0,0015	-0,0015
201-601	-0,0002	0,0283	0,0211	-0,0057	0,0043	0,0043
301-401	0,0012	0,0143	0,0047	-0,0364	0,0119	0,0119
301-501	0,0055	0,0212	0,0114	-0,0051	0,0027	0,0027
301-601	0,0057	0,0205	0,0135	-0,0128	0,0084	0,0084
401-501	0,0040	0,0326	0,0070	0,0423	-0,0091	-0,0091
400-601	0,0042	0,0270	0,0091	0,0103	-0,0035	-0,0035
501-601	0,0004	0,0168	0,0020	-0,0475	0,0057	0,0057

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Y (g)	diff. Z (m)
101-201	-0,0063	0,0085	0,0042	-0,0192	0,0094	0,0094
101-301	-0,0058	0,0057	0,0041	-0,0037	0,0027	0,0027
101-401	-0,0045	0,0118	0,0099	0,0060	-0,0050	-0,0050
101-501	-0,0037	0,0144	0,0142	0,0040	-0,0039	-0,0039
101-601	-0,0057	0,0145	0,0156	0,0061	-0,0066	-0,0066
201-301	-0,0001	-0,0002	-0,0001	0,0293	-0,0069	-0,0069
201-401	0,0011	0,0086	0,0037	0,0341	-0,0145	-0,0145
201-501	0,0026	0,0115	0,0072	0,0213	-0,0134	-0,0134
201-601	0,0005	0,0127	0,0095	0,0215	-0,0160	-0,0160
301-401	0,0032	0,0085	0,0028	0,0229	-0,0075	-0,0075
301-501	0,0050	0,0114	0,0061	0,0117	-0,0063	-0,0063
301-601	0,0034	0,0140	0,0092	0,0136	-0,0090	-0,0090
401-501	0,0017	0,0156	0,0034	-0,0052	0,0011	0,0011
400-601	0,0000	0,0185	0,0062	0,0046	-0,0015	-0,0015
501-601	-0,0018	0,0238	0,0029	0,0217	-0,0026	-0,0026

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Y (g)	diff. Z (m)
101-201	-0,0193	0,0304	0,0150	-0,0521	0,0257	0,0257
101-301	-0,0247	0,0229	0,0167	-0,0211	0,0154	0,0154
101-401	-0,0208	0,0390	0,0325	-0,0230	0,0192	0,0192
101-501	-0,0177	0,0475	0,0468	-0,0110	0,0108	0,0108
101-601	-0,0184	0,0473	0,0511	-0,0129	0,0139	0,0139
201-301	-0,0067	0,0072	0,0017	0,0445	-0,0105	-0,0105
201-401	-0,0029	0,0342	0,0145	0,0156	-0,0066	-0,0066
201-501	0,0017	0,0417	0,0262	0,0237	-0,0149	-0,0149
201-601	0,0003	0,0411	0,0306	0,0158	-0,0118	-0,0118
301-401	0,0043	0,0228	0,0074	-0,0135	0,0044	0,0044
301-501	0,0105	0,0325	0,0175	0,0066	-0,0036	-0,0036
301-601	0,0091	0,0345	0,0227	0,0009	-0,0006	-0,0006
401-501	0,0057	0,0482	0,0104	0,0370	-0,0080	-0,0080
400-601	0,0041	0,0455	0,0153	0,0149	-0,0050	-0,0050
501-601	-0,0014	0,0406	0,0049	-0,0258	0,0031	0,0031

Vector	diff. D (m)	diff. Az (g)	diff. tr. (m)	diff. V (g)	diff. Y (g)	diff. Z (m)
101-201	-0,0193	0,0304	0,0150	-0,0521	0,0257	0,0257
101-301	-0,0247	0,0229	0,0167	-0,0211	0,0154	0,0154
101-401	-0,0208	0,0390	0,0325	-0,0230	0,0192	0,0192
101-501	-0,0177	0,0475	0,0468	-0,0110	0,0108	0,0108
101-601	-0,0184	0,0473	0,0511	-0,0129	0,0139	0,0139
201-301	-0,0067	0,0072	0,0017	0,0445	-0,0105	-0,0105
201-401	-0,0029	0,0342	0,0145	0,0156	-0,0066	-0,0066
201-501	0,0017	0,0417	0,0262	0,0237	-0,0149	-0,0149
201-601	0,0003	0,0411	0,0306	0,0158	-0,0118	-0,0118
301-401	0,0043	0,0228	0,0074	-0,0135	0,0044	0,0044
301-501	0,0105	0,0325	0,0175	0,0066	-0,0036	-0,0036
301-601	0,0091	0,0345	0,0227	0,0009	-0,0006	-0,0006
401-501	0,0057	0,0482	0,0104	0,0370	-0,0080	-0,0080
400-601	0,0041	0,0455	0,0153	0,0149	-0,0050	-0,0050
501-601	-0,0014	0,0406	0,0049	-0,0258	0,0031	0,0031

Código de Colores
h ≤ 1 mm.
1 < n ≤ 2 mm.
2 < n ≤ 3 mm.
3 < n ≤ 4 mm.
4 < n ≤ 5 mm.
5 < n ≤ 10 mm.
10 < n ≤ 20 mm.
20 < n ≤ 40 mm.
n > 40 mm.



ANEXO 92. FARO. VECTORES ENTRE ESFERAS DE PUNTERÍA (B-4000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Entre esferas (Faro Photon 80) Estación B-4000

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
102-202	31,1086	127,2370	-0,7519	100,7519	31,1190	127,2435	-0,7106	100,7106	31,1182	127,2304	-0,7524	100,7524
102-302	46,3434	127,0571	-0,5005	100,5005	46,3523	127,1463	-0,4824	100,4824	46,3673	127,1396	-0,4914	100,4914
102-402	52,4945	152,2321	-1,4559	101,4559	52,5003	152,2097	-1,4710	101,4710	52,5017	152,2078	-1,4641	101,4641
102-502	62,3253	163,1980	-1,4773	101,4773	62,3395	163,1873	-1,5185	101,5185	62,3421	163,1810	-1,4880	101,4880
102-602	68,7800	168,1697	-1,9474	101,9474	68,7932	168,1625	-1,9644	101,9644	68,7940	168,1555	-1,9557	101,9557
202-302	15,2359	126,6898	0,0128	99,9872	15,2341	126,9478	-0,0164	100,0164	15,2500	126,9541	0,0411	99,9589
202-402	26,5705	181,8153	-1,9962	101,9962	26,5589	181,7841	-2,0754	102,0754	26,5642	181,7875	-2,0125	102,0125
202-502	39,7103	190,7554	-1,7297	101,7297	39,7112	190,7429	-1,8269	101,8269	39,7161	190,7359	-1,7463	101,7463
202-602	47,6857	193,7698	-2,3185	102,3185	47,6877	193,7637	-2,3703	102,3703	47,6906	193,7570	-2,3303	102,3303
302-402	20,3415	220,5034	-2,6174	102,6174	20,2635	220,4676	-2,7082	102,7082	20,2657	220,5094	-2,6692	102,6692
302-502	34,0876	215,4207	-2,0208	102,0208	34,0253	215,3838	-2,1250	102,1250	34,0240	215,4005	-2,0570	102,0570
302-602	42,2871	214,0671	-2,6193	102,6193	42,2274	214,0391	-2,6710	102,6710	42,2243	214,0530	-2,6470	102,6470
402-502	13,9078	207,9830	-1,1250	101,1250	13,9224	207,9809	-1,2520	101,2520	13,9207	207,9592	-1,1420	101,1420
402-602	22,1445	208,1565	-2,5974	102,5974	22,1611	208,1630	-2,6132	102,6132	22,1576	208,1497	-2,6029	102,6029
502-602	8,2468	208,4499	-5,0810	105,0810	8,2474	208,4712	-4,9114	104,9114	8,2469	208,4722	-5,0692	105,0692





ANEXO 94. FARO. VECTORES ENTRE ESFERAS DE PUNTERÍA (B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales  
Entre esferas (Faro Photon 80) Estación B-2000

Vector	1ª campaña			2ª campaña			3ª campaña					
	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	D	Az (cent.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
102-202	31,1198	127,2169	-0,7998	100,7998	31,1141	127,2206	-0,7878	100,7878	31,1128	127,2374	-0,7597	100,7597
102-302	46,3634	127,1416	-0,5423	100,5423	46,3647	127,1421	-0,5536	100,5536	46,3580	127,1624	-0,5197	100,5197
102-402	52,4931	152,2049	-1,5082	101,5082	52,4964	152,2146	-1,5251	101,5251	52,4931	152,2344	-1,4842	101,4842
102-502	62,3416	163,1873	-1,5040	101,5040	62,3409	163,1959	-1,5175	101,5175	62,3396	163,2177	-1,4899	101,4899
102-602	68,7855	168,1480	-1,9628	101,9628	68,7865	168,1600	-1,9797	101,9797	68,7827	168,1855	-1,9498	101,9498
202-302	15,2444	126,9881	-0,0164	100,0164	15,2514	126,9821	-0,0757	100,0757	15,2459	127,0094	-0,0298	100,0298
202-402	26,5592	181,8052	-2,0437	102,0437	26,5685	181,8059	-2,0910	102,0910	26,5674	181,8289	-2,0429	102,0429
202-502	39,7226	190,7531	-1,7339	101,7339	39,7272	190,7568	-1,7643	101,7643	39,7289	190,7797	-1,7428	101,7428
202-602	47,6839	193,7577	-2,3095	102,3095	47,6915	193,7655	-2,3415	102,3415	47,6925	193,7941	-2,3165	102,3165
302-402	20,2579	220,5183	-2,6674	102,6674	20,2662	220,5257	-2,6846	102,6846	20,2650	220,5321	-2,6562	102,6562
302-502	34,0265	215,4013	-2,0169	102,0169	34,0315	215,4158	-2,0258	102,0258	34,0332	215,4267	-2,0212	102,0212
302-602	42,2106	214,0459	-2,6032	102,6032	42,2192	214,0619	-2,6177	102,6177	42,2219	214,0817	-2,6061	102,6061
402-502	13,9316	207,9572	-1,0477	101,0477	13,9281	207,9772	-1,0438	101,0438	13,9306	207,9964	-1,0744	101,0744
402-602	22,1525	208,1292	-2,5210	102,5210	22,1525	208,1507	-2,5330	102,5330	22,1555	208,1838	-2,5368	102,5368
502-602	8,2311	208,4212	-5,0149	105,0149	8,2348	208,4450	-5,0521	105,0521	8,2350	208,5018	-5,0111	105,0111



ANEXO 95. FARO. DIFERENCIAS ENTRE VECTORES (ESFERAS DE PUNTERÍA. B-2000)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**Diferencias entre campañas (distancias y ángulos)**  
**Estación B-2000**

Vector	Campaña 2ª respecto 1ª				Campaña 3ª respecto 2ª				Campaña 3ª respecto 1ª						
	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)			
102-202	-0,0058	0,0038	0,0018	-0,0120	0,0059	-0,0012	0,0168	0,0082	-0,0281	0,0137	-0,0070	0,0205	0,0100	-0,0401	0,0196
102-302	0,0013	0,0005	0,0004	0,0113	-0,0083	-0,0067	0,0203	0,0148	-0,0339	0,0247	-0,0054	0,0208	0,0151	-0,0226	0,0164
102-402	0,0034	0,0097	0,0080	0,0170	-0,0140	-0,0034	0,0198	0,0164	-0,0410	0,0338	0,0000	0,0296	0,0244	-0,0240	0,0198
102-502	-0,0008	0,0086	0,0085	0,0135	-0,0132	-0,0013	0,0217	0,0213	-0,0277	0,0271	-0,0020	0,0304	0,0297	-0,0142	0,0139
102-602	0,0010	0,0120	0,0129	0,0169	-0,0182	-0,0038	0,0255	0,0275	-0,0299	0,0323	-0,0028	0,0375	0,0405	-0,0130	0,0140
202-302	0,0070	-0,0061	-0,0015	0,0593	-0,0142	-0,0055	0,0274	0,0066	-0,0459	0,0110	0,0015	0,0213	0,0051	0,0134	-0,0032
202-402	0,0093	0,0006	0,0003	0,0473	-0,0197	-0,0011	0,0230	0,0096	-0,0481	0,0101	0,0082	0,0237	0,0099	-0,0008	0,0003
202-502	0,0046	0,0037	0,0023	0,0305	-0,0190	0,0017	0,0228	0,0143	-0,0215	0,0134	0,0063	0,0266	0,0166	0,0090	-0,0056
202-602	0,0076	0,0079	0,0059	0,0320	-0,0239	0,0010	0,0286	0,0214	-0,0249	0,0187	0,0086	0,0365	0,0273	0,0070	-0,0053
302-402	0,0082	0,0074	0,0024	0,0172	-0,0055	-0,0012	0,0064	0,0020	-0,0284	0,0090	0,0070	0,0138	0,0044	-0,0112	0,0036
302-502	0,0050	0,0145	0,0077	0,0089	-0,0048	0,0017	0,0110	0,0059	-0,0045	0,0024	0,0067	0,0254	0,0136	0,0044	-0,0023
302-602	0,0086	0,0160	0,0106	0,0145	-0,0096	0,0026	0,0198	0,0131	-0,0117	0,0077	0,0113	0,0358	0,0237	0,0029	-0,0019
402-502	-0,0035	0,0199	0,0044	-0,0039	0,0008	0,0024	0,0192	0,0042	0,0305	-0,0067	-0,0010	0,0391	0,0086	0,0267	-0,0058
402-602	0,0000	0,0215	0,0075	0,0120	-0,0042	0,0030	0,0331	0,0115	0,0039	-0,0013	0,0030	0,0546	0,0190	0,0159	-0,0055
502-602	0,0037	0,0239	0,0031	0,0372	-0,0048	0,0002	0,0568	0,0073	-0,0409	0,0053	0,0039	0,0806	0,0104	-0,0038	0,0005

Código de Colores

□	n ≤ 1 mm.
□	1 < n ≤ 2 mm.
□	2 < n ≤ 3 mm.
□	3 < n ≤ 4 mm.
□	4 < n ≤ 5 mm.
□	5 < n ≤ 10 mm.
□	10 < n ≤ 20 mm.
□	20 < n ≤ 40 mm.
□	n > 40 mm.



ANEXO 96. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA COORDENADAS RED DE APOYO.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas FARO respecto coordenadas TCA-2003 1ª campaña**

Pto.	TCA 2003									FARO B-4000									FARO B-2000									Diferencias								
	Coordenadas			FARO B-4000			FARO B-2000			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003											
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ									
1001	5,5490	36,0485	1,8366	5,5468	36,0569	1,8440	5,5406	36,0537	1,8608	-0,0023	0,0084	0,0073	-0,0084	0,0052	0,0242	0,0042	0,0057	0,0033	0,0072	0,0044	0,0044	0,0044	0,0372	-0,0071	0,0049	0,0372										
1002	5,5492	36,0488	1,8715	5,5532	36,0464	1,8763	5,5511	36,0469	1,8957	0,0040	-0,0023	0,0047	0,0019	-0,0019	0,0242	0,0042	0,0057	0,0033	0,0072	0,0044	0,0044	0,0044	0,0372	-0,0071	0,0049	0,0372										
2001	29,8953	26,8102	1,7140	29,9010	26,8135	1,7211																														
2002	29,8951	26,8100	1,7487	29,8918	26,8052	1,7687																														
3001	22,3185	3,5299	0,5776	22,3267	3,5340	0,5714	22,3071	3,5207	0,5785	0,0082	0,0041	-0,0063	-0,0114	-0,0092	0,0009	0,0009	0,0082	0,0041	-0,0063	-0,0114	-0,0092	0,0009	-0,0029	-0,0002	0,0215	0,0215										
3002	22,3176	3,5302	0,6127	22,3152	3,5250	0,6188	22,3147	3,5300	0,6343	-0,0024	-0,0051	0,0061	-0,0092	-0,0065	0,0373	0,0373	-0,0024	-0,0051	0,0061	-0,0092	-0,0065	0,0373	-0,0001	0,0003	0,0591	0,0591										
4001	0,0013	-0,0006	0,0771				-0,0079	-0,0071	0,1145																											
4002	0,0007	0,0002	0,1123				0,0006	0,0005	0,1713																											

**2ª campaña**

Pto.	TCA 2003									FARO B-4000									FARO B-2000									Diferencias								
	Coordenadas			FARO B-4000			FARO B-2000			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003											
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ						
1001	5,5495	36,0509	1,8352	5,5484	36,0553	1,8724	5,5425	36,0558	1,8724	-0,0011	0,0044	0,0372	-0,0071	0,0049	0,0372	0,0044	0,0044	0,0372	-0,0071	0,0049	0,0372	0,0044	0,0044	0,0372	-0,0071	0,0049	0,0372									
1002	5,5494	36,0504	1,8702	5,5466	36,0472	1,9074	5,5484	36,0440	1,9105	-0,0028	-0,0032	0,0372	-0,0010	-0,0064	0,0403	0,0055	0,0023	0,0265	0,0023	0,0265	0,0023	0,0265	0,0023	0,0265	0,0023	0,0265	0,0023	0,0265								
2001	29,8964	26,8094	1,7126	29,9019	26,8118	1,7391																														
2002	29,8961	26,8103	1,7474	29,8927	26,8056	1,7805																														
3001	22,3173	3,5297	0,5760	22,3277	3,5291	0,5901	22,3055	3,5218	0,5926	0,0103	-0,0006	0,0141	-0,0119	-0,0080	0,0167	0,0167	0,0103	-0,0006	0,0141	-0,0119	-0,0080	0,0167	-0,0022	0,0002	0,0151	0,0151										
3002	22,3175	3,5300	0,6111	22,3168	3,5259	0,6207	22,3152	3,5301	0,6262	-0,0006	-0,0041	0,0095	-0,0022	-0,0046	0,0615	0,0615	-0,0006	-0,0041	0,0095	-0,0022	-0,0046	0,0615	-0,0056	-0,0046	0,0615	0,0615										
4001	-0,0016	-0,0003	0,0757				-0,0072	-0,0049	0,1371																											
4002	-0,0006	0,0006	0,1108				-0,0005	-0,0005	0,1655																											

**3ª campaña**

Pto.	TCA 2003									FARO B-4000									FARO B-2000									Diferencias								
	Coordenadas			FARO B-4000			FARO B-2000			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003			FARO B-4000 - TCA 2003			FARO B-2000 - TCA 2003											
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ						
1001	5,5497	36,0520	1,8349	5,5449	36,0607	1,8297	5,5453	36,0617	1,8398	-0,0048	0,0087	-0,0052	-0,0043	0,0097	0,0049	0,0049	-0,0048	0,0087	-0,0052	-0,0043	0,0097	0,0049	0,0049	-0,0043	0,0097	0,0049	0,0049									
1002	5,5498	36,0525	1,8699	5,5429	36,0498	1,8656	5,5536	36,0611	1,8708	-0,0069	-0,0027	-0,0043	0,0038	0,0086	0,0009	0,0009	0,0074	0,0018	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001									
2001	29,8951	26,8075	1,7111	29,9025	26,8093	1,7112																														
2002	29,8947	26,8072	1,7462	29,8915	26,8039	1,7557																														
3001	22,3170	3,5300	0,5755	22,3273	3,5290	0,5755	22,2988	3,5265	0,5903	0,0103	-0,0010	0,0000	-0,0182	-0,0035	0,0148	0,0148	0,0103	-0,0010	0,0000	-0,0182	-0,0035	0,0148	-0,0157	0,0062	0,0133	0,0133										
3002	22,3158	3,5298	0,6106	22,3128	3,5368	0,6118	22,3000	3,5360	0,6239	-0,0029	0,0070	0,0012	-0,0073	-0,0014	0,0384	0,0384	-0,0029	0,0070	0,0012	-0,0073	-0,0014	0,0384	0,0031	0,0000	0,0384	0,0384										
4001	-0,0010	0,0003	0,0750				-0,0083	-0,0011	0,1135																											
4002	-0,0021	0,0009	0,1101				0,0010	0,0009	0,1486																											

**Código de Colores**

n ≤ 1 mm.	0,0000
1 < n ≤ 2 mm.	0,0001
2 < n ≤ 3 mm.	0,0002
3 < n ≤ 4 mm.	0,0003
4 < n ≤ 5 mm.	0,0004
5 < n ≤ 10 mm.	0,0005
10 < n ≤ 20 mm.	0,0006
20 < n ≤ 40 mm.	0,0007
n > 40 mm.	0,0008



ANEXO 97. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. PEQ. 1ª CAMP.)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**1ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

Base		TCA 2003				
D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	
4001-1001	36,5159	0,1527	9,7210	0,0482	3,0687	96,9313
4001-2001	40,1889	0,8397	53,4581	0,0407	2,5935	97,4065
4001-3001	22,6003	1,4139	90,0117	0,0221	1,4100	98,5900
1001-2001	26,0404	1,9335	123,0884	-0,0047	-0,2999	100,2999
1001-3001	36,6096	2,6655	169,6893	-0,0344	-2,1897	102,1897
2001-3001	24,5086	-2,8269	220,0311	-0,0464	-2,9527	102,9527

Base		FARO B-4000				
D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	
4001-1001	36,5238	0,1526	9,7172	0,0484	3,0808	96,9192
4001-2001	40,1962	0,8398	53,4623	0,0409	2,6045	97,3955
4001-3001	22,6100	1,4138	90,0063	0,0219	1,3917	98,6083
1001-2001	26,0496	1,9335	123,0930	-0,0047	-0,3002	100,3002
1001-3001	36,6187	2,6653	169,6766	-0,0348	-2,2129	102,2129
2001-3001	24,5077	-2,8270	220,0255	-0,0469	-2,9878	102,9878

Base		FARO B-2000				
D	Az (rad)	Az (cent)	$\alpha$ (rad.)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)	
4001-1001	36,5270	0,1527	9,7192	0,0478	3,0448	96,9552
4001-2001	40,1985	0,8398	53,4623	0,0400	2,5452	97,4548
4001-3001	22,5969	1,4140	90,0183	0,0205	1,3075	98,6925
1001-2001	26,0512	1,9336	123,0954	-0,0054	-0,3413	100,3413
1001-3001	36,6219	2,6657	169,7055	-0,0350	-2,2295	102,2295
2001-3001	24,5202	-2,8266	220,0543	-0,0466	-2,9677	102,9677

**Diferencias**

Base		FARO B 4000 - TCA 2003					
		dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001		0,0079	-0,0038	-0,0022	-0,0122	0,0070	215
4001-2001		0,0073	0,0042	0,0027	-0,0109	0,0069	181
4001-3001		0,0098	-0,0054	-0,0019	0,0183	-0,0065	432
1001-2001		0,0093	0,0046	0,0019	0,0003	-0,0001	356
1001-3001		0,0091	-0,0128	-0,0073	0,0231	-0,0133	248
2001-3001		-0,0009	-0,0055	-0,0021	0,0351	-0,0135	-35

Base		FARO B 2000 - TCA 2003					
		dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001		0,0111	-0,0017	-0,0010	0,0239	-0,0137	303
4001-2001		0,0096	0,0042	0,0027	0,0484	-0,0306	239
4001-3001		-0,0033	0,0066	0,0023	0,1025	-0,0364	-148
1001-2001		0,0108	0,0070	0,0029	0,0414	-0,0169	416
1001-3001		0,0123	0,0161	0,0093	0,0398	-0,0229	336
2001-3001		0,0116	0,0233	0,0090	0,0150	-0,0058	472

Código de Colores  
 n ≤ 1 mm.  
 1 < n ≤ 2 mm.  
 2 < n ≤ 3 mm.  
 3 < n ≤ 4 mm.  
 4 < n ≤ 5 mm.  
 5 < n ≤ 10 mm.  
 10 < n ≤ 20 mm.  
 20 < n ≤ 40 mm.  
 n > 40 mm.





ANEXO 98. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. PEQ. 2ª CAMP.)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**2ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003				
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	V (cent.)
4001-1001	36,5185	0,1528	9,7262	3,0686
4001-2001	40,1912	0,8398	53,4636	2,5936
4001-3001	22,6019	1,4139	90,0139	1,4093
1001-2001	26,0421	1,9336	123,0951	-0,2996
1001-3001	36,6111	2,6655	169,6939	-0,0344
2001-3001	24,5087	-2,8269	220,0371	-0,0464
				102,9536

FARO B-4000				
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	V (cent.)
4001-1001	36,5239	0,1527	9,7205	3,1330
4001-2001	40,1965	0,8398	53,4653	2,6353
4001-3001	22,6107	1,4140	90,0201	1,4485
1001-2001	26,0490	1,9336	123,0941	-0,0051
1001-3001	36,6216	2,6653	169,6802	-0,0350
2001-3001	24,5106	-2,8271	220,0228	-0,0469
				102,2296
				102,9855

FARO B-2000				
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	V (cent.)
4001-1001	36,5265	0,1527	9,7212	3,0256
4001-2001	40,1972	0,8398	53,4647	2,5378
4001-3001	22,5943	1,4140	90,0205	1,2835
1001-2001	26,0509	1,9336	123,1000	-0,0051
1001-3001	36,6211	2,6658	169,7116	-0,0350
2001-3001	24,5205	-2,8265	220,0611	-0,0468
				102,3258
				102,2253
				102,9777

**Diferencias**

FARO B 4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001	0,0055	-0,0058	-0,0033	-0,0645	0,0370	149
4001-2001	0,0054	0,0017	0,0011	-0,0416	0,0263	133
4001-3001	0,0088	0,0062	0,0022	-0,0393	0,0139	389
1001-2001	0,0069	-0,0011	-0,0004	0,0261	-0,0107	266
1001-3001	0,0104	-0,0137	-0,0079	0,0395	-0,0227	285
2001-3001	0,0018	-0,0143	-0,0055	0,0319	-0,0123	75

FARO B 2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4001-1001	0,0080	-0,0051	-0,0029	0,0429	-0,0246	218
4001-2001	0,0061	0,0011	0,0007	0,0558	-0,0352	151
4001-3001	-0,0077	0,0066	0,0023	0,1257	-0,0446	-340
1001-2001	0,0088	0,0049	0,0020	0,0262	-0,0107	339
1001-3001	0,0099	0,0177	0,0102	0,0352	-0,0202	271
2001-3001	0,0117	0,0241	0,0093	0,0241	-0,0093	479

Código de Colores	
Color	Intervalo
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red	20 < n ≤ 40 mm.
Dark Red	n > 40 mm.



ANEXO 99. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. PEQ. 3ª CAMP.)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**      **3ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas pequeñas (R= 38,1 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003				
Base	D	Az (rad)	α (cent.)	V (cent.)
4001-1001	36,5190	0,1528	9,7252	3,0691
4001-2001	40,1880	0,8398	53,4645	0,0407
4001-3001	22,6009	1,4139	90,0141	0,0221
1001-2001	26,0418	1,9337	123,1033	-0,0048
1001-3001	36,6116	2,6656	169,6953	-0,0344
2001-3001	24,5063	-2,8269	220,0366	-0,0464
				-2,9512
				102,9512

FARO B-4000				
Base	D	Az (rad)	α (rad.)	V (cent.)
4001-1001	36,5266	0,1526	9,7129	0,0481
4001-2001	40,1942	0,8399	53,4689	0,0407
4001-3001	22,6100	1,4140	90,0203	0,0221
1001-2001	26,0557	1,9338	123,1084	-0,0045
1001-3001	36,6269	2,6653	169,6797	-0,0343
2001-3001	24,5081	-2,8270	220,0272	-0,0464
				-2,9512
				102,9512

FARO B-2000				
Base	D	Az (rad)	α (rad.)	V (cent.)
4001-1001	36,5288	0,1528	9,7273	0,0473
4001-2001	40,1928	0,8399	53,4710	0,0398
4001-3001	22,5893	1,4140	90,0152	0,0211
1001-2001	26,0496	1,9340	123,1221	-0,0049
1001-3001	36,6167	2,6661	169,7272	-0,0341
2001-3001	24,5143	-2,8262	220,0793	-0,0457
				-2,9120
				102,9120

**Diferencias**

FARO B 4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. z (m)	ppm
4001-1001	0,0077	-0,0124	-0,0071	0,0097	-0,0056	210
4001-2001	0,0062	0,0044	0,0028	0,0002	-0,0001	153
4001-3001	0,0091	0,0062	0,0022	0,0005	-0,0002	401
1001-2001	0,0138	0,0050	0,0021	-0,0131	0,0054	531
1001-3001	0,0153	-0,0156	-0,0090	-0,0100	0,0057	418
2001-3001	0,0018	-0,0093	-0,0036	0,0000	0,0000	73

FARO B 2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. z (m)	ppm
4001-1001	0,0098	0,0021	0,0012	0,0593	-0,0340	268
4001-2001	0,0047	0,0065	0,0041	0,0610	-0,0385	118
4001-3001	-0,0116	0,0011	0,0004	0,0658	-0,0233	-515
1001-2001	0,0078	0,0188	0,0077	0,0116	-0,0047	298
1001-3001	0,0050	0,0319	0,0184	-0,0176	0,0101	138
2001-3001	0,0081	0,0427	0,0165	-0,0392	0,0151	330

Código de Colores	
Color	Intervalo
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red	20 < n ≤ 40 mm.
Dark Red	n > 40 mm.



ANEXO 100. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. GR. 1ª CAMP.)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**1ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	α (cent.)	V (cent.)	
4002-1002	36,5155	0,1527	9,7224	0,0482	3,0684	96,9316
4002-2002	40,1886	0,8397	53,4596	0,0407	2,5930	97,4070
4002-3002	22,5999	1,4139	90,0130	0,0221	1,4100	98,5900
1002-2002	26,0402	1,9335	123,0896	-0,0047	-0,3003	100,3003
1002-3002	36,6091	2,6655	169,6909	-0,0344	-2,1894	102,1894
2002-3002	24,5084	-2,8269	220,0331	-0,0464	-2,9518	102,9518

FARO B-4000						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	α (rad.)	α (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5143	0,1529	9,7311	0,0483	3,0767	96,9233
4002-2002	40,1843	0,8398	53,4623	0,0412	2,6249	97,3751
4002-3002	22,5976	1,4141	90,0260	0,0224	1,4272	98,5728
1002-2002	26,0342	1,9337	123,1017	-0,0041	-0,2631	100,2631
1002-3002	36,6086	2,6657	169,7031	-0,0344	-2,1871	102,1871
2002-3002	24,5090	-2,8270	220,0307	-0,0469	-2,9879	102,9879

FARO B-2000						
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	α (rad.)	α (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5119	0,1528	409,7264	0,0472	3,0078	96,9922
4002-2002	40,1867	0,8398	453,4623	0,0398	2,5311	97,4689
4002-3002	22,5962	1,4139	490,0132	0,0205	1,3044	98,6956
1002-2002	26,0389	1,9335	123,0888	-0,0049	-0,3107	100,3107
1002-3002	36,6054	2,6656	569,6970	-0,0345	-2,1943	102,1943
2002-3002	24,5086	-2,8268	220,0432	-0,0463	-2,9477	102,9477

**Diferencias**

FARO B 4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	-0,0012	0,0086	0,0049	-0,0083	0,0048	-32
4002-2002	-0,0042	0,0027	0,0017	-0,0319	0,0202	-106
4002-3002	-0,0024	0,0130	0,0046	-0,0173	0,0061	-106
1002-2002	-0,0060	0,0121	0,0049	-0,0372	0,0152	-232
1002-3002	-0,0005	0,0122	0,0070	-0,0023	0,0013	-14
2002-3002	0,0007	-0,0024	-0,0009	0,0361	-0,0139	27

FARO B 2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	-0,0036	400,0040	0,0023	0,0606	-0,0347	-97
4002-2002	-0,0019	400,0027	0,0017	0,0619	-0,0391	-46
4002-3002	-0,0037	400,0002	0,0001	0,1055	-0,0375	-164
1002-2002	-0,0013	-0,0009	-0,0004	0,0104	-0,0042	-48
1002-3002	-0,0036	400,0061	0,0035	0,0049	-0,0028	-99
2002-3002	0,0002	0,0101	0,0039	-0,0041	0,0016	10

Código de Colores	
Color	Intervalo
	n ≤ 1 mm.
	1 < n ≤ 2 mm.
	2 < n ≤ 3 mm.
	3 < n ≤ 4 mm.
	4 < n ≤ 5 mm.
	5 < n ≤ 10 mm.
	10 < n ≤ 20 mm.
	20 < n ≤ 40 mm.
	n > 40 mm.



ANEXO 101. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. GR. 2ª CAMP.)

**Sistema Topocéntrico Horizontal 2ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003				
Base	D	Az (rad)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5170	0,1528	9,7248	3,0685
4002-2002	40,1902	0,8398	53,4624	2,5931
4002-3002	22,6010	1,4140	90,0153	1,4095
1002-2002	26,0414	1,9335	123,0921	-0,3002
1002-3002	36,6106	2,6655	169,6930	-0,0344
2002-3002	24,5092	-2,8269	220,0357	-0,0464
2002-3002	24,5092	-2,8269	220,0357	-0,0464

FARO B-4000				
Base	D	Az (rad)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5157	0,1527	9,7195	3,1335
4002-2002	40,1858	0,8398	53,4628	2,6460
4002-3002	22,5994	1,4141	90,0244	1,4365
1002-2002	26,0414	1,9336	123,0959	-0,3100
1002-3002	36,6133	2,6655	169,6903	-0,0351
2002-3002	24,5089	-2,8270	220,0291	-0,0473
2002-3002	24,5089	-2,8270	220,0291	-0,0473

FARO B-2000				
Base	D	Az (rad)	$\alpha$ (cent.)	V (cent.)
4002-1002	36,5108	0,1527	409,7242	3,0437
4002-2002	40,1898	0,8398	453,4628	2,5589
4002-3002	22,5980	1,4139	490,0107	1,2979
1002-2002	26,0411	1,9333	123,0782	-0,0050
1002-3002	36,6050	2,6655	569,6896	-0,0351
2002-3002	24,5099	-2,8267	220,0438	-0,0471
2002-3002	24,5099	-2,8267	220,0438	-0,0471

**Diferencias**

FARO B 4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. z (m)	ppm
4002-1002	-0,0013	-0,0053	-0,0030	-0,0650	0,0373	-35
4002-2002	-0,0044	0,0004	0,0003	-0,0528	0,0334	-109
4002-3002	-0,0016	0,0091	0,0032	-0,0270	0,0096	-69
1002-2002	-0,0001	0,0038	0,0016	0,0098	-0,0040	-3
1002-3002	0,0027	-0,0028	-0,0016	0,0479	-0,0275	74
2002-3002	-0,0003	-0,0066	-0,0025	0,0614	-0,0236	-13

FARO B 2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. z (m)	ppm
4002-1002	-0,0061	399,9995	-0,0003	0,0247	-0,0142	-168
4002-2002	-0,0004	400,0004	0,0003	0,0342	-0,0216	-10
4002-3002	-0,0030	399,9955	-0,0016	0,1116	-0,0396	-131
1002-2002	-0,0003	-0,0140	-0,0057	0,0175	-0,0071	-13
1002-3002	-0,0055	399,9966	-0,0020	0,0442	-0,0254	-152
2002-3002	0,0007	0,0080	0,0031	0,0469	-0,0180	27

Código de Colores	
Color	Intervalo
White	$n \leq 1$ mm.
Light Green	$1 < n \leq 2$ mm.
Light Blue	$2 < n \leq 3$ mm.
Light Yellow	$3 < n \leq 4$ mm.
Yellow	$4 < n \leq 5$ mm.
Orange	$5 < n \leq 10$ mm.
Dark Orange	$10 < n \leq 20$ mm.
Red	$20 < n \leq 40$ mm.
Dark Red	$n > 40$ mm.



ANEXO 102. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA BASES RED DE APOYO (ESF. GR. 3ª CAMP.)

**Sistema Topocéntrico Horizontal**  
**3ª Campaña**  
**Bases red de apoyo esferas grandes (R= 72,5 mm)**  
**Distancias geométricas, acimutes y ángulos verticales**

TCA 2003				
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	V (cent.)
4002-1002	36,5191	0,1528	9,7274	3,0690
4002-2002	40,1880	0,8398	53,4663	2,5924
4002-3002	22,6007	1,4140	90,0163	1,4099
1002-2002	26,0416	1,9337	123,1055	-0,3025
1002-3002	36,6116	2,6656	169,6980	-0,0344
2002-3002	24,5065	-2,8268	220,0387	-0,0464

FARO B-4000				
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	V (cent.)
4002-1002	36,5157	0,1526	9,7123	3,0617
4002-2002	40,1828	0,8398	53,4636	2,6079
4002-3002	22,5970	1,4136	89,9923	1,4136
1002-2002	26,0453	1,9337	123,1038	-0,0042
1002-3002	36,6047	2,6654	169,6841	-0,0343
2002-3002	24,4970	-2,8267	220,0463	-0,0467

FARO B-2000				
Base	D	Az (rad)	Az (cent)	V (cent.)
4002-1002	36,5259	0,1528	409,7263	3,0028
4002-2002	40,1849	0,8398	453,4636	2,5468
4002-3002	22,5825	1,4136	489,9909	1,3400
1002-2002	26,0416	1,9341	123,1280	-0,0044
1002-3002	36,6044	2,6661	569,7301	-0,0341
2002-3002	24,5055	-2,8261	220,0839	-0,0462

**Diferencias**

FARO B 4000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	-0,0034	-0,0150	-0,0086	0,0073	-0,0042	-93
4002-2002	-0,0052	-0,0026	-0,0017	-0,0155	0,0098	-130
4002-3002	-0,0037	-0,0240	-0,0085	-0,0037	0,0013	-164
1002-2002	0,0036	-0,0017	-0,0007	-0,0340	0,0139	139
1002-3002	-0,0070	-0,0139	-0,0080	-0,0093	0,0053	-190
2002-3002	-0,0095	0,0076	0,0029	0,0228	-0,0088	-389

FARO B 2000 - TCA 2003						
Base	dif. D (m)	dif. Az (g)	dif. tr. (m)	dif. V (g)	dif. Z (m)	ppm
4002-1002	0,0068	399,9990	-0,0006	0,0662	-0,0380	185
4002-2002	-0,0031	399,9974	-0,0017	0,0456	-0,0288	-77
4002-3002	-0,0182	399,9746	-0,0090	0,0699	-0,0248	-804
1002-2002	0,0000	0,0225	0,0092	-0,0213	0,0087	-1
1002-3002	-0,0072	400,0321	0,0185	-0,0212	0,0122	-197
2002-3002	-0,0010	0,0452	0,0174	-0,0095	0,0037	-41

Código de Colores	
Color	Intervalo
White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Light Blue	2 < n ≤ 3 mm.
Light Yellow	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Red-Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red	20 < n ≤ 40 mm.
Dark Red	n > 40 mm.



ANEXO 103. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED DE APOYO (B-4000)

Sistema Topocéntrico Local												
Vectores error Faro Photon 80 Estación B-4000												
1ª campaña												
Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)												
Pto.	Vector Error			E. long.			E. transv.			ppm		E. ang. cent.
	Dg	Or. (cent)	$\epsilon\alpha$ (cent)	(dy)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.		
1001	0,0114	373,4314	41,5660	0,0082	-0,0037	0,0069	0,0078	-31,0246	226	214	0,0136	
1002	0,0066	123,7542	47,2770	-0,0018	0,0045	0,0045	0,0064	50,4571	-49	175	0,0111	
2001	0,0098	13,2282	49,9298	0,0068	0,0014	0,0069	0,0070	12,9793	168	175	0,0112	
2002	0,0208	184,8623	79,0922	-0,0065	0,0016	0,0197	0,0198	5,0989	-162	492	0,0313	
3001	0,0111	380,6962	-39,8654	0,0086	-0,0027	-0,0065	0,0070	-175,0759	380	311	0,0198	
3002	0,0083	138,1785	50,3868	-0,0033	0,0048	0,0059	0,0076	43,5536	-146	338	0,0215	
2ª campaña												
Pto.	Vector Error			E. long.			E. transv.			ppm		E. ang. cent.
	Dg	Or. (cent)	$\epsilon\alpha$ (cent)	(dy)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.		
1001	0,0375	374,8949	89,1388	0,0059	-0,0024	0,0369	0,0370	-4,2078	161	1014	0,0645	
1002	0,0374	236,0838	89,4125	-0,0052	-0,0033	0,0369	0,0371	-5,7224	-143	1015	0,0646	
2001	0,0272	21,0794	83,1345	0,0067	0,0023	0,0262	0,0263	5,6004	167	655	0,0417	
2002	0,0337	187,3582	86,2017	-0,0071	0,0014	0,0329	0,0329	2,7637	-177	819	0,0521	
3001	0,0175	13,5487	58,1116	0,0105	0,0023	0,0139	0,0140	10,3017	463	622	0,0396	
3002	0,0104	119,5350	72,3460	-0,0013	0,0042	0,0094	0,0103	26,5093	-58	456	0,0290	
3ª campaña												
Pto.	Vector Error			E. long.			E. transv.			ppm		E. ang. cent.
	Dg	Or. (cent)	$\epsilon\alpha$ (cent)	(dy)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.		
1001	0,0112	357,9989	-33,9240	0,0076	-0,0059	-0,0057	0,0082	-148,7756	208	224	0,0143	
1002	0,0086	266,5031	-36,9646	-0,0036	-0,0062	-0,0047	0,0078	-141,3198	-99	213	0,0136	
2001	0,0076	31,4158	-1,7908	0,0067	0,0036	-0,0002	0,0036	103,7770	167	90	0,0057	
2002	0,0106	194,8916	68,4579	-0,0050	0,0004	0,0094	0,0094	2,7560	-125	233	0,0148	
3001	0,0103	16,2871	-1,5151	0,0100	0,0026	-0,0002	0,0026	105,9706	442	116	0,0074	
3002	0,0077	284,7578	8,5748	-0,0018	-0,0074	0,0010	0,0075	-91,1766	-80	330	0,0210	

Código de Colores

	n ≤ 1 mm.
	1 < n ≤ 2 mm.
	2 < n ≤ 3 mm.
	3 < n ≤ 4 mm.
	4 < n ≤ 5 mm.
	5 < n ≤ 10 mm.
	10 < n ≤ 20 mm.
	20 < n ≤ 40 mm.
	n > 40 mm.



ANEXO 104. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED DE APOYO (B-2000)

Sistema Topocéntrico Local 1ª campaña												
Vectores error Faro Photon 80 Estación B-2000 Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)												
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)			E. transv.			ppm		Código de Colores
	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	E.I.	E.t.	
1001	0,0261	12,3019	74,7032	0,0099	0,0019	0,0241	5,1198	381	927	0,0590	0,0590	n ≤ 1 mm.
1002	0,0244	226,7345	92,3670	-0,0027	-0,0012	0,0242	-3,1246	-102	930	0,0592	0,0592	1 < n ≤ 2 mm.
3001	0,0147	36,5574	6,6061	0,0123	0,0079	0,0081	87,9410	500	329	0,0210	0,0210	2 < n ≤ 3 mm.
3002	0,0217	75,6467	94,0972	0,0008	0,0019	0,0217	5,4783	31	887	0,0565	0,0565	4 < n ≤ 5 mm.
4001	0,0390	7,3636	83,9432	0,0097	0,0011	0,0378	1,8929	240	940	0,0598	0,0598	5 < n ≤ 10 mm.
4002	0,0591	132,5354	102,2000	0,0010	-0,0018	0,0590	-1,9191	25	1470	0,0936	0,0936	10 < n ≤ 20 mm.
												20 < n ≤ 40 mm.

2ª campaña												
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)			E. transv.			ppm		Código de Colores
	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	E.I.	E.t.	
1001	0,0382	15,4302	85,0395	0,0086	0,0021	0,0372	3,6543	332	1429	0,0910	0,0910	n ≤ 1 mm.
1002	0,0408	-113,1457	89,1780	-0,0014	-0,0068	0,0402	-10,5964	-54	1566	0,0997	0,0997	1 < n ≤ 2 mm.
3001	0,0220	42,3260	57,7576	0,0106	0,0083	0,0173	28,6102	435	784	0,0499	0,0499	2 < n ≤ 3 mm.
3002	0,0153	85,1765	93,4483	0,0004	0,0015	0,0152	6,3761	15	622	0,0396	0,0396	4 < n ≤ 5 mm.
4001	0,0619	2,7252	95,1683	0,0047	0,0002	0,0617	0,2072	117	1536	0,0978	0,0978	5 < n ≤ 10 mm.
4002	0,0548	-60,6387	101,3016	-0,0006	0,0009	0,0548	1,0607	-16	1363	0,0868	0,0868	10 < n ≤ 20 mm.

3ª campaña												
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)			E. transv.			ppm		Código de Colores
	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.I.	E.t.	E.I.	E.t.	
1001	0,0117	50,0508	26,9653	0,0075	0,0075	0,0048	63,8872	289	344	0,0219	0,0219	n ≤ 1 mm.
1002	0,0094	103,4425	5,2012	-0,0005	0,0094	0,0008	94,7912	-19	361	0,0230	0,0230	1 < n ≤ 2 mm.
3001	0,0237	67,8677	45,8045	0,0086	0,0156	0,0156	49,9683	352	902	0,0574	0,0574	2 < n ≤ 3 mm.
3002	0,0215	103,7129	45,1668	-0,0010	0,0163	0,0140	54,7796	-39	876	0,0558	0,0558	4 < n ≤ 5 mm.
4001	0,0391	34,4906	90,5111	0,0050	0,0030	0,0387	4,9198	124	966	0,0615	0,0615	5 < n ≤ 10 mm.
4002	0,0386	246,0645	97,4757	-0,0011	-0,0010	0,0386	-1,6717	-29	960	0,0611	0,0611	10 < n ≤ 20 mm.



ANEXO 105. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA COORDENADAS RED DE CONTROL 1º CAMP.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas FARO respecto coordenadas TCA-2003 1ª campaña**

Pto.	Coordenadas												Diferencias						Código de Colores
	TCA 2003				FARO B-4000				FARO B-2000				FARO B 4000 - TCA 2003			FARO B 2000 - TCA 2003			
	X	Y	Z		X	Y	Z		X	Y	Z		dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	
100 V	7,7954	60,4578	4,4532	7,8031	60,4561	4,4670		7,7999	60,4551	4,4802		0,0078	-0,0017	0,0138	0,0046	-0,0027	0,0270	n ≤ 1 mm.	
101 N	7,9878	60,3688	4,8136	8,0008	60,3642	4,8240		7,9851	60,3639	4,8484		0,0131	-0,0046	0,0105	-0,0027	-0,0049	0,0348	1 < n ≤ 2 mm.	
102 P	8,2441	60,1928	4,4460	8,2547	60,2068	4,4622		8,2347	60,2027	4,4724		0,0106	0,0140	0,0163	-0,0094	0,0098	0,0264	2 < n ≤ 3 mm.	
200 V	36,1930	47,5552	3,9076	36,1982	47,5472	3,9352		36,1897	47,5548	3,9123		0,0052	-0,0080	0,0276	-0,0033	-0,0003	0,0047	3 < n ≤ 4 mm.	
201 N	36,5417	47,3980	3,7286	36,5522	47,3884	3,7513		36,5383	47,3976	3,7328		0,0105	-0,0097	0,0227	-0,0034	-0,0005	0,0042	4 < n ≤ 5 mm.	
202 G	36,5488	47,3058	4,0759	36,5573	47,3006	4,0949		36,5514	47,3009	4,0814		0,0085	-0,0052	0,0190	0,0026	-0,0049	0,0055	5 < n ≤ 10 mm.	
300 V	50,5079	41,0576	4,4498	50,5276	41,0422	4,4965		50,5129	41,0502	4,4427		0,0197	-0,0154	0,0467	0,0050	-0,0074	-0,0072	10 < n ≤ 20 mm.	
301 N	50,1625	41,2147	4,4490	50,1609	41,2083	4,4767		50,1649	41,2083	4,4438		-0,0015	-0,0064	0,0277	0,0024	-0,0063	-0,0052	20 < n ≤ 40 mm.	
302 P	50,4342	41,0297	4,0829	50,4737	41,0986	4,0979		50,4464	41,0302	4,0775		0,0395	0,0639	0,0150	0,0122	0,0005	-0,0054	n > 40 mm.	
400 V	44,1382	21,9492	3,6613	44,1362	21,9461	3,6792		44,1331	21,9485	3,6580		-0,0020	-0,0031	0,0179	-0,0051	-0,0007	-0,0033		
401 N	44,0735	21,4373	3,4227	44,0716	21,4290	3,4483		44,0683	21,4369	3,4186		-0,0019	-0,0082	0,0256	-0,0052	-0,0004	-0,0040		
402 G	44,0392	21,8307	3,2339	44,0405	21,8192	3,2618		44,0353	21,8322	3,2290		0,0013	-0,0115	0,0280	-0,0039	0,0015	-0,0049		
500 V	42,3961	8,3745	2,6378	42,3940	8,3690	2,6638		42,3924	8,3763	2,6464		-0,0021	-0,0055	0,0260	-0,0038	0,0018	0,0085		
501 N	42,3238	7,8192	2,6363	42,3209	7,8153	2,6589		42,3216	7,8218	2,6471		-0,0030	-0,0039	0,0226	-0,0023	0,0025	0,0108		
502 P	42,2943	8,0197	2,9894	42,3014	8,0228	3,0161		42,2987	8,0112	2,9997		0,0070	0,0031	0,0267	0,0044	-0,0085	0,0103		
600 V	41,3003	-0,1276	2,7014	41,2953	-0,1303	2,7268		41,2981	-0,1244	2,7210		-0,0050	-0,0027	0,0255	-0,0022	0,0033	0,0197		
601 N	41,3469	0,2440	2,4625	41,3420	0,2412	2,4897		41,3448	0,2482	2,4809		-0,0048	-0,0028	0,0272	-0,0021	0,0041	0,0183		
602 G	41,2163	-0,1230	2,3315	41,2135	-0,1254	2,3586		41,2165	-0,1228	2,3520		-0,0029	-0,0024	0,0271	0,0001	0,0002	0,0205		





ANEXO 106. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA COORDENADAS RED DE CONTROL 2ª CAMP.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas FARO respecto coordenadas TCA-2003 2ª campaña**

Pto.	Coordenadas									Diferencias									Código de Colores
	TCA 2003			FARO B-4000			FARO B-2000			FARO B 4000 - TCA 2003			FARO B 2000 - TCA 2003			dz			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dz	dx	dy	dz				
100 V	7,7952	60,4606	4,4529	7,7888	60,4599	4,4918	7,7899	60,4593	4,4846	-0,0063	-0,0007	0,0390	-0,0053	-0,0013	0,0317	1 < n ≤ 2 mm.			
101 N	7,9876	60,3714	4,8133	7,9829	60,3665	4,8450	7,9964	60,3644	4,8447	-0,0047	-0,0049	0,0317	0,0088	-0,0069	0,0314	2 < n ≤ 3 mm.			
102 p	8,2438	60,1955	4,4449	8,2424	60,2090	4,4793	8,2370	60,2030	4,4788	-0,0013	0,0135	0,0344	-0,0068	0,0075	0,0339	3 < n ≤ 4 mm.			
200 V	36,1941	47,5562	3,9070	36,1995	47,5454	3,9499	36,1942	47,5539	3,9173	0,0054	-0,0108	0,0429	0,0001	-0,0023	0,0103	4 < n ≤ 5 mm.			
201 N	36,5429	47,3995	3,7282	36,5387	47,3931	3,7726	36,5425	47,3967	3,7388	-0,0042	-0,0064	0,0444	-0,0004	-0,0028	0,0106	5 < n ≤ 10 mm.			
202 G	36,5497	47,3068	4,0757	36,5534	47,2956	4,1319	36,5477	47,3019	4,0937	0,0037	-0,0112	0,0562	-0,0019	-0,0049	0,0180	10 < n ≤ 20 mm.			
300 V	50,5094	41,0586	4,4486	50,5093	41,0516	4,5114	50,5138	41,0498	4,4421	-0,0001	-0,0070	0,0628	0,0045	-0,0088	-0,0065	20 < n ≤ 40 mm.			
301 N	50,1644	41,2158	4,4487	50,1642	41,2094	4,4895	50,1693	41,2075	4,4429	-0,0002	-0,0064	0,0408	0,0049	-0,0083	-0,0058	n > 40 mm.			
302 p	50,4357	41,0309	4,0826	50,4429	41,0379	4,1280	50,4497	41,0297	4,0756	0,0072	0,0070	0,0454	0,0139	-0,0012	-0,0070				
400 V	44,1390	21,9499	3,6610	44,1379	21,9438	3,6754	44,1336	21,9463	3,6488	-0,0011	-0,0061	0,0145	-0,0054	-0,0036	-0,0122				
401 N	44,0744	21,4378	3,4223	44,0712	21,4299	3,4429	44,0692	21,4342	3,4101	-0,0032	-0,0079	0,0206	-0,0052	-0,0036	-0,0122				
402 G	44,0401	21,8315	3,2337	44,0456	21,8301	3,2662	44,0338	21,8248	3,2212	0,0055	-0,0015	0,0326	-0,0062	-0,0067	-0,0124				
500 V	42,3970	8,3749	2,6375	42,3961	8,3695	2,6428	42,3896	8,3754	2,6397	-0,0008	-0,0054	0,0053	-0,0073	0,0005	0,0021				
501 N	42,3247	7,8195	2,6357	42,3236	7,8181	2,6435	42,3189	7,8177	2,6396	-0,0011	-0,0014	0,0077	-0,0058	-0,0017	0,0038				
502 p	42,2951	8,0192	2,9883	42,3051	8,0196	2,9925	42,2934	8,0078	2,9929	0,0100	0,0005	0,0041	-0,0018	-0,0114	0,0045				
600 V	41,3011	-0,1279	2,7010	41,2970	-0,1308	2,7217	41,2923	-0,1313	2,7076	-0,0041	-0,0029	0,0207	-0,0089	-0,0034	0,0066				
601 N	41,3478	0,2440	2,4622	41,3425	0,2403	2,4890	41,3396	0,2464	2,4708	-0,0054	-0,0037	0,0268	-0,0083	0,0024	0,0086				
602 G	41,2175	-0,1232	2,3309	41,2141	-0,1306	2,3568	41,2076	-0,1290	2,3401	-0,0034	-0,0074	0,0259	-0,0099	-0,0058	0,0092				



ANEXO 107. CLÁSICA/FARO. COMPARATIVA COORDENADAS RED DE CONTROL 3ª CAMP.

**Sistema Topocéntrico Horizontal Sistema 4000**  
**Comparativa coordenadas FARO respecto coordenadas TCA-2003 3ª campaña**

Pto.	Coordenadas									Diferencias						Código de Colores
	TCA 2003			FARO B-4000			FARO B-2000			FARO B 4000 - TCA 2003		FARO B 2000 - TCA 2003		dz		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	dx	dy	dx	dy		dz	
100 V	7,7948	60,4594	4,4522	7,7909	60,4552	4,4539	7,8073	60,4619	4,4661	-0,0039	-0,0042	0,0017	0,0125	0,0025	0,0139	n ≤ 1 mm.
101 N	7,9873	60,3704	4,8125	7,9806	60,3698	4,8148	8,0193	60,3651	4,8313	-0,0067	-0,0006	0,0022	0,0320	-0,0053	0,0188	1 < n ≤ 2 mm.
102 p	8,2432	60,1947	4,4442	8,2329	60,2057	4,4473	8,2483	60,2104	4,4560	-0,0103	0,0110	0,0030	0,0051	0,0157	0,0117	2 < n ≤ 3 mm.
200 V	36,1936	47,5546	3,9066	36,1877	47,5509	3,9103	36,2004	47,5502	3,9179	-0,0059	-0,0037	0,0037	0,0068	-0,0044	0,0113	3 < n ≤ 4 mm.
201 N	36,5426	47,3979	3,7277	36,5421	47,3927	3,7313	36,5496	47,3927	3,7420	-0,0005	-0,0052	0,0035	0,0070	-0,0052	0,0143	4 < n ≤ 5 mm.
202 G	36,5492	47,3055	4,0749	36,5456	47,2984	4,0795	36,5547	47,3023	4,0847	-0,0036	-0,0071	0,0046	0,0054	-0,0032	0,0098	5 < n ≤ 10 mm.
300 V	50,5101	41,0568	4,4484	50,5076	41,0475	4,4480	50,5134	41,0473	4,4416	-0,0025	-0,0093	-0,0003	0,0034	-0,0096	-0,0067	10 < n ≤ 20 mm.
301 N	50,1646	41,2138	4,4483	50,1662	41,2078	4,4586	50,1698	41,2045	4,4422	0,0016	-0,0061	0,0103	0,0053	-0,0093	-0,0061	20 < n ≤ 40 mm.
302 p	50,4357	41,0290	4,0824	50,4490	41,0329	4,0894	50,4489	41,0263	4,0776	0,0132	0,0039	0,0069	0,0131	-0,0026	-0,0049	n > 40 mm.
400 V	44,1374	21,9497	3,6604	44,1375	21,9561	3,6598	44,1288	21,9428	3,6610	0,0001	0,0065	-0,0006	-0,0086	-0,0069	0,0006	
401 N	44,0729	21,4375	3,4216	44,0714	21,4376	3,4235	44,0648	21,4309	3,4213	-0,0015	0,0000	0,0019	-0,0081	-0,0066	-0,0004	
402 G	44,0388	21,8313	3,2327	44,0381	21,8266	3,2399	44,0314	21,8230	3,2323	-0,0007	-0,0047	0,0072	-0,0074	-0,0084	-0,0004	
500 V	42,3949	8,3736	2,6372	42,3935	8,3696	2,6378	42,3787	8,3684	2,6432	-0,0014	-0,0040	0,0006	-0,0161	-0,0052	0,0060	
501 N	42,3226	7,8181	2,6354	42,3207	7,8115	2,6367	42,3071	7,8119	2,6414	-0,0019	-0,0066	0,0013	-0,0155	-0,0062	0,0060	
502 p	42,2936	8,0176	2,9878	42,3025	8,0169	2,9902	42,2865	8,0041	2,9972	0,0090	-0,0008	0,0024	-0,0071	-0,0135	0,0094	
600 V	41,2992	-0,1298	2,7006	41,2935	-0,1350	2,7000	41,2777	-0,1340	2,7101	-0,0057	-0,0052	-0,0006	-0,0215	-0,0042	0,0095	
601 N	41,3458	0,2423	2,4617	41,3411	0,2384	2,4664	41,3257	0,2403	2,4783	-0,0047	-0,0039	0,0047	-0,0202	-0,0020	0,0166	
602 G	41,2152	-0,1249	2,3303	41,2117	-0,1312	2,3342	41,1934	-0,1323	2,3497	-0,0035	-0,0063	0,0040	-0,0219	-0,0074	0,0194	



ANEXO 108. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED 1ª CAMPAÑA B-4000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 1ª campaña				Vectores error Faro Photon 80 Estación B-4000 Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)									Código de Colores
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			ppm		E. ang. cent.			
	Dg	Or. (cent)	ea (cent)		dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.		E.t.		
100 V	0,0160	105,6026	62,1717	-0,0008	0,0089	0,0132	0,0159	37,7139	-13	261	0,0166	n ≤ 1 mm.	
101 N	0,0173	113,1388	36,1798	-0,0030	0,0143	0,0093	0,0171	63,1980	-49	280	0,0178	1 < n ≤ 2 mm.	
102 p	0,0240	32,7068	42,8950	0,0163	0,0092	0,0149	0,0176	35,1253	268	288	0,0183	2 < n ≤ 3 mm.	
200 V	0,0292	121,5272	74,6726	-0,0038	0,0107	0,0269	0,0289	24,0289	-63	483	0,0308	3 < n ≤ 4 mm.	
201 N	0,0268	105,6024	60,3199	-0,0014	0,0156	0,0218	0,0268	39,5632	-23	447	0,0284	4 < n ≤ 5 mm.	
202 G	0,0214	92,9478	64,9339	0,0012	0,0111	0,0182	0,0214	34,8918	21	357	0,0227	5 < n ≤ 10 mm.	
300 V	0,0530	85,7766	64,3362	0,0062	0,0275	0,0449	0,0526	34,9465	96	807	0,0513	10 < n ≤ 20 mm.	
301 N	0,0285	158,7624	80,8329	-0,0067	0,0051	0,0272	0,0277	11,7914	-103	425	0,0271	20 < n ≤ 40 mm.	
302 p	0,0808	376,6502	7,9084	0,0749	-0,0288	0,0100	0,0305	-78,6687	1150	468	0,0298	n > 40 mm.	
400 V	0,0183	166,2513	82,4264	-0,0043	0,0025	0,0176	0,0178	9,0571	-87	360	0,0229		
401 N	0,0269	143,3600	75,2055	-0,0064	0,0079	0,0249	0,0262	19,6505	-131	532	0,0339		
402 G	0,0303	122,0162	70,9174	-0,0045	0,0126	0,0272	0,0299	27,5734	-92	608	0,0387		
500 V	0,0267	135,9265	81,8883	-0,0040	0,0063	0,0256	0,0264	15,4212	-92	609	0,0388		
501 N	0,0232	152,9199	82,4777	-0,0047	0,0042	0,0223	0,0227	11,9733	-108	526	0,0335		
502 p	0,0278	385,2705	77,7121	0,0093	-0,0022	0,0261	0,0262	-5,3181	215	607	0,0387		
600 V	0,0261	168,1996	81,8543	-0,0064	0,0035	0,0250	0,0253	8,8771	-156	611	0,0389		
601 N	0,0278	166,8780	83,2738	-0,0063	0,0036	0,0268	0,0271	8,4615	-151	654	0,0416		
602 G	0,0273	154,9073	87,5850	-0,0040	0,0034	0,0268	0,0270	8,1360	-97	655	0,0417		

ANEXO 109. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED 1ª CAMPAÑA B-2000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 1ª campaña				Vectores error Faro Photon 80 Estación B-2000 Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)									Código de Colores
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			ppm		E. ang. cent.			
	Dg	Or. (cent)	ea (cent)		dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.		E.t.		
100 V	0,0275	171,2189	82,9942	-0,0065	0,0032	0,0266	0,0268	7,5749	-162	663	0,0422	n ≤ 1 mm.	
101 N	0,0353	268,8913	84,6044	-0,0040	-0,0075	0,0343	0,0351	-13,6520	-99	872	0,0555	1 < n ≤ 2 mm.	
102 p	0,0297	388,2689	65,1320	0,0152	-0,0028	0,0254	0,0255	-7,0856	381	640	0,0407	2 < n ≤ 3 mm.	
200 V	0,0058	274,5472	54,9958	-0,0015	-0,0035	0,0044	0,0056	-42,4407	-67	257	0,0163	3 < n ≤ 4 mm.	
201 N	0,0054	271,2382	50,2786	-0,0017	-0,0034	0,0038	0,0051	-46,3638	-76	236	0,0151	4 < n ≤ 5 mm.	
202 G	0,0078	148,9755	43,1344	-0,0043	0,0044	0,0049	0,0066	46,3995	-196	304	0,0194	5 < n ≤ 10 mm.	
300 V	0,0114	100,4942	-49,5908	-0,0001	0,0081	-0,0080	0,0114	149,5918	-3	453	0,0288	10 < n ≤ 20 mm.	
301 N	0,0085	115,9218	-48,1702	-0,0015	0,0060	-0,0059	0,0084	149,1754	-61	336	0,0214	20 < n ≤ 40 mm.	
302 p	0,0133	35,8690	-32,1369	0,0099	0,0062	-0,0065	0,0090	151,0820	393	357	0,0228	n > 40 mm.	
400 V	0,0061	170,4215	-43,2975	-0,0043	0,0021	-0,0039	0,0044	167,7942	-280	290	0,0185		
401 N	0,0066	172,1705	-48,2586	-0,0043	0,0020	-0,0045	0,0050	173,2302	-284	325	0,0207		
402 G	0,0064	201,6710	-60,5022	-0,0037	-0,0001	-0,0052	0,0052	-198,8063	-248	348	0,0221		
500 V	0,0095	165,7996	68,5308	-0,0039	0,0023	0,0083	0,0087	17,1323	-173	388	0,0247		
501 N	0,0113	190,2104	77,9631	-0,0038	0,0006	0,0107	0,0107	3,5134	-167	470	0,0299		
502 p	0,0141	6,7729	48,9802	0,0101	0,0011	0,0098	0,0099	6,9525	446	437	0,0278		
600 V	0,0200	187,9939	85,1921	-0,0045	0,0009	0,0195	0,0195	2,8254	-155	667	0,0425		
601 N	0,0189	196,6135	82,5475	-0,0051	0,0003	0,0182	0,0182	0,9519	-177	629	0,0401		
602 G	0,0205	256,2419	97,7399	-0,0005	-0,0006	0,0204	0,0204	-1,7472	-16	700	0,0445		



ANEXOS

ANEXO 110. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED 2ª CAMPAÑA B-4000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 2ª campaña				Vectores error		Faro Photon 80			Estación B-4000			Código de Colores
Vector Error				E. long.		E. transv.			ppm		E. ang.	
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	(dy)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.	E.t.	cent.	
100 V	0,0395	284,7135	85,0681	-0,0022	-0,0089	0,0384	0,0394	-14,5184	-36	645	0,0411	n ≤ 1 mm.
101 N	0,0324	240,0478	81,6112	-0,0075	-0,0054	0,0310	0,0315	-11,0198	-122	516	0,0328	1 < n ≤ 2 mm.
102 p	0,0370	385,0993	71,4330	0,0156	-0,0037	0,0333	0,0335	-7,0798	256	550	0,0350	2 < n ≤ 3 mm.
200 V	0,0446	129,1885	78,4062	-0,0066	0,0133	0,0420	0,0441	19,5077	-110	736	0,0469	3 < n ≤ 4 mm.
201 N	0,0450	195,3354	85,2281	-0,0103	0,0008	0,0438	0,0438	1,1011	-172	731	0,0465	4 < n ≤ 5 mm.
202 G	0,0574	137,7033	82,4443	-0,0087	0,0130	0,0553	0,0568	14,6807	-146	947	0,0603	5 < n ≤ 10 mm.
300 V	0,0632	144,2218	88,6002	-0,0072	0,0086	0,0622	0,0628	8,7967	-110	962	0,0613	10 < n ≤ 20 mm.
301 N	0,0413	145,6370	85,7784	-0,0060	0,0069	0,0403	0,0409	10,7984	-92	628	0,0400	20 < n ≤ 40 mm.
302 p	0,0465	394,3441	82,1583	0,0128	-0,0011	0,0447	0,0447	-1,6255	197	686	0,0437	n > 40 mm.
400 V	0,0157	140,9165	69,4046	-0,0044	0,0058	0,0140	0,0151	25,1695	-88	306	0,0195	n ≤ 1 mm.
401 N	0,0223	153,2605	70,5493	-0,0074	0,0067	0,0200	0,0210	20,5285	-150	428	0,0273	1 < n ≤ 2 mm.
402 G	0,0331	45,7187	84,7963	0,0059	0,0051	0,0321	0,0325	10,1126	120	661	0,0420	2 < n ≤ 3 mm.
500 V	0,0076	122,2536	44,9372	-0,0020	0,0055	0,0049	0,0074	53,0937	-46	170	0,0108	3 < n ≤ 4 mm.
501 N	0,0079	155,4332	81,7157	-0,0017	0,0014	0,0076	0,0078	11,9716	-40	180	0,0114	4 < n ≤ 5 mm.
502 p	0,0108	8,9674	20,6318	0,0101	0,0014	0,0034	0,0037	25,2017	235	86	0,0055	5 < n ≤ 10 mm.
600 V	0,0213	160,5385	80,5883	-0,0052	0,0037	0,0203	0,0207	11,5125	-126	499	0,0318	10 < n ≤ 20 mm.
601 N	0,0276	162,1483	80,9820	-0,0067	0,0045	0,0263	0,0267	10,8747	-162	645	0,0411	20 < n ≤ 40 mm.
602 G	0,0272	126,7991	77,0035	-0,0039	0,0088	0,0254	0,0269	21,1392	-95	651	0,0415	n > 40 mm.

ANEXO 111. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED 2ª CAMPAÑA B-2000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 2ª campaña				Vectores error		Faro Photon 80			Estación B-2000			Código de Colores
Vector Error				E. long.		E. transv.			ppm		E. ang.	
Pto.	Dg	Or. (cent)	εα (cent)	(dy)	dx	dz	Et	Dir. (Cent.)	E.l.	E.t.	cent.	
100 V	0,0322	-78,5088	84,6117	0,0026	-0,0073	0,0312	0,0321	-14,5505	63	795	0,0506	n ≤ 1 mm.
101 N	0,0334	-220,6882	72,9371	-0,0130	0,0044	0,0304	0,0307	9,1384	-324	764	0,0486	1 < n ≤ 2 mm.
102 p	0,0354	-10,1749	76,9607	0,0124	-0,0020	0,0331	0,0331	-3,8309	310	831	0,0529	2 < n ≤ 3 mm.
200 V	0,0105	178,6250	79,7982	-0,0031	0,0011	0,0100	0,0101	6,8623	-142	462	0,0294	3 < n ≤ 4 mm.
201 N	0,0109	188,6255	77,7811	-0,0037	0,0007	0,0103	0,0103	4,1116	-169	473	0,0301	4 < n ≤ 5 mm.
202 G	0,0188	203,8352	75,1547	-0,0071	-0,0004	0,0173	0,0174	-1,5764	-328	800	0,0509	5 < n ≤ 10 mm.
300 V	0,0118	108,7715	-43,2763	-0,0013	0,0091	-0,0074	0,0118	143,5730	-50	467	0,0297	10 < n ≤ 20 mm.
301 N	0,0113	105,7057	-41,0973	-0,0008	0,0090	-0,0068	0,0112	141,2204	-32	449	0,0286	20 < n ≤ 40 mm.
302 p	0,0156	44,1793	-35,2327	0,0102	0,0085	-0,0082	0,0118	148,8989	408	471	0,0300	n > 40 mm.
400 V	0,0138	141,4292	-75,8243	-0,0031	0,0041	-0,0128	0,0134	180,4253	-204	885	0,0564	n > 40 mm.
401 N	0,0137	138,1586	-75,7116	-0,0029	0,0042	-0,0127	0,0134	179,6366	-189	878	0,0559	n > 40 mm.
402 G	0,0154	126,2663	-65,3082	-0,0032	0,0073	-0,0132	0,0151	167,7298	-213	1001	0,0637	n > 40 mm.
500 V	0,0077	142,0711	15,4422	-0,0046	0,0059	0,0018	0,0062	80,6643	-205	276	0,0176	n > 40 mm.
501 N	0,0072	118,6144	33,4896	-0,0018	0,0059	0,0036	0,0069	65,2988	-79	306	0,0194	n > 40 mm.
502 p	0,0124	47,0060	20,3842	0,0087	0,0079	0,0039	0,0088	70,8579	386	392	0,0249	n > 40 mm.
600 V	0,0115	102,2930	36,2742	-0,0004	0,0097	0,0062	0,0115	63,7071	-12	394	0,0251	n > 40 mm.
601 N	0,0122	143,7610	48,3057	-0,0056	0,0068	0,0084	0,0108	43,5401	-194	374	0,0238	n > 40 mm.
602 G	0,0147	91,4327	41,4268	0,0016	0,0116	0,0089	0,0146	58,2942	54	500	0,0318	n > 40 mm.



ANEXO 112. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED 3ª CAMPAÑA B-4000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 3ª campaña				Vectores error Faro Photon 80 Estación B-4000 Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)							
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			Dir. (Cent.)	ppm		E. ang. cent.
	Dg	Or. (cent)	ea (cent)		dx	dz	Et		E.l.	E.t.	
100 V	0,0060	239,9864	13,5552	-0,0047	-0,0034	0,0013	0,0037	-77,5553	-77	60	0,0038
101 N	0,0071	286,3324	15,3530	-0,0015	-0,0067	0,0017	0,0069	-84,3006	-24	113	0,0072
102 p	0,0154	343,4310	7,9608	0,0096	-0,0118	0,0019	0,0120	-89,7786	158	197	0,0125
200 V	0,0079	222,7385	26,7643	-0,0067	-0,0025	0,0032	0,0041	-42,2524	-113	68	0,0043
201 N	0,0063	163,7914	33,8362	-0,0046	0,0029	0,0032	0,0044	47,2134	-77	73	0,0046
202 G	0,0092	188,2389	29,2733	-0,0081	0,0015	0,0041	0,0044	22,6124	-136	73	0,0046
300 V	0,0096	160,1343	-6,3943	-0,0078	0,0056	-0,0010	0,0057	110,8412	-119	87	0,0056
301 N	0,0120	127,3030	60,7299	-0,0029	0,0063	0,0098	0,0117	36,4663	-44	179	0,0114
302 p	0,0154	25,2009	25,6691	0,0131	0,0055	0,0061	0,0082	46,7902	201	125	0,0080
400 V	0,0065	330,2316	-10,2574	0,0029	-0,0057	-0,0010	0,0058	-111,5075	59	117	0,0074
401 N	0,0024	230,5284	53,1522	-0,0014	-0,0007	0,0018	0,0019	-25,1947	-29	39	0,0025
402 G	0,0086	138,4386	58,4818	-0,0030	0,0043	0,0068	0,0081	35,7265	-60	164	0,0104
500 V	0,0043	133,6988	5,5544	-0,0022	0,0037	0,0004	0,0037	93,5705	-50	86	0,0055
501 N	0,0070	129,7206	7,9133	-0,0031	0,0062	0,0009	0,0062	91,1499	-72	145	0,0092
502 p	0,0093	17,2352	12,0977	0,0088	0,0024	0,0018	0,0030	60,3050	205	70	0,0045
600 V	0,0077	152,6754	-8,9024	-0,0056	0,0052	-0,0011	0,0053	113,0544	-136	128	0,0081
601 N	0,0077	156,4325	37,6549	-0,0050	0,0041	0,0043	0,0059	48,0706	-120	143	0,0091
602 G	0,0082	132,2082	28,2995	-0,0036	0,0065	0,0035	0,0074	68,2555	-87	179	0,0114

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red-Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.

ANEXO 113. CLÁSICA/FARO. COMPONENTES VECTORES ERROR RED 3ª CAMPAÑA B-2000  
RED DE CONTROL.

Sistema Topocéntrico Local 3ª campaña				Vectores error Faro Photon 80 Estación B-2000 Componentes longitudinal y transversal (dirección respecto eje Z)							
Pto.	Vector Error			E. long. (dy)	E. transv.			Dir. (Cent.)	ppm		E. ang. cent.
	Dg	Or. (cent)	ea (cent)		dx	dz	Et		E.l.	E.t.	
100 V	0,0188	124,3359	47,9241	-0,0051	0,0128	0,0129	0,0181	49,6928	-127	449	0,0286
101 N	0,0374	147,2713	28,2108	-0,0229	0,0249	0,0161	0,0296	63,5673	-569	737	0,0469
102 p	0,0202	56,6820	34,6812	0,0109	0,0135	0,0105	0,0171	57,8468	273	428	0,0272
200 V	0,0139	117,6885	54,0189	-0,0025	0,0088	0,0104	0,0137	44,7495	-116	628	0,0400
201 N	0,0168	120,5489	59,3097	-0,0032	0,0095	0,0135	0,0165	39,0872	-146	757	0,0482
202 G	0,0117	114,2954	56,8747	-0,0016	0,0071	0,0091	0,0116	42,3370	-75	534	0,0340
300 V	0,0122	116,8706	-43,7240	-0,0025	0,0091	-0,0077	0,0119	144,8368	-98	473	0,0301
301 N	0,0123	106,5380	-39,3053	-0,0010	0,0100	-0,0071	0,0122	139,4642	-41	489	0,0312
302 p	0,0143	51,1582	-27,7419	0,0090	0,0093	-0,0060	0,0111	136,5510	357	441	0,0281
400 V	0,0110	135,9497	-3,4906	-0,0059	0,0093	-0,0006	0,0093	104,1305	-387	612	0,0390
401 N	0,0104	133,4318	-8,5308	-0,0052	0,0090	-0,0014	0,0091	109,8397	-340	594	0,0378
402 G	0,0112	124,6142	-8,1936	-0,0042	0,0103	-0,0014	0,0104	108,8386	-278	690	0,0439
500 V	0,0180	118,1163	18,9650	-0,0048	0,0165	0,0053	0,0173	80,2892	-216	777	0,0494
501 N	0,0177	112,7716	19,2772	-0,0034	0,0166	0,0053	0,0174	80,3526	-148	765	0,0487
502 p	0,0179	67,9078	31,5922	0,0076	0,0138	0,0085	0,0162	64,7433	338	720	0,0458
600 V	0,0238	113,2805	23,7830	-0,0046	0,0217	0,0087	0,0234	75,7390	-157	799	0,0509
601 N	0,0262	119,7129	42,0606	-0,0063	0,0197	0,0161	0,0254	56,4278	-218	879	0,0560
602 G	0,0302	104,5608	43,0351	-0,0017	0,0235	0,0189	0,0301	56,8851	-58	1031	0,0656

Código de Colores

White	n ≤ 1 mm.
Light Green	1 < n ≤ 2 mm.
Green	2 < n ≤ 3 mm.
Light Blue	3 < n ≤ 4 mm.
Yellow	4 < n ≤ 5 mm.
Orange	5 < n ≤ 10 mm.
Dark Orange	10 < n ≤ 20 mm.
Red-Orange	20 < n ≤ 40 mm.
Red	n > 40 mm.



ANEXOS

---

**ANEXO 114. FORMATO DIGITAL: DATOS Y CÁLCULOS COMPLETOS.**