Departamento de Estructuras de Edificación
Escuela Técnica Superior de Arquitectura

BÓVEDAS Y CONTRARRESTO DEL COLEGIO DE NUESTRA SEÑORA DE LA ANTIGUA DE MONFORTE DE LEMOS. GEOMETRÍA, CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA

por
ROSA ANA GUERRA PESTONIT
Arquitecta

dirigida por
SANTIAGO HUERTA FERNÁNDEZ
Doctor Arquitecto

2012

Tribunal nombrado por el Magfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día de de 20 .

Presidente:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Secretario:

Suplente:

Suplente:

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día de 20 , en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Calificación:…….

El PRESIDENTE LOS VOCALES

EL SECRETARIO

Á memoria de Manuel Guerra,
pai cariñoso e
mestre da miña primeira ciencia,

e

a Alba e a Andrés

Ahora bien, los profesionales están habitualmente tan familiarizados con las reparaciones o la restauración de estas viejas estructuras, que si tuvieran la oportunidad de hacer las observaciones necesarias sobre un edificio [...], y si estas observaciones fueran transmitidas [...], bastarían unos pocos años para reunir un conjunto de ejemplos de los que podrían deducirse unas reglas generales. Esto sólo puede hacerse comparando muchos ejemplos, ya que las reglas generales deducidas de casos aislados son normalmente de escaso valor.

—Robert Willis, *Geometría y construcción de las bóvedas medievales*

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS XIV

LISTA DE TABLAS XXXII

PREFACIO XXXV

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 Motivación 1
1.2 Objetivo 3
1.3 Estructura de la tesis 4
1.4 Límites del estudio 6
1.5 Convenios utilizados 7

2 HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL COLEGIO 11

2.1 Descripción del edificio 11
2.2 El mecenazgo del cardenal don Rodrigo de Castro 15
2.3 Trazas, contratos y adjudicación de las obras 16
2.4 Arquitectos y maestros mayores 18
2.4.1 Andrés Ruiz 19
2.4.2 Vermondo Resta 21
2.4.3 Juan de Tolosa 22
2.4.4 Simón de Monasterio 24
2.5 Otros artífices 26
2.6 Incidencias de la construcción 28
2.7 Proyecto de Pérez de los Cobos en 1915 37

3 CONSIDERACIONES GENERALES 43

3.1 Estudio geométrico 43
3.1.1 Levantamiento 43
3.1.1.a El levantamiento y la conservación del patrimonio 44
3.1.1.b Conceptos considerados en el levantamiento 47
3.1.1.c Técnicas de medición 49
3.1.1.d Técnicas de medición directas 50
3.1.1.e Técnicas de medición indirectas 54
3.1.1.f Valoración de las técnicas para el levantamiento de bóvedas 59

3.1.1.g El levantamiento de las bóvedas del Colegio 62
3.1.2 Estudio metrológico 68
3.1.2.a El sistema de medidas en el siglo XVI 68
3.1.2.b La determinación del sistema de medidas utilizado en el Colegio 72
3.2 Estudio constructivo 78
3.2.1 El contexto técnico de la arquitectura española a finales del siglo XVI 78
3.2.2 Los tratados 80
3.2.2.a Tratados de los siglos XV, XVI y XVII 82
3.2.2.b Tratados del siglo XVIII 83
3.2.3 Los documentos de obra 84
3.3 Estudio mecánico 87
3.3.1 Marco teórico 87
3.3.1.a La Teoría Moderna de Estructuras de Fábrica 89
3.3.1.b Bóvedas 91
3.3.1.c La estimación del grado de seguridad 92
3.3.1.d Contrarresto 93
3.3.1.e Movimientos 95

4 CÚPULA 99

4.1 Geometría 102
4.1.1 Levantamiento 103
4.1.1.a La cúpula en los levantamientos anteriores 104
4.1.1.b El proceso del levantamiento 107
4.1.1.c Dimensiones principales 119
4.1.1.d Descripción de las partes de la cúpula 121
4.1.2 Proporciones 129
4.1.2.a Reglas geométricas históricas para cúpulas simples 130
4.1.2.b Relaciones geométricas en la cúpula del Colegio 134
4.1.2.c Comparación con otras cúpulas 138
4.1.2.d Una interpretación 143
4.2 Construcción 144
4.2.1 Las cúpulas en los tratados de construcción 144
4.2.1.a La cúpula esférica 144
4.2.1.b Las pechinas 148
4.2.2 Especificaciones contenidas en las *Condiciones para la construcción* 153
4.2.3 Despieces 158
4.2.3.a Pináculo 158
4.2.3.b Cupulino de la linterna 160
4.2.3.c Linterna 162
4.2.3.d Despiece de la media naranja 164
4.2.3.e Pechinas 169

4.3 Mecánica 173
4.3.1 Estabilidad del pináculo 173
4.3.2 Estabilidad del cupulino 183
4.3.2.a Primera hipótesis de cálculo: luna de 15° 185
4.3.2.b Segunda hipótesis de cálculo: luna de 60° 188
4.3.2.c Contribución de la cadena 190
4.3.2.d Contribución de la balaustrada 193
4.3.3 Estabilidad de la linterna 193
4.3.4 Media naranja y tambor 198

5 BÓVEDAS DE CAÑÓN CON LUNETOS 211

5.1 Lunetos 214
5.1.1 Los lunetos apuntados en los tratados 218
5.1.1.a La cimbra de Fray Lorenzo 223
5.1.2 Modelos geométricos para lunetos apuntados 230
5.1.2.a La proporción favorita 230
5.1.2.b Cilindroide y convoluta 233
5.1.2.c Efecto de los peraltes 236
5.2 Geometría de las bóvedas con lunetos del Colegio 238
5.2.1 Nave 238
5.2.1.a Levantamiento 240
5.2.1.b Análisis de la planta 243
5.2.1.c Análisis de la sección transversal 248
5.2.1.d Análisis de la sección longitudinal 259
5.2.2 Presbiterio 261
5.2.2.a Levantamiento 261
5.2.3 Sacristía 266
5.2.3.a Levantamiento 268
5.3 Construcción 275
5.3.1 Especificaciones contenidas en los documentos históricos 275
5.3.2 Características de las bóvedas construidas 278
5.3.2.a Despieces 278
5.3.2.b Consideraciones de los tratados sobre bóvedas con nervios 283
5.4 Mecánica 284
5.4.1 Modelo teórico para el análisis de las bóvedas con lunetos del Colegio 285
5.4.2 Estabilidad de la bóveda tipo de la nave 287
5.4.2.a Estabilidad de los arcos perpiaños 293
5.4.2.b Contrarresto de la bóveda 295
5.4.3 Movimientos 297
5.4.3.a Deformación de arcos 297
5.4.3.b Mecanismo de deformación en el arco central de la sacristía 300
5.4.3.c Movimientos en los arcos de la nave 303

6 BÓVEDAS DE ARISTA 305

6.1 Geometría 307
6.1.1 Levantamiento 307
6.1.1.a Documentación gráfica previa 308
6.1.1.b Datos registrados 311
6.1.1.c Dibujos 313
6.1.2 Dimensiones y proporciones 319
6.2 Construcción 321
6.2.1 Descripciones en los documentos históricos 321
6.2.2 Las monteas 323
6.2.2.a La montea del zaguán 323
6.2.2.b La nueva montea 326
6.2.3 Las bóvedas de arista en los tratados 328
6.2.3.a En los tratados de arquitectura italianos 328
6.2.3.b En los tratados de cantería 331

7 ESCALERA PRINCIPAL 345

7.1 Introducción 345
7.1.1 Contexto histórico y tipológico 345
7.1.2 La escalera del Colegio 350
7.1.3 Documentación previa 352
7.1.3.a Documentos históricos 352
7.1.3.b Otros documentos 353
7.2 Geometría 353
7.2.1 Descripción 353
7.2.2 Documentación gráfica previa 355
7.2.2.a Levantamiento general del edificio de 1984 355
7.2.2.b Informe técnico de 1993 355
7.2.2.c Proyecto de restauración de la escalera de 1997 355
7.2.2.d Proyecto de acondicionamiento de la escalera de 2000 357
7.2.3 Levantamiento 357
7.2.3.a Dibujos 359
7.3 Construcción 367
7.3.1 La escalera en la documentación histórica del Colegio 367
7.3.1.a Especificaciones de las *Condiciones para la construcción* 367
7.3.1.b Otros contratos 369
7.3.1.c La tasación de Juan de Tolosa 370
7.3.2 La construcción de las escaleras en los tratados 370
7.3.3 La configuración constructiva descubierta en las obras de refuerzo 377
7.3.4 Despiece 380
7.4 Mecánica 382
7.4.1 Referencias 382

7.4.1.a Informe sobre los estudios preliminares a la restauración del Colegio del Cardenal de Monforte de Lemos (Euroconsult-CEBTP 1993) 384
7.4.1.b Estudio estructural y refuerzo de la escalera principal (Tecnocontrolli 1997) 385
7.4.1.c Informe sobre la restauración de la escalera prioral de San Isidoro de León (Huerta y López Manzanares 2001) 388
7.4.2 Análisis mecánico de la escalera del Colegio 388
7.4.2.a Modelización de la estructura 389
7.4.2.b Empujes y tensiones 390

8 OTRAS BÓVEDAS 409

8.1 Coro 410
8.1.1 Levantamiento 411
8.2 Torres 416
8.2.1 Levantamiento de la torre I 417
8.3 Bodega 426
8.3.1 Levantamiento 426
8.4 Sótano del presbiterio 431
8.4.1 Levantamiento 431

9 SÍNTESIS Y CONCLUSIONES 433

9.1 Síntesis 433
9.2 Conclusiones 446
9.3 Futuras líneas de trabajo 449

APÉNDICE A: Transcripción de los documentos de contratación 453

A.1 Condiciones para la construcción del Colegio de Monforte de Lemos 453
A.2. Tasación de lo obrado y cláusulas para la prosecución del Colegio de Monforte de Lemos 472
A.3. Relación de términos técnicos contenidos en el documento de *Condiciones* 483

APÉNDICE B: Estabilidad de elementos expuestos al viento 491

BIBLIOGRAFÍA 505

RESUMEN 581

ABSTRACT 583

FIGURAS

1.1. Criterio de orientación en el edificio....7

2.1. Situación del Colegio respecto al núcleo de Monforte. 11

2.2. Fachada principal desde el Campo de la Compañía 12

2.3. Planta e alzado del Colegio. Levantamiento de Meijide, 1984. E: 1/700. 13

2.4. Retrato del cardenal don Rodrigo de Castro 15

2.5. Original del documento de *Condiciones*. 18

2.6. Colegiata de Villagarcía de Campos e iglesia de los Jesuitas de Segovia 19

2.7. Vermondo Resta: portada del jardín de las Damas en los Reales Alcázares de Sevilla 21

2.8. Juan de Tolosa: planta del hospital de Simón Ruiz 23

2.9. Juan de Tolosa: nave del monasterio de Montederramo 24

2.10. Simón de Monasterio: trascoro de la catedral de Lugo 25

2.11. Maqueta del Colegio del Cardenal que muestra el estado en 1906. 28

2.12. Fotografía del Colegio del archivo Loty ca. 1930 29

2.13. Restos de la bóveda de la antesacristía....39

3.1. El «Bauforscher» 44

3.2. Iniciativa RecorDIM. 47

3.3. Exactitud y precisión 48

3.4. Técnicas directas e indirectas de medición 49

3.5. Ejemplos de técnicas directas....51

3.6. Plancheta y alidada. 52

3.7. Teodolito utilizado hasta los años 1940 y estación total. 53

3.8. Nube de puntos de la cabecera de la catedral de Santiago de Compostela obtenida con un escáner de láser....54

3.9. Relaciones geométricas entre dos fotografías....56

3.10. Comparación de resultados de un escáner de láser y un escáner fotográfico....57

3.11. Ortofoto con textura de la bóveda de la entrada norte de la catedral de Lugo realizada con el programa Photofly 58

3.12. Panteón: Comparación entre los levantamientos realizados con escáner de láser y el dibujo de Desgodetz de 1682. 59

3.13. Willis: dibujo de la bóveda del acceso de Queens' College y explicación de su técnica para medir curvaturas. 60

3.14. Panteón: Comparación de la sección dibujada por Desgodetz (1682) y la obtenida del levantamiento con escáner de láser. 61

3.15. Tratamiento de las nubes de puntos: nubes de puntos de una bóveda de la nave en los pasos 2 y 3. 64

3.16. Tratamiento de las nubes de puntos: paso 4, unión de archivos. 65

3.17. Tratamiento de las nubes de puntos: paso 5, proyecciones ortogonales de los datos 66

3.18. Tratamiento de las nubes de puntos: paso 6, dibujos superpuestos sobre los datos. 66

3.19. Bóveda del presbiterio: comparación entre el escáner fotográfico y los datos de la estación. 67

3.20. Bóveda del presbiterio: ortofoto lateral y comparación de las secciones del escáner fotográfico y la estación 68

3.21. Expresión de las cotas en un dibujo de Juan de Herrera 71

3.22. Pitipié de Herrera en la Quinta Estampa grabada por Perret 71

3.23. Dimensiones del pilar toral P-D 73

3.24. Medidas de los diámetros interiores del tambor 74

3.25. Vandelvira (ca. 1591): bóveda de crucería y bóveda vaída por cruceros 79

3.26. Empujes máximos y mínimos del arco de medio punto sometidos a su peso propio según Heyman 91

3.27. Método de los cortes: agrietamiento típico de una cúpula, aplicación de Poleni a cúpula de San Pedro y cálculo de una bóveda de crucería por Wolfe 92

3.28. Coeficiente geométrico de seguridad según Heyman 93

3.29. Definición del coeficiente de seguridad geométrico para estribos según Huerta 94

3.30. Colapso de una bóveda causada por la inclinación de los estribos 95

3.31. Deformación característica de un arco de medio punto en Viollet-le-Duc 96

4.1. Cúpulas del monasterio de El Escorial y del Colegio del Cardenal. 101

4.2. Interior de la cúpula 102

4.3. Comparación de las secciones de la cúpula en levantamientos anteriores. 105

4.4. Sección transversal de la cúpula en informe técnico de 1993. 106
4.5. Comparación entre las secciones de la cúpula de los levantamientos anteriores y el realizado en este trabajo. 106
4.6. Ubicación de la estación en las torres. 108
4.7. Planta de la nube de puntos de medición de la cúpula. E: 1/100. 110
4.8. Base de la cornisa interior de la cúpula. E: 1/125. 112
4.9. Ventana 1 del tambor. 112
4.10. Perspectivas de los puntos de medición de la cúpula. 113
4.11. Generación de perfiles de la cúpula a partir de la nube de puntos. E: 1/150 y 1/60. 114
4.12. Proceso de dibujo de la linterna. 116
4.13. Relación entre la planta, alzado y sección de la cúpula. E: 1/200. 117
4.14. Cúpula: sección transversal I-D. E: 1/100 118
4.15. Parámetros principales de la cúpula. E: 1/200 120
4. 16. Forma y dimensiones del pináculo. E: 1/40 121
4.17. Forma y dimensiones del cupulino. E: 1/80 123
4.18. Linterna, cupulino y pináculo desde las torre I. 124
4.19. Forma y dimensiones de la linterna. E: 1/80 125
4.20. Media naranja desde la plataforma superior de la torre D 126
4.21. Interior y exterior del tambor. 127
4.22. Forma y dimensiones de la media naranja y el tambor. E: 1/125 128
4.23. Comparación del perfil de cúpulas de distinto tamaño 129
4.24. Proporciones para cúpulas de Serlio 131
4.25. Proporciones para cúpulas de Palladio. 132
4.26. Regla de Fontana para cúpulas simples 133
4.27. Reglas geométricas que se encuentran en la cúpula. E: 1/200 136
4.28. Dibujo de las curvaturas sobre imagen de Fontana con perfiles distintas cúpulas, y en sobre el perfil de la del Colegio. E: 1/250 137
4.29. Proporciones de bóvedas romanas de hormigón en Rasch 138
4.30. Proporciones en la cúpula de la torre de las campanas de la catedral de Lugo 139
4.31. Proporciones en la cúpula del monasterio de El Escorial 140
4.32. Proporciones en la cúpula del crucero de la catedral de Segovia. 141
4.33. Proporciones en la cúpula de la iglesia de San Sebastián en Cobos 142
4.34. Procedimiento de obtención de plantillas de cara por el método del desarrollo 144

4.35. Trazas para el corte de la «capilla redonda en vuelta redonda» en el tratado de Vandelvira 145
4.36. Cortes para la media naranja en los tratados de Fray Lorenzo de San Nicolás, Jousse, Derand y Portor y Castro 146
4.37. Monteas de cúpulas esféricas en la catedral de Sevilla y Santa Columba de Carnota 147
4.38. Cúpula esférica en el tratado de Gelabert 147
4.39. Pechinas en el tratado de Alonso de Guardia 148
4.40. Pechinas en los tratados de Derand y Torija. 149
4.41. Pechinas en Fray Lorenzo de San Nicolás 150
4.42. Pechinas en el tratado de Portor y Castro 151
4.43. Pechinas en el tratado de J. F. Blondel 152
4.44. Comparación entre la interpretación del cimborrio descrito en las *Condiciones* y el que se construyó. E: 1/200 157
4.45. Despiece del pináculo. E: 1/50. 159
4.46. Detalle de grapas en las hiladas inferiores del pináculo 159
4.47. Pináculos huecos en el Escorial y la catedral de Segovia 160
4.48. Ejemplos de despieces de cúpulas con lechos horizontales. 161
4.49. Detalles del interior y exterior del cupulino. 161
4.50. Hipótesis de despiece de las hiladas del cupulino 162
4.51. Juntas visibles en el cupulino 162
4.52. Ejemplos de solución del apoyo de la linterna en un plano horizontal por debajo del bocelón 163
4.53. Ejemplos de soluciones de apoyo de la linterna en plano por encima del bocelón. 163
4.54. Medición de las juntas de la media naranja ocultas por musgos y morteros 164
4.55. Despiece exterior del sector 5. E: 1/100 165
4.56. Posibles líneas de convergencia de los lechos. E: 1/60 166
4.57. Hiladas de la cúpula. E: 1/50 167
4.58. Ejemplos de lechos horizontales en las hiladas bajas. 168
4.59. Despieces interior y exterior del sector 5. E: 1/100 169
4.60. Planta del sector 5 indicando la correspondencia de las juntas interiores y exteriores para las hiladas 9, 10 y 11. E: 1/60. 169
4.61. Pechinas de la cabecera: perspectiva de los puntos del levantamiento sobre la malla del escáner fotográfico. 170
4.62. Proyección ortogonal de la pechina C-I. E: 1/100 170
4.63. Pechinas: hiladas en el plano diagonal. E: 1/150 y 1/30 171

4.64. Características geométricas de la pirámide del pináculo. E: 1/50 174
4.65. Núcleos centrales de inercia en secciones cuadradas hueca y maciza 175
4.66. Pináculo: secciones estudiadas y numeración de las hiladas. E: 1/50. 178
4.67. Pináculo: hipótesis consideradas para el cálculo de la sección S4 179
4.68. Pináculo: hipótesis consideradas para el cálculo de la sección S3 179
4.69. Pináculo: hipótesis consideradas en el cálculo de la sección S2 180
4.70. Pináculo: hipótesis consideradas en el cálculo de la sección S1 181
4.71. Modelo tridimensional del cupulino e hipótesis de cálculo 184
4.72. Cupulino: línea de empujes considerando una luna de 15°. E: 1/40 187
4.73. Cupulino: línea de empujes considerando una luna de 60°. E: 1/40 189
4.74. Modelo tridimensional de la linterna. 194
4.75. Línea de empujes en la linterna sin cadena en el cupulino. E: 1/50 196
4.76. Línea de empujes en la linterna con cadena en el cupulino. E: 1/50 197
4.77. Media naranja: Hipótesis comprobadas. 200
4.78. Línea de empujes en la media naranja. Hipótesis A1. E: 1/100 204
4.79. Línea de empujes en la media naranja. Hipótesis A2. E: 1/100 205
4.80. Línea de empujes en la media naranja. Hipótesis A3. E: 1/100 206
4.81. Línea de empujes en la media naranja. Hipótesis B1. E: 1/100. 207
4.82. Línea de empujes en la media naranja. Hipótesis B2. E: 1/100 208
4.83. Línea de empujes en la media naranja. Hipótesis B3. E: 1/100. 209
5.1. Situación de las bóvedas de la nave, presbiterio y sacristía. Sobre planta a E: 1/800. 213
5.2. Lunetos cilíndricos rectos en Ruiz Aizpiri y Sánchez Gallego 215
5.3. Variantes teóricas de lunetos en bóvedas según Sánchez Gallego 216
5.4. Comparación entre luneto apuntado y luneto cilíndrico 216
5.5. Lunetos en el tratado de Torija 219
5.6. Lunetos en los tratados de Portor y Castro, Tosca, García Berruguilla y Plo y Camín. 221
5.7. Lunetas en el tratado de Fray Lorenzo de San Nicolás 223
5.8. Interpretación de la cimbra de Fray Lorenzo. 225
5.9. Comparación entre la cimbra de Fray Lorenzo y la sección teórica.. 225
5.10. Cimbras y bóveda resultante de aplicar la construcción propuesta por Fray Lorenzo. 226
5.11. Diferencias en las ilustraciones de lunetos en las ediciones de 1639 y 1796 del tratado de Fray Lorenzo. 227

5.12. Comprobación de la hipótesis que atribuye el error de Fray Lorenzo a una confusión tipográfica 228
5. 13. Interpretación de la arista en bóvedas tabicadas según Fray Lorenzo 229
5.14. Interpretación de la planta y las dimensiones de las lunetas sobre el grabado de Fray Lorenzo. 231
5.15. Depresión en el entorno del vértice del luneto según Ungewitter 232
5.16. Luneto definido como cilindroide. 234
5.17. Convoluta en Leighton Wellman. 234
5.18. Luneto como cono bitangente 235
5.19. Problemas de las aristas a 45° en lunetos peraltados. 236
5.20. Definición de la arista en lunetos peraltado. 237
5.21. Bóvedas de la nave 239
5.22. Planta del conjunto de puntos de medición de la nave. E: 1/150 241
5.23. Perspectivas de los puntos de medición de la nave. 242
5.24. Irregularidades de la planta de la nave. E: 1/400 244
5.25. Dimensiones de un tramo de la nave. E: 1/150 246
5.26. Generación de rectángulos en proporción $\sqrt{3}$ 246
5.27. Proporciones con $\sqrt{3}$ en la Colegiata de Villagarcía de Campos y en una iglesia del tratado de Simón García 247
5.28. Nave: desplomes en las pilastras y variación de la cota de la cornisa. E: 1/400. 251
5.29. Fotografía del tramo 3 de la bóveda. 253
5.30. Nave: sección transversal por el arco A3. E: 1/125. 256
5.31. Nave: sección transversal por la bóveda 3. E: 1/125 257
5.32. Geometría idealizada de la bóveda 3. E: 1/100 258
5.33. Nave: comparación de las secciones de las bóvedas 1 y 3. E: 1/80. 259
5.34. Sección longitudinal de la nave. E: 1/150 260
5.35. Bóveda del presbiterio 261
5.36. Planta de los puntos de medición del presbiterio y ortofoto. E: 1/100. 262
5.37. Perspectiva de los puntos de medición del presbiterio. 263
5.38. Deformación de la planta de la bóveda del presbiterio 263
5.39. Geometría idealizada de la bóveda del presbiterio. E: 1/100. 265
5.40. Fotografía de la sacristía 267
5.41. Posición de la sacristía en la planta y en el alzado posterior 268
5.42. Planta de los puntos de medición de la sacristía. E: 1/150 269

5.43. Proyección lateral de los puntos de medición de la sacristía. E: 1/150 270

5.44. Planta y sección longitudinal de sacristía y antesacristía. E: 1/150 271

5.45. Detalle de la sección longitudinal con deformaciones. E: 1/83,33 y 1/33,33 272

5.46. Sección transversal por el centro de la sacristía. E: 1/150 273

5.47. Sección por el arco central (arco 2) mostrando sus irregularidades. E: 1/100 274

5.48. Análisis de la curvatura de las secciones extremas de los arcos de los testeros. E: 1/100 275

5.49. Fotografías de las bóvedas de la colegiata de Villagarcía de Campos y de la iglesia de los Jesuitas de Segovia 276

5.50. Fotografía del trasdós de las bóvedas de la nave 277

5.51. Despieces de nervios y plementos en las zonas centrales de las bóvedas de la nave y presbiterio 278

5.52. Fotografía del trasdós de la bóveda del presbiterio 279

5.53. Bóvedas de cañón con nervios: dibujo deViollet-le-Duc e interpretación de una bóveda de artesones renacentista. 280

5.54. Bóveda del presbiterio: desarrollo del cañón principal. E: 1/125 280

5.55. Ejemplos de retículas en bóvedas renacentistas: San Martín Pinario en Santiago de Compostela y Casas Consistoriales de Sevilla 281

5.56. Despiece de las bóvedas de la sacristía 281

5.57. Despieces de los lunetos en la nave y presbiterio 282

5.58. Vandelvira: «capilla por cruzeros» 283

5.59. Estudio mecánico de lunetos en Krausz 284

5.60. Distintas posibilidades de comportamiento de los lunetos y bóvedas de crucería en Holzer 285

5.61. Aplicación del método de los cortes a bóvedas de arista y crucería. en Wittmann, Planat, Körner y Wolfe. 286

5.62. Determinación del empuje en la bóveda 3 por el método de los cortes. E: 1/100 289

5.63. Determinación del empuje en el plano de la arista. E: 1/100. 290

5 64. Equilibrio global de la bóveda 3. E: 1/60. 291

5.65. Tabla de Ungewitter/Mohrmann adaptada por Heyman 292

5.66. Determinación de los empujes mínimos en los arcos de la nave. E: 1/60 294

5.67. Sistema de contrarresto de la nave. E: 1/200. 295

5.68. Línea de empuje en el estribo de la bóveda de la nave. E: 1/100 296

5.69. Deformación de un arco semicircular según Heyman 297

5.70. Deformación de un arco semicircular según Viollet-le-Duc 298

5.71. Relación entre movimientos horizontales y descensos verticales de la clave en el arco de medio punto..... 299

5.72. Geometrías teórica y deformada del arco central de la sacristía. E: 1/125..... 301

5.73. Mecanismo de deformación del arco central de la sacristía y comprobación de la hipótesis de geometría teórica. E: 1/75 302

5.74. Curvaturas deformadas en los arcos de la nave. 304

6.1. Situación de las bóvedas de arista en el plano general. E: 1/800..... 305

6.2. Vista de las pandas P y D del claustro. 306

6.3. Planta del claustro en el archivo digital de la Dirección Xeral de Patrimonio Cultural..... 308

6.4. Axonometrías en el levantamiento de Meijide de 1984. 309

6.5. Alzado del claustro en el levantamiento de Meijide de 1984..... 310

6.6. Levantamiento de Freire (1994)..... 310

6.7. Planta de la nube de puntos de medición del claustro. E: 1/400..... 311

6.8. Perspectiva de los puntos de medición del rincón P-D. 312

6.9. Modelo 3D de la bóveda 1. 312

6.10. Fiabilidad de los resultados del escáner fotográfico. Comparación de la sección longitudinal por las bóvedas 1 y 2..... 313

6.11. Claustro: Planta general. E: 1/250..... 314

6.12. Planta general mostrando las irregularidades. E: 1/250..... 315

6.13. Planta de las bóvedas del rincón P-D. E: 1/75 316

6.14. Planta cenital reflejada de las bóvedas del rincón P-D. E: 1/75..... 317

6.15. Sección de las bóvedas 1 y 2 en la dirección I-D. E: 1/75..... 318

6.16. Sección de la bóveda 24 en la dirección I-D. E: 1/75 319

6.17. Irregularidades en la bóveda 10, en la panda I 320

6.18. Fragmento de la montea del zaguán, bajo la escalera principal 323

6.19. Ubicación de la montea en el recinto de la escalera. E: 1/100..... 324

6.20 Levantamientos de la montea del zaguán de Freire y Taín..... 325

6.21. Fotografía de la pared de la nueva montea descubierta 326

6.22. Levantamiento de la nueva montea descubierta. Proyección de puntos de medición y dibujos sobre la fotografía rectificada. E: 1/20..... 327

6.23. Ejemplos de bóvedas de arista en Serlio: templo de la Paz y cisterna de las termas de Diocleciano 330

6.24. Bóvedas de arista en los tratados de Palladio y Scamozzi 331

6.25. Hernán Ruiz: II: «bóveda de arista perlongada» 332

6.26. Bóvedas de arista en Vandelvira e interpretación de Palacios 333

6. 27. Bóveda de arista en Fray Lorenzo de San Nicolás 334

6.28. Comparación entre los ángulos de la arista por el método de Fray Lorenzo y por abatimiento del plano perpendicular a la arista 335

6.29. Bóveda de arista en Jousse e interpretación de Pérez de los Ríos y García Alías 336

6.30. Plantillas de Gelabert para la bóveda de arista e interpretación de Rabasa. 337

6.31. Bóveda de arista de planta rectangular en Gelabert e interpretación de Rabasa. 337

6.32. Torija: «capilla por arista prolongada» 338

6.33. Bóvedas de arista: *método general* de Philipe de La Hire 339

6.34. Interpretación del *método general* de De La Hire 340

6.35. Bóvedas de arista en Portor y Castro 341

6.36. Viollet-le-Duc: bóveda de arista de planta rectangular con clave elevada 342

6.37. Portor y Castro: «Capilla cuadrada que empieza en arista y acaba en rincón» y comparación con la montea Colegio 342

6.38. Bóveda de arista en Tosca 343

7.1. Tratamiento de escaleras en Italia y España en el primer renacimiento: palacio Farnese en Roma y hospital de la Santa Cruz de Toledo. 346

7.2. Escalera abierta en el hospital de la Santa Cruz y cerrada en San Juan de los Reyes. 347

7.3. Evolución de los tipos de escaleras españolas de los s. XV y XVI. 348

7.4. Escaleras en el tratado de Palladio y en la Villa Farnese en Capraro-la de Vignola 349

7 5. Situación de la escalera principal en la planta general. E: 1/800 350

7.6. Fotografía de la escalera 351

7.7. Fotografías de los tres tramos de la escalera y escalera «de ida y vuelta volada» en Guillaume 354

7.8. Detalle de la escalera en el levantamiento de Meijide 355

7.9. Dibujos de la escalera en el informe técnico de 1993 356

7.10. Dibujos de la escalera en el proyecto de refuerzo de 1997 356

7.11. Dibujos de la escalera en el proyecto de acondicionamiento de 2000 357

7.12. Planta de los puntos de medición de la escalera. E: 1/100 358

7.13. Perspectiva los puntos de medición de la escalera 359

7.14. Planta baja. E: 1/100 360

7.15. Planta primera. E: 1/100 361
7.16. Planta cenital reflejada. E: 1/100 362
7.17. Sección por la primera rampa en la dirección I-D. E: 1/100 363
7.18. Sección por la segunda rampa en la dirección P-C. E: 1/100 364
7.19. Sección por la tercera rampa en la dirección I-D. E: 1/100 365
7.20. Sección en la dirección C-P 366
7.21. Deformaciones en la ortogonalidad de los muros. 367
7.22. Definición de *hocino* en el manuscrito de Portor y Castro 369
7.23. *Vis de Saint Gilles* cuadrada en Hernán Ruiz II, De L'Orme y Vandelvira. 372
7.24. Tres tipos de escaleras claustrales: hospital de la Santa Cruz de Toledo, escalera de Soto en San Esteban de Salamanca y escalera de la Real Chancillería de Granada. 373
7.25. Escaleras del palacio de la Generalitat y del colegio del Patriarca, ambas en Valencia 373
7.26. Escalera a regla adulcida de Vandelvira e ilustración de escaleras en Fray Lorenzo de San Nicolás 374
7.27. Escaleras en Portor y Castro 375
7.28. Escaleras en Tosca 376
7.29. Fotografías del trasdós de la escalera descubierto durante la restauración. 377
7.30. Croquis del despiece del segundo rellano ejecutado durante las obras. 378
7.31. Modelo 3D explicativo de la configuración de la escalera 379
7.32. Fotografías del trasdós de la rampa 3 y del descansillo. 380
7.33. Planta cenital reflejada del despiece. E: 1/100 380
7.34. Planta cenital reflejada y fotografía resaltando el despiece y el arco extradosado. E: 1/50. 381
7.35. Ejemplos de cálculo mecánico de escaleras de fábrica 383
7.36. Estado de grietas recogido en el informe técnico de 1993. 385
7.37. Atirantamiento propuesto en el proyecto de refuerzo de la escalera 387
7.38. Bóveda 2 (rampa 3), zona central: pesos y centros de masas. E: 1/50 392
7.39. Bóveda 2 (rampa 3), banda central. Líneas de empujes: la mínima y la más centrada. E: 1/50 393
7.40. Bóveda 2 (rampa 3), banda central. Líneas de empuje: la mínima y la más centrada, con sobrecarga de uso. E: 1/50 394
7.41. Bóveda 2 (rampa 3), arco de borde: pesos y centros de masa. E: 1/50. 396

7.42. Bóveda 2 (rampa 3), arco de borde: línea de empuje mínimo y relación con las grietas existentes antes de las obras. E: 1/50 397

7.43. Bóveda 2 (rampa 3), arco de borde: línea de empuje mínimo ceñida al arco. E: 1/50 398

7.44: Bóveda 2 (rampa3), arco de borde: líneas de empujes: centrada en el arco y de componente vertical mínima. E: 1/50 399

7.45. Bóveda 1 (rampa 2), zona central: pesos y centros de masas sin sobrecargas. E: 1/50: 401

7.46. Bóveda 2 (rampa 2), tramo central: pesos y centros de masas con sobrecarga de uso. E: 1/50 402

7.47. Bóveda 1 (rampa 2) zona central: líneas de empuje mínimo, con y sin sobrecarga. E: 1/50. 403

7.48. Bóveda 1 (rampa 2) zona central: líneas de empuje centradas, con y sin sobrecarga. E: 1/50 404

7.49. Bóveda 1 (rampa 2), arco de borde: pesos y centros de masas. E: 1/50 406

7.50. Bóveda 1 (rampa 2), arco de borde: líneas de empujes 407

8.1. Situación de las bóvedas en la planta general. E: 1/800 409

8.2. Fotografía de la bóveda del coro 410

8.3. Puntos de medición del coro: planta (E: 1/100) y perspectiva 411

8.4. Coro: planta y planta cenital reflejada. E: 1/100 412

8.5. Coro: alzado frontal y sección transversal. E: 1/100 413

8.6. Coro: sección longitudinal y deformaciones E: 1/100 y 1/40. 414

8.7. Coro: deformaciones en vista frontal. E: 1/100 415

8.8. Torres: fotografía desde la parte posterior del edificio 416

8.9. Torre I: exterior y bóveda esquifada del primer cuerpo 416

8.10. Torre I: cuerpo superior y detalle del interior de su cupulino 417

8.11. Bóveda esquifada: modelo tridimensional de escáner fotográfico y despiece 418

8.12. Torre: ortofoto obtenida con escáner fotográfico 419

8.13. Torre. Plantas por los niveles N1 y N2. E: 1/75 420

8.14. Torre. Planta por el nivel N3. E: 1/75 421

8.15. Torre: sección P-C. E: 1/75 422

8.16. Torre: sección I-D. E: 1/75 423

8.17. Torre: alzado D. E: 1/75 424

8.18. Torre: alzado P. E: 1/75 425

8.19. Bodega: fotografías de la sala 1 y capialzado de la puerta principal. 426

8.20. Puntos de medición de la bodega: planta (E: 1/200) y perspectiva 427

8.21. Bodega: Planta y sección longitudinal. E: 1/200 428
8.22. Bodega. Salas 1 y 2, planta y secciones. E: 1/100. 429
8.23. Bodega, sala 3, planta y sección. E: 1/100. 430
8.24. Fotografías del sótano bajo el presbiterio 431
8.25. Sótano bajo el presbiterio: planta. E: 1/100 431
8.26. Sótano bajo el presbiterio: secciones. E 1/100 432
B.1. Estudio de la estabilidad de un cono macizo sometido a la acción del viento en Heyman. 492
B.2. Expresión de los coeficientes geométricos de seguridad de Rankine y Huerta. 497
B.3. Dibujos de pináculos huecos: estampas de El Escorial y trazas de Brizuela para el cimborrio de la catedral de Segovia 499
B.4. Gráfico que relaciona el espesor mínimo de la pared de una pirámide con otros parámetros para determinar la estabilidad ante el viento 502

TABLAS

2.1. Incidencias de la construcción del edificio del Colegio.....30

3.1. Unidades de longitud castellanas del siglo XVI 70

3.2: Sistema de unidades utilizado en la construcción del Colegio 76

4.1. Dimensiones fundamentales de la cúpula 120

4.2. Dimensiones del pináculo 121

4.3. Dimensiones del cupulino.....123

4.4. Dimensiones de la linterna.....125

4.5. Dimensiones de la media naranja 127

4.6. Dimensiones del tambor.....127

4.7. Principales reglas para el dimensionamiento de cúpulas simples 134

4.8. Volúmenes, superficies expuestas a viento y centroides de las secciones del pináculo.....178

4.9. Datos y resultados de los cálculos realizados para cuatro secciones críticas del pináculo 182

4.10. Datos para el cálculo del cupulino considerando una luna de $\theta = 15°$ y el pináculo hueco.....185

4.11. Datos para el cálculo del cupulino considerando una luna de $\theta = 60°$ y el pináculo hueco.....188

4.12. Tracción en la cadena del cupulino.....191

4.13. Resistencia a tracción de elementos de hierro forjado según Rankine.....192

4.14. Datos para el cálculo de la linterna considerando un sector de 60° 195

4.15. Acciones en la base de la linterna.....198

4.16. Estudio de la línea de empujes en la media naranja. Casos 201

4.17. Datos para el cálculo de la media naranja. Hipótesis A: $\theta = 45$.....202

4.18. Datos para el cálculo de la media naranja: Hipótesis B: $\theta = 5{,}625$ 203

5.1. Lunetos apuntados en los tratados de los siglos XVII y XVIII. 222

5.2. Comparación entre la cimbra propuesta por Fray Lorenzo y el perfil teórico.....224

5.3. Desplomes en las secciones transversales de la nave 249

5.4. Secciones transversales. Diferencias en las alturas de cornisa, pilastras y capiteles. 250

5.5. Descensos de las claves de arcos y bóvedas de la nave 260
5.6. Bóveda del presbiterio: dimensiones de los arcos 264
5.7. Bóveda 3: división en bandas; pesos y centros de gravedad..... 288
5.8. Bóveda 3: comparación entre el cálculo y los valores tabulados por Ungewitter 292
5.9. Arco tipo sin deformar: pesos y centros de gravedad..... 293
5.10. Arco A4 deformado: pesos y centros de gravedad..... 293
7.1. Características geométricas del modelo mecánico de la escalera 389
7.2. Bóveda 2 (rampa 3): estimación de acciones en la zona central..... 391
7.3. Bóveda 2 (rampa 3): acciones en el arco de borde (por metro de ancho)..... 395
7.4. Bóveda 1 (rampa 2): estimación de acciones en la zona central..... 400
7.5. Bóveda 1 (rampa 2): acciones en el arco de borde de 0,40 m de ancho..... 405

PREFACIO

Cuando en el año 2002 comencé a formarme en el campo de las estructuras de fábrica, los arquitectos del Instituto de Restauración de la Xunta de Galicia me sugirieron que estudiase las bóvedas de la iglesia del Colegio de Nuestra Señora de la Antigua. Había una cierta preocupación por su estabilidad debido a los llamativos movimientos de las fábricas; de hecho, diez años antes se habían monitorizado partes del edificio y en 1995 se había reforzado la escalera monumental. Todo esto convertía a estas bóvedas en un material de estudio sustancioso.

Pero aparte de un posible problema de estabilidad, el Colegio ofrecía otros alicientes. Constituía el ejemplo más importante del clasicismo herreriano en Galicia, un estilo que no acabó de cuajar en esta tierra, por lo que algunos de los tipos de bóvedas que aparecen en Monforte no se llegaron a repetir, como el caso de su cúpula trasdosada. Pero además, el repertorio de bóvedas, si bien no muy numeroso, sí era variado: bóvedas de arista, esquifadas, escarzanas, lunetos, la cúpula, una escalera… Por otra parte, en el archivo del Colegio se encontraba la documentación histórica que describía con detalle las condiciones que entonces se habían establecido para la ejecución de las obras. Y para completar el conjunto, en el suelo del zaguán se conservaba grabada una de las monteas más complejas de las pocas que han llegado a nuestros días.

Como carecía de planos fiables comencé mi trabajo por los levantamientos. Acercarme a las bóvedas y analizarlas suscitó mi curiosidad por las unidades de medida históricas y por las reglas geométricas que se habían utilizado para darles forma. Me interesaron la estereotomía y los tratados, en donde buscaba modelos para los despieces que iba registrando. El sistema de medición que utilizaba —la estación total— me permitía un grado de detalle que ponía en evidencia las deformaciones y me permitía relacionarlas con el comportamiento mecánico… Conectar todo esto me pareció interesante. Mi objetivo inicial se modificó y abrí el frente de mi estudio para

acoger todos estos aspectos. Los agrupé bajo tres epígrafes: *geometría*, *construcción* y *mecánica*, que se encuadran en el marco disciplinar de la Historia de la Construcción. La tesis que presento es el resultado de este estudio.

Agradecimientos

No hubiese podido abordar este trabajo sin la dirección y la ayuda del profesor Santiago Huerta, a quién quiero expresar mi gratitud más profunda. Me ha dedicado tiempo y atención, ha estimulado mi trabajo y me ha proporcionado oportunidades para aprender, siempre con la mayor cordialidad, por lo que me siento afortunada por haber podido recorrer este camino bajo su dirección.

La comunidad de los Padres Escolapios de Monforte soportó mis intromisiones en su casa a lo largo de estos años. Siempre me recibieron con la mayor amabilidad. Quiero mencionar expresamente mi gratitud al padre Roberto Oliva, a Jorge Valcárcel, y a Antonio Rodríguez, quienes estuvieron más pendientes de mis peticiones. Pablo Domínguez atendió amablemente mis consultas al archivo de las Escuelas Pías de Madrid. Ramón Estrada preparó las cuerdas para que pudiese escalar la cúpula y las torres, me acompañó desinteresadamente y se preocupó con interés por garantizar mi seguridad.

Federico Garrido y Manuel Vecoña son los responsables de mi interés por las estructuras de fábrica. Me animaron a formarme en este campo y me facilitaron todo el material que les pedí. El profesor Carlos Álvarez, entonces director de mi departamento, me animó y ayudó para que emprendiese el doctorado.

La profesora Ana López Mozo me enseñó las técnicas de levantamiento de bóvedas, sin escatimar tiempo ni detalles, con una gran generosidad. Siempre ha tenido palabras de ánimo, lo que agradezco especialmente por proceder de una persona cuyo trabajo admiro.

La profesora Gema López Manzanares me facilitó un ejemplar de su tesis doctoral que estudié con interés y que constituyó un material clave para el estudio de la cúpula; el profesor Stefan Holzer, me proporcionó una copia de su programa para el cálculo de lunetos; el profesor Merino de Cáceres contestó con interés y amabilidad a mis «asaltos» sobre metrología; José Fernández, con su proverbial generosidad, me dejó su completa documentación sobre la restauración de la escalera.

Los profesores José Luis de Miguel y José Miguel Ávila Jalvo, junto con la profesora López Mozo, formaron la comisión de predefensa que evaluó el borrador de esta tesis. Sus correcciones y sugerencias me permitieron mejorar mi trabajo.

Recuerdo con agradecimiento la ayuda que de una u otra forma me prestaron Alberto Sanjurjo, David Miranda, José Rosales, Santiago Tarrío, Rafael Crecente, José Antonio García Ares y Xan López Hermida. Muy amablemente, Santiago López-Pastor, Will Collin, Juan L. Osorio, Lois Rúa, Jaybee y Gregorio Barbero me permitieron utilizar sus fotografías.

Mis compañeros del área de Expresión Gráfica de la Escuela Politécnica de Lugo, además de apoyarme y animarme, me facilitaron medios y me liberaron de obligaciones. Agradezco especialmente la calidez de Patricia Tato, cuyas invitaciones a café me rescataron tantas veces de la soledad del despacho. En Madrid, Paula Fuentes y Fabián López Ulloa siempre me han recibido cordialmente en el Instituto Juan de Herrera, y me han resuelto trámites y tenido al tanto de las novedades.

Ha sido muy importante la ayuda de mi familia y amigos. Han sido muchos los gestos amistosos, los ánimos y los ofrecimientos de ayuda. Quiero mencionar especialmente a mis amigas Rosa, Lourdes y Luisa, quienes escucharon con paciencia mis preocupaciones sobre este trabajo y me arroparon con su afecto. *Grazas*.

Mi madre hizo todo lo que estuvo en su mano para ayudarme, y me regaló un tiempo que le pertenecía para que pudiese trabajar. Mi hermana Bibiana me ayudó con los textos en inglés y estuvo disponible, literalmente *a todas horas,* para corregir elegantemente las partes del manuscrito que le hice llegar. Pero eso no es nada comparado con su cariño y con su vehemente apoyo incondicional, que tanto me sostuvo en momentos de flaqueza. Evocarlo me despierta una emoción que va más allá del agradecimiento.

Mi hijo Andrés me acompañó animoso a medir la cúpula y fue un solvente asesor tecnológico. Mi hija Alba me ayudó en mis exposiciones orales, me acompañó en mi visita a San Esteban de Salamanca y, en los momentos de apuro, me liberó de la logística doméstica. Estoy segura de que Andrés y Alba hubiesen preferido cruzar su adolescencia con una madre menos ocupada y, a pesar de eso, se interesaron por lo que hacía y me ayudaron en lo que pudieron. A ellos y al recuerdo de mi padre dedico este trabajo con agradecimiento y amor.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

La arquitectura de los siglos XVI y XVII presenta en España dos características singulares que atañen directamente a las técnicas que se utilizan en la construcción de bóvedas. La primera es la traducción a la cantería de las formas clásicas venidas de Italia. Allí se edifican con ladrillo y se revocan, mientras que en España mostrarán la geometría desnuda de sus despieces.[1] La segunda es la convivencia de estas nuevas formas con la arquitectura gótica anterior, lo que propiciará una cierta hibridación técnica y, como consecuencia, la singularidad que supone la utilización de recursos constructivos propios del gótico en bóvedas clasicistas.

Marías (1989, 33) llama a esta última característica *bilingüismo*. Se construyen edificios en los dos lenguajes —gótico o clasicista—dependiendo, entre otras razones, de las preferencias del promotor, y habrá arquitectos capaces de *hablar* ambos para adaptarse a distintas situaciones (Gómez Martínez 1998, 223-227). Este doble lenguaje no solo se aplica a las formas, sino también a las soluciones técnicas: Marías (1991c, 72) ha señalado la existencia de una «comunidad técnica» tanto para bóvedas góticas como renacentistas.

El mismo autor comentaba en 1991 «la casi total inexistencia de estudios sobre el tema de la historia de la técnica constructiva en la España del Quinientos [...]» (Marías 1991c, 74). Aunque en los veinte años trascurridos ese vacío se ha ido llenando, el patrimonio construido de esta época es extenso y muchas de sus particularidades técnicas todavía permanecen inéditas.

---

1. Tanto en Francia como en España existía una rica tradición de cantería heredada del románico que supo traducir con maestría las formas clásicas a este material. Aunque en España se siguieron construyendo bóvedas de ladrillo, –por su economía y por el arraigo de su tradición mudéjar–, los edificios en los que se pretendía una mayor suntuosidad se ejecutaron en cantería.

Valga como ejemplo las diferentes maneras con las que se resolvieron los arranques de las cúpulas trasdosadas: en el monasterio de El Escorial se recurre a lechos horizontales (López Mozo 2009a; 2009b), una solución que no mencionan los tratados y que se repitió en la pequeña cúpula de la iglesia de Cobos (Segovia) (Alonso 2007); pero que no aparece en las de la catedral de Segovia (Ruiz Hernando 2003; Alonso, Calvo y Rabasa 2009), ni en la del colegio de Monforte (Guerra 2009b). Sin embargo, en el colegio de Monforte se prescriben cadenas de hierro y en la torre de las campanas de la catedral de Segovia se indica que se graparán las primeras hiladas (Ruiz Hernando 2003, 267) ¿Era habitual embeber cadenas en las primeras hiladas de la cúpulas? No sabemos cómo se abordó el problema en otros casos porque no se han estudiado.

El conocimiento sobre las técnicas de construcción de las bóvedas de este período de la arquitectura española todavía es incompleto. No existen estudios similares a los realizados sobre la construcción de bóvedas de otras épocas, como ocurre con las romanas, bizantinas, góticas o las del Renacimiento italiano.[2] Los tratados recogen los tipos constructivos principales pero no agotan el repertorio de sus variaciones[3] y omiten sistemáticamente la descripción de técnicas básicas que entonces eran de uso común y que hoy, sin embargo, desconocemos (Rabasa 1996, 429). Además, muchos de estos textos se han perdido.[4]

Los casos que se han abordado desde el campo de la Historia de la Construcción todavía no son suficientes para emprender un análisis global, como la clasificación de las distintas soluciones, establecer su distribución geográfica o rastrear el flujo de las influencias.

Robert Willis, en la introducción a su obra *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages* (1842, 3), mantenía la necesidad de formar un *conjunto de ejemplos*, para

---

2. La construcción de las bóvedas romanas y bizantinas ha sido analizada por Choisy (1883; 1873); las del gótico francés por Viollet-le-Duc (1854). Willis (1842) describió minuciosamente los procedimientos y la evolución técnica de las bóvedas medievales inglesas. Durm (1903) interpretó las grandes cúpulas del Renacimiento italiano.

3. Fray Lorenzo de San Nicolás (1639, 104v) ilustra esta idea: «[...] porque pretender que todo ha de quedar notado, será nunca acabar, y pedir imposibles».

4. El tratado de Ginés Martínez de Aranda tenía cinco partes de las que faltan dos, entre ellas la de bóvedas. Conocemos el libro de Vandelvira por dos de sus copias, ya que el original se ha perdido. Se sabe que en El Escorial se recopiló un tratado de cortes de piedra que tampoco se conserva, al igual que un tratado que escribió Francisco Lorenzo (Bonet 1993, 111).

poder deducir reglas generales, y añadía que las reglas extraídas de un único ejemplo habitualmente carecían de valor.[5] Por todo lo expuesto, y siguiendo el espíritu de Willis, este trabajo pretende contribuir al mejor conocimiento de las técnicas de construcción de bóvedas de cantería del Renacimiento español documentando uno de esos *ejemplos,* uno importante y significativo.

1.2 Objetivo

El objetivo de esta tesis es el análisis de las técnicas constructivas utilizadas en las bóvedas del Colegio de Nuestra Señora de la Antigua de Monforte de Lemos (Lugo), también conocido como colegio del Cardenal.

El Colegio es uno de los edificios más importantes —quizá el más importante—, del clasicismo herreriano en Galicia. Presenta una variada colección de bóvedas de cantería, que en algunos casos son los únicos ejemplos de su tipo que se pueden encontrar en esta comunidad. El objetivo es conocer *como se construyeron* las bóvedas y *por qué* se construyeron así.[6] Este objetivo se concreta en tres preguntas:

1. cuál es su forma
2. qué soluciones técnicas se utilizaron
3. en qué grado son estructuras eficaces

El análisis independiza, pues, tres enfoques: el *geométrico*, el *constructivo* y el *mecánico*, si bien sus límites no son siempre claros, ya que en las estructuras de fábrica estos tres aspectos están estrechamente imbricados.

Responder a la *primera pregunta*, conocer la forma de las bóvedas, comprende su levantamiento geométrico y la búsqueda de los patrones con los que se controló su forma, tanto de las reglas geométricas como de las unidades de medida utilizadas.

Para saber qué soluciones técnicas se emplearon —*segunda pregunta*— se estudian los documentos originales que describen las obras —una documentación de ex-

5. La cita en la que Willis expone esta idea, por su capacidad para ilustrar el sentido de esta tesis, se ha transcrito en el epígrafe que encabeza este trabajo (Willis [1842] en prensa, 3).

6. «We cannot ask *What*? in presence of any architectural feature or general effect without asking *Why*? . . . If we ask the reason why, we are brought at once to the study of constructional facts» (Mrs. Schuyler Van Rensselaer, citada en Fitchen 1981, 9).

cepcional importancia— y se analiza su despiece. Todo esto se relaciona con conocimientos recogidos en los tratados y con las aportaciones de estudios de edificios coetáneos.

Por último y en respuesta a la *tercera pregunta*, para conocer el funcionamiento mecánico de estas estructuras se recurre a la Moderna Teoría de Análisis Límite de Estructuras de Fábrica para determinar su grado de seguridad y para interpretar los movimientos que han sufrido.

El trabajo se afronta con las siguientes premisas:

- En la parte del estudio geométrico, no se han buscado relaciones geométricas para las que no haya un respaldo documental.
- En la toma de datos, se descartó cualquier intervención destructiva: no se realizaron catas, ni se desmontó ningún elemento (tarimas, ventanas...).
- Los medios para la toma de datos se limitaron a una estación total. Otras tecnologías más sofisticadas (escáner de láser y fotogrametría de precisión) fueron excluidas por limitaciones económicas.

1.3 Estructura de la tesis

El texto se ordena en nueve capítulos.

En el capítulo segundo se describe el edificio del Colegio y se relatan los aspectos de la historia de su construcción que interesan para el estudio de las bóvedas. El capítulo se completa con la relación de la documentación disponible y los antecedentes que se deben tener en cuenta.

A continuación, en el tercer capítulo, se da cuenta de los métodos utilizados en el desarrollo de las tres partes en las que se ha dividido el análisis (geometría, construcción y mecánica) y de las consideraciones generales que afectan al conjunto de todas las bóvedas.

En la parte de *geometría* se reflexiona sobre el estado actual de las técnicas de levantamiento y se explican las peculiaridades del proceso seguido. El apartado concluye con la exposición del análisis metrológico que se ha realizado. En la parte de *construcción* se da cuenta de los documentos históricos que describen la obra y se relacionan los tratados de construcción con los que se contrastan las soluciones encontradas en las bóvedas. Por último, en la parte dedicada a la *mecánica* se exponen los

principios y fundamentos del Análisis Límite de Estructuras de Fábrica, que es el marco teórico en el que se aborda el análisis de la estabilidad, y las bases para el estudio de las relaciones entre el comportamiento mecánico y la deformación de las fábricas.

Los cuatro capítulos siguientes se dedican, respectivamente, al estudio de la cúpula (4º), de las bóvedas de cañón con lunetos (5º), de las bóvedas de arista (6º) y de la escalera principal (7º). Cada una de estos tipos se analiza desde las tres perspectivas que se declaran en el capítulo 3. La estructura es similar y en los cuatro se reconoce la división en las tres partes mencionadas. Sin embargo el tratamiento no es uniforme: las peculiaridades de cada estructura hará que alguno de los tres aspectos cobre un protagonismo mayor.

Así, en el capítulo 6 sobre las bóvedas de arista el peso recae en el estudio constructivo ya que, aparte del interés de la solución que se encuentra, se ha querido insistir en la importancia de la montea que se encuentra en el zaguán. El hecho de que se haya descubierto otra montea inédita, que es una aportación original de este trabajo, justifica un mayor detenimiento en estos documentos tan singulares. En la escalera (capítulo 7), sin embargo, la parte mecánica cobra protagonismo: el mecanismo de equilibrio es muy complejo, ha habido movimientos importantes, ha sido reforzada, y por todo esto el análisis de esta parte se extiende más.

El capítulo 8 agrupa las bóvedas restantes: la bóveda escarzana del coro, las de cañón seguido de las bodegas, las esquifadas de las torres y las bóvedas de mampostería de los sótanos. En estas bóvedas no siempre se justifica el análisis completo y se relaja la rigidez del triple enfoque.

El capítulo 9 recapitula todo lo expuesto y sintetiza las conclusiones. A la luz de los resultados se retoman las pregunta iniciales y se precisa en qué medida se han respondido. Se hace una valoración de las aportaciones de esta tesis y, finalmente, se reflexiona sobre futuros trabajos que completarían la investigación.

El apéndice A aporta la transcripción de la documentación original sobre la construcción del Colegio a la que se hace referencia reiteradamente en todo el trabajo. Se acompaña de una recopilación de los términos técnicos utilizados en estos documentos.

El apéndice B recoge un estudio de la estabilidad de pináculos piramidales huecos expuestos al viento que se ha elaborado como paso previo al estudio de la estabilidad del pináculo que corona de la cúpula.

Por último, en el apartado de Bibliografía se listan las fuentes consultadas, todas las citadas, y aquellas que se consideran de interés aunque no se hayan llegado a consultar.

1.4 Límites del estudio

La Historia de la Construcción recibe aportaciones especializadas de otras disciplinas y el estudio que se propone no agota todos los aspectos que puede abarcar. Los que se han seleccionado lo han sido porque corresponden a la formación de la autora, que es arquitecta, constituyen un volumen de trabajo razonable para una sola persona, y se pueden abordar con los medios disponibles.

Por este motivo se han excluido apartados como la caracterización de materiales y los aspectos económicos de la obra. No se realizaron búsquedas sistemáticas en archivos, ni se emprendieron transcripciones de manuscritos históricos.[7] Tampoco se han utilizado métodos arqueológicos en la investigación.

Se ha omitido el análisis de los medios auxiliares aunque están directamente relacionados con las técnicas de construcción. Al no existir restos físicos ni documentos sobre la obra auxiliar su estudio solo se podía afrontar desde la especulación teórica, lo que se apartaba de la orientación del trabajo, que se centra en el análisis de lo construido.

Para las referencias a la situación de las bóvedas se han utilizado los planos generales del levantamiento dirigido por el arquitecto Carlos Meijide en 1984.

7. Aunque sí se han hecho búsquedas de documentación concreta en varios archivos y se han trascrito pequeño párrafos de manuscritos cuando ha sido necesario.

1.5 Convenios utilizados

Orientación

El edificio no está alineado con los puntos cardinales principales y la iglesia no sigue la orientación canónica. Por claridad, se ha establecido un sistema de orientación propio para referirse a las direcciones de las fachadas del edificio. Se utiliza el símbolo de la cruz latina de la planta de la iglesia con un círculo en la intersección de sus lados que representa a la cúpula. Las orientaciones según el eje principal se establecen como C de *cabecera* y P de *pies*; en el sentido perpendicular se denominan I de *izquierda* y D de *derecha* (considerando un observador situado de frente a la cabecera). Todas las plantas van acompañadas del símbolo que las refiere a la orientación de la iglesia. En las proyecciones verticales y en el texto de usan las iniciales I, D, C y P y sus combinaciones, por ejemplo, «alzado D», «rincón C-I» o «sección C-P».

Se ha hecho así para evitar referencias del tipo «sección NW-SE» que resultan engorrosas y poco claras. Igualmente se han descartado los términos «lado de la epístola» y «lado del evangelio», que aunque son habituales en los textos de historia del arte, resultan opacos fuera de ese campo y pierden sentido al hablar de bóvedas alejadas de la iglesia.

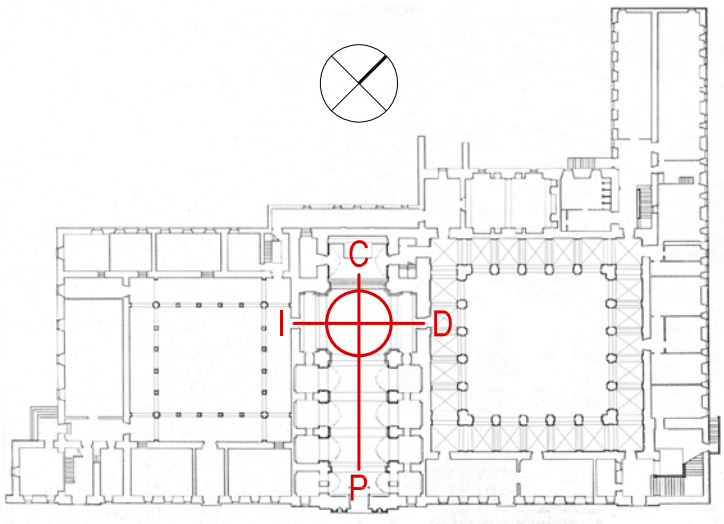

Figura 1.1. Orientación del edificio: orientación geográfica y sistema de orientación propio. Sobre la planta de Meijide (1984).

Dibujo

Algunos de los datos que aparecen en los dibujos no se han medido directamente, normalmente porque no era posible hacerlo con los medios disponibles (zonas de sombra provocadas por cornisas, espesores de muros en las partes altas...). Sin embargo omitir esas partes dificultaba la legibilidad.

Para diferenciar los datos medidos respecto a los que no lo han sido (porque se han deducido o tomado de otras fuentes), estos últimos se han grafiado en color marrón oscuro. El resto de las convenciones gráficas —grosor y tipo de línea— se han mantenido.

Todos los dibujos se reproducen a escalas que se ajustan a las divisiones de un escalímetro habitual. La escala gráfica que los acompaña permite comprobarlo. En el índice de figuras se indican las escalas numéricas utilizadas aunque, lógicamente, solo son válidas en el texto reproducido a su tamaño original.

Referencias bibliográficas

A lo largo del texto se hace referencia en numerosas ocasiones a los documentos originales de contratación de la obra. Se trata de dos documentos de 1592 y 1598 pertenecientes al archivo del Colegio (legajo 2, números 2 y 5), que transcribió y publicó a mediados del siglo pasado el profesor Cotarelo Valledor (1945-1946, 2: 264-292; 307-324). Cotarelo titula a los documentos:

- *Condiciones para la construcción del Colegio de Monforte de Lemos*, y
- *Tasación de lo obrado y cláusulas para la prosecución del Colegio de Monforte de Lemos*.

Por su importancia se adjuntan en el apéndice A. Para facilitar su consulta se han numerado sus párrafos. Como se citan muchas veces, en el texto se han utilizado los títulos abreviados *Condiciones* para el primero y *Tasación* para el segundo, con las referencias a los números de párrafo del apéndice. En todos los casos debe entenderse que la fuente original es el texto de Cotarelo.

Para el resto de las referencias bibliográficas se han utilizado la codificación de la 16ª edición del manual de estilo de la Universidad de Chicago.[8]

8. University of Chicago Press. 2010. *The Chicago Manual of Style*. 16ª ed. Chicago.

Transcripciones

Siempre que se ha transcrito una cita o un documento se ha respetado la ortografía de la fuente. Esto se ha hecho también en los documentos arriba mencionados tomados de Cotarelo, aunque se tiene constancia de que él no utiliza la ortografía original y no indica el criterio seguido. Esto debe tenerse en cuenta en los casos de términos dudosos, que necesitarían volver a ser contrastados con el documento original.

Autoría de las imágenes

Todos los dibujos e imágenes en los que no se indique otra atribución han sido elaborados por la autora.

CAPÍTULO 2

HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL COLEGIO

2.1 Descripción del edificio

El Colegio se construyó *ex novo* fuera del perímetro que entonces ocupaba el núcleo de la ciudad de Monforte, frente a la explanada del campo de la feria, en un terreno que desciende con ligera pendiente hacia la orilla del río Cabe, su límite natural.

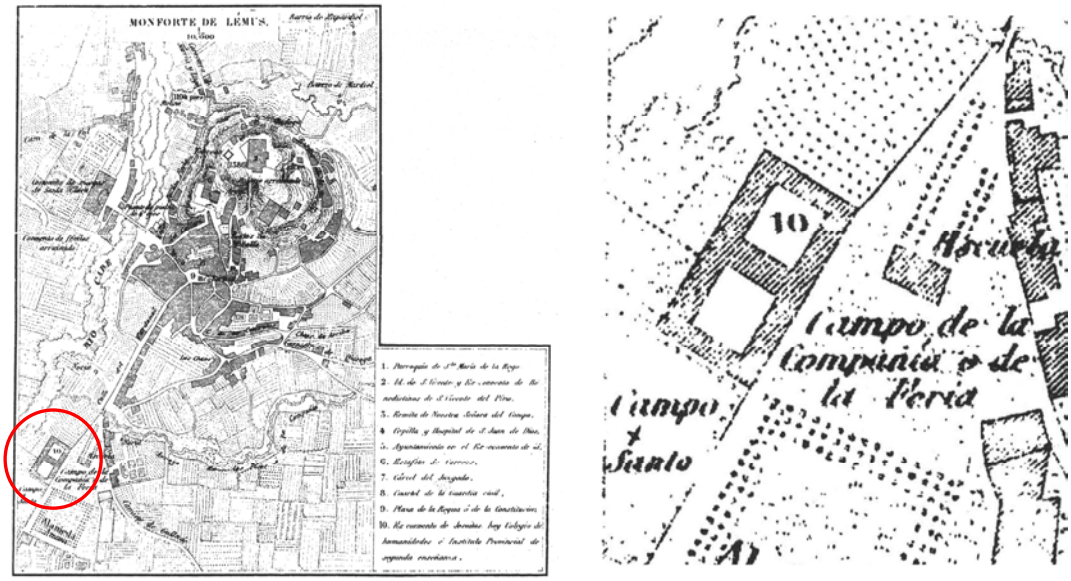

Figura 2.1. Situación del Colegio respecto al núcleo de Monforte. Obsérvese la forma de la planta, que todavía no se había acabado (Coello 1848-1876 en Madoz [1845] 1986).

Al aproximarse desde el centro de la ciudad se perciben la fachada principal y la lateral de la derecha. La principal, de 106 m de longitud y organización simétrica, está construida totalmente en cantería de granito. La fachada lateral, de 96 m de longitud, combina la labor de sillería de ventanas, cornisas, fajas y esquinales, con muros de mampostería. A primera vista parece que el edificio es de planta rectangular y que esas fachadas definen sus dimensiones. Si se observa la planta (figura 2.3) se ve

que no es así, que la supuesta regularidad se rompe en la parte posterior, y que la longitud de la fachada lateral afecta solo a esa ala, que sobresale del cuerpo principal del Colegio. La superficie real es casi la mitad de lo que las dos fachadas visibles desde la ciudad aparentan.

Figura 2.2. Fachada principal desde el Campo de la Compañía

La organización de la planta parte de un esquema simétrico. La iglesia está situada en el eje de simetría y divide al edificio en dos zonas: la derecha se proyectó para *casa* destinada a la comunidad de los jesuitas, que rigieron el Colegio desde su fundación hasta su expulsión de España; la de la izquierda alberga la zona de estudios, las *escuelas*. Cada una de estas partes e organiza alrededor de un patio si bien, como se observa en la planta, ni los patios ni los espacios que los rodean son simétricos.

En la fachada principal se integra la de la iglesia, que adopta el perfil viñolesco característico de las iglesias jesuíticas de esta época. La galería con arcos de la planta superior se ha visto como una influencia del palacio de Monterrey de Salamanca

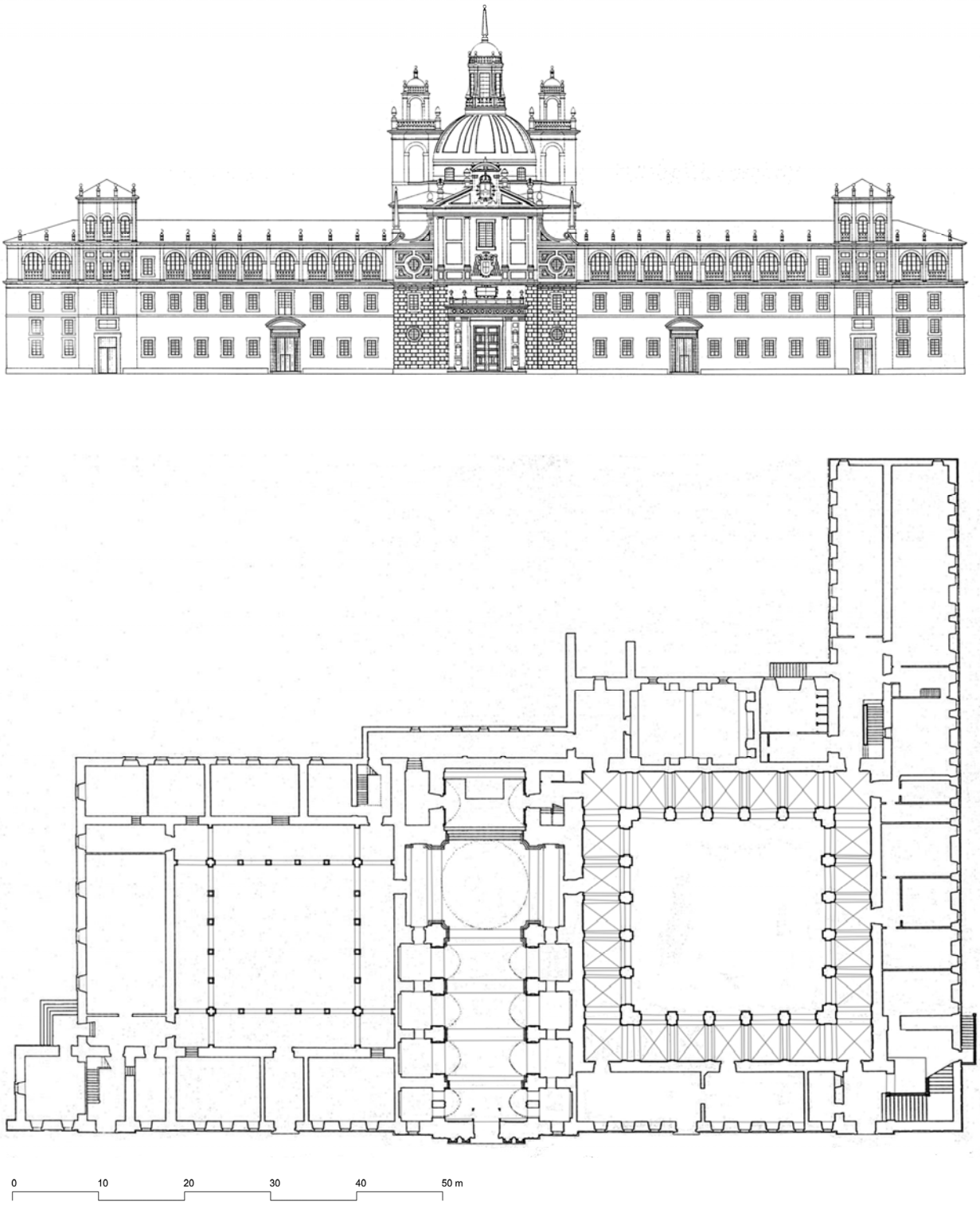

Figura 2.3. Planta e alzado del Colegio de Nuestra Señora de la Antigua de Monforte de Lemos. Levantamiento de Meijide de 1984, escala del original 1:200.

(Bonet 1984, 186; Rodríguez G. de Ceballos 1999, 627), ciudad en la que se formaron los dos arquitectos jesuitas que intervinieron en la obra, Andrés Ruiz y Juan de Tolosa. Pita (1952, 51) mantiene que «podría percibirse una tímida evocación de Herrera en as torrecillas de los lados, [...]». Las referencias a Herrera y a la influencia de El Escorial son constantes en los estudiosos de la arquitectura del Colegio.[1] También el reconocimiento de que en el edificio se inicia una evolución hacia el barroco.[2]

---

1. «Falta el testimonio documental del arquitecto. Se ha pensado en Juan de Herrera.» (Otero [1926] 1991, 218).

«[el Cardenal] imaginó una grandiosa imitación de El Escorial, exterior e interiormente, como quien veía construir el célebre monasterio y el empeño de Felipe II en hacerlo magnífico. Quiso el CARDENAL seguirle en su esfera, y bien puede decirse, como un crítico extranjero [n. Bertaux: *Revue de l'Art ancien e moderne*.], que con el granito del país hizo un escorial gallego. Tal pensaron los coetáneos y de "segundo Escurial" lo apellidaron» (Cotarelo 1945-1946, 1: 295).

«Creencia común y ya antigua atribuye la traza y los planos al famoso Juan de Herrera. Nada de infundado tiene esta opinión si se atiende a la opulencia que es CARDENAL quiso dar a la obra, pensada y empezada en vida del insigne arquitecto, y a la grandiosidad de la concepción y al solemne equilibrio de sus proporciones, [...]» (Cotarelo 1945-1946, 1: 297).

«La tendencia tan frecuente en España (y especialmente en Galicia) de ver "Escoriales" en ingentes construcciones religiosas, justifica la obligada comparación. No puede negarse, por otra parte, que debió pesar mucho en los designios del Cardenal el ejemplo de Felipe II.» (Pita 1552, 48).

«Magnífico y espléndido edificio renacimiento, de tipo "*herreriano*", del siglo XVI, [...]» (Del Castillo 1972, 340) .

«[...] no se puede negar que la grandiosidad y serenidad del edificio monfortino está imbuido de las ideas estéticas de *Juan de Herrera*, si por ellas entendemos el viñolismo manierista [...]» (Rivera Vázquez 1989, 586)

«[...] ningún conjunto refleja mejor la huella de El Escorial que el Colegio de la Compañía [...]» (Hernández, Martín y Pita 1991, 556).

«Por su arquitectura el edificio de su colegio [del Cardenal], monumento fundamental del clasicismo en España, fue desde el principio considerado como "El Escorial de Galicia"» (Bonet, 2001,115).

2. «[...] si bien algien halla en Monforte cierta gracia impropia del arte, matemático y frio, escurialense» (Cotarelo 1945-1946, 1:297).

«[...] ha de reconocerse que el edificio revela un paso mucho más decidido hacia el barroco que le iniciado por Herrera en El Escorial. Las semejanzas que puedan hallarse entre ambas obras mostrarán quizá las raíces escurialenses de nuestro primer barroco; [...]. Más las diferencias [...] valdrían para vigorizar la personalidad del primer barroco gallego [...]» (Pita 1552, 49).

«Al lado de estos síntomas herreriano-escurialenses, hay otros distintos y peculiares que [...] preanuncian ya el barroco» (Rivera Vázquez 1989,587).

2.2 El mecenazgo del cardenal don Rodrigo de Castro

El edificio se comenzó a construir en 1593 por iniciativa del cardenal de Sevilla, don Rodrigo de Castro. Don Rodrigo era hijo de la tercera condesa de Lemos, doña Beatriz de Castro. Aunque su infancia estuvo ligada a Monforte, su lugar de nacimiento no está claro (Rivera Vázquez 1989, 280), pues en un documento de 1600 consta su nacimiento en Valladolid (Cotarelo 1545-1946, 1:25). Apenas vivió en Monforte sus primeros años, tras los cuales se trasladó a Salamanca para estudiar. A Galicia solo regresó siete años antes de su muerte (Rodríguez G. de Ceballos 1998, 613).

Figura 2.4. Retrato del cardenal don Rodrigo de Castro realizado por Pacheco (Martínez González 2000, 10)

Empezó su vida pública y sus viajes antes de cumplir 25 años, cuando acompañó al entonces príncipe Felipe en su viaje por Italia, Alemania y Flandes. Los numerosos viajes por las cortes europeas serían una característica de su biografía.

Optó por la carrera religiosa y su ascenso fue rápido. Fue obispo de Zamora, Cuenca y finalmente de Sevilla, de donde fue nombrado cardenal en 1583.

Sus biógrafos lo describen como un humanista refinado y culto, filántropo y promotor de la cultura. Se implicó activamente en la vida cortesana. Felipe II se encomendó algunas tareas delicadas de gran responsabilidad y su buen desempeño le

valió el nombramiento de consejero de estado. Reunió una interesante biblioteca y una buena colección de obras de arte. Ambas las legó al Colegio (Rodríguez G. de Ceballos, 1998, 617). En el museo del Colegio se exhiben, entre otras piezas, dos Grecos y cinco tablas de Andrea del Sarto.

En un momento de su vida tomó la decisión de crear una institución filantrópica en la ciudad de su infancia en la que se enseñase a «leer y esbrivir y Gramatica rrectorica y artes a todos los niños y personas que lo fueren a aprender y oyr sin les pedir ny llebar por ello yntereses ny otra cossa alguna» (*Fundación y dotación del Colegio* en Cotarelo 1945-1946, 2:296-297).

Mantenía muy buenas relaciones con los intelectuales jesuitas (Cotarelo 1945-1946 1:19 ss.); en 1586 comenzó las conversaciones con la Compañía para la creación del Colegio. Su materialización comenzó en 1591 con el encargo de la compra de los terrenos a las afueras de Monforte. Seleccionó a los trazadores del proyecto, resolvió la dotación económica y encargó los trámites de subasta de las obras. La escritura de fundación la firmaría en 1593; las obras habían empezado unos meses antes de ese mismo año (Cotarelo 1945-1946 1:310 ss.).

El cardenal visitó Monforte en el verano de 1594 y pudo ver el arranque de su edificio y decidir la ampliación de su fachada (Cotarelo 1945-1946, 1:321). Murió en Sevilla, en 1600, sin haber podido ver su obra terminada. No se pudo enterrar en su iglesia, como había sido su deseo, hasta 1619, cuando esta se acabó.

2.3 Trazas, contratos y adjudicación de las obras

Don Rodrigo encarga las trazas al jesuita Andrés Ruiz y al arquitecto de su arzobispado, el italiano Vermondo Resta. La autoría del este proyecto inicial es común, al igual que el de la primera modificación de ampliación de la fachada realizada a instancias del Cardenal en 1594, con la obra ya iniciada.

Se ha especulado con el papel que pudo jugar cada uno. Cotarelo (1945-1946, 1:297-298) mantiene que es Andrés Ruiz el que redacta el proyecto, que más tarde supervisa Vermondo Resta en Sevilla, quien introduce modificaciones. Pérez Fernández (1995) también recalca el protagonismo de Ruiz. Bonet (2001), sin embargo, reivindica el papel de Resta en el trazado de la iglesia, que el Cardenal quería

más suntuosa de lo que el *modo nostro* de los jesuitas prefería.[3] A Andrés Ruiz le correspondería velar por que la casa y las escuelas se hiciesen a gusto de la congregación. El reparto de la autoría de uno y otro continúa siendo un tema abierto.

En el verano de 1592 se anunció la subasta para la adjudicación de las obras en varias ciudades. El acto de adjudicación tuvo lugar durante los días 1 y 2 de octubre de ese año. En el convento de San Antonio de Monforte se reunieron los apoderados del Cardenal, los tracistas Ruiz y Resta, los testigos, el notario y veintiséis maestros canteros y otros oficiales, muchos de ellos trasmeranos (Pérez Rodríguez 1995). Este elevado número de posibles contratistas da idea del interés que suscitó la obra. Cotarelo (1945-1946, 1:303 ss.) relata el acto. El notario mostró las trazas y leyó las condiciones. La obra se subastó en dos lotes; por un lado la iglesia y por otro la Casa y escuelas. Las pujas de la iglesia fueron muy reñidas y se extendieron al día siguiente. Para que no se prolongase más de lo debido se limitó el tiempo prendiendo una vela, de forma que cuando se extinguiese se adjudicaría la obra al mejor postor. La obra, finalmente, se adjudicó a Juan de las Cajigas «antes que la dicha candela muriese». La adjudicación de la casa y escuelas fue más fácil y se adjudicó a los maestros Diego de Isla, Macías Álvarez y Gregorio Fatón. Más tarde se incorporaría el hermano de este último, Gonzalo Fatón.

Juan de las Cajigas era trasmerano y no se le conocen otras obras anteriores en Galicia. Diego de Isla, vizcaíno, y había trabajado como aparejador en el convento de San Esteban de Ribas de Sil. Macías Álvarez residía y trabajaba en Ourense en 1578. Gregorio Fatón había trabajado en el monasterio de Oseira (Ourense); más tarde lo hizo en el monasterio de Melón (Ourense) bajo la dirección de Simón de Monasterio (Bonet 1985, 179n9).

Las trazas que se presentaron en esta subasta se han perdido. Afortunadamente el archivo del Colegio conserva el documento notarial del acto, que contiene las condiciones para la ejecución de las obras.

3. En 1593 el provincial Aquaviva escribía: «Comiénzase luego la obra y *hácese como cosa del Cardenal, en cuanto sufre nuestro modo*» [cursiva en la cita] (Rivera Vázquez, 1989, 284).

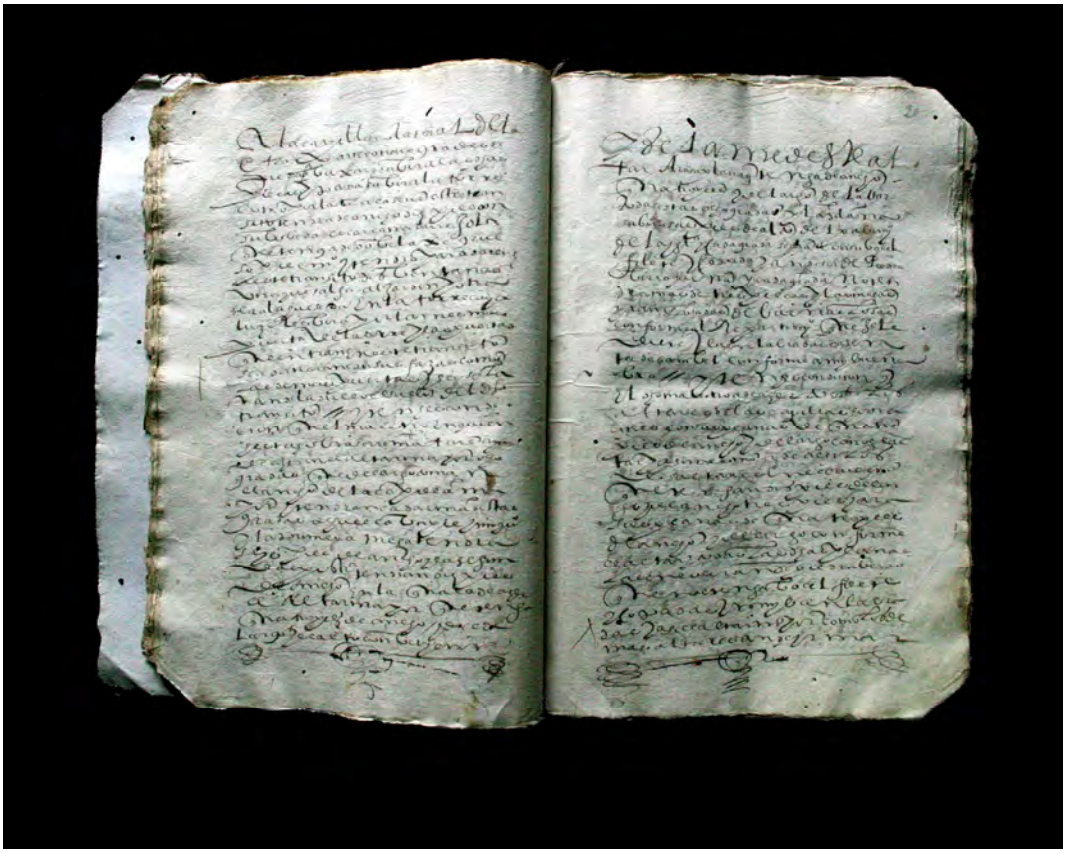

Figura 2.5. Original del documento de *Condiciones para la construcción*, que se encuentra en el archivo del Colegio, legajo 2, n. 2.

Aunque el proyecto se cambió y muchas de las descripciones no se corresponden con lo construido, el documento aporta una visión de sumo interés para entender el proceso de construcción de una obra de esa naturaleza, y sobre la construcción de las bóvedas en particular. Su transcripción se incorpora en el apéndice documental de la obra de Cotarelo (1945-1946, 2:261-292). Por su interés y las continuas referencias que se hacen a su contenido, se reproduce en el apéndice A.1.

2.4 Arquitectos y maestros mayores

El proyecto se modificó. Desafortunadamente, muchas de las *Condiciones* no reflejan lo construido. Algunos de los cambios están documentados; otros se deducen de la lectura atenta del edificio.

Además de los tracistas Andrés Ruiz y Vermondo Resta, otros dos arquitectos desempeñaron un papel decisivo en el aspecto con el que las obras nos han llegado.

Todas las fuentes señalan el papel decisivo del jesuita Juan de Tolosa en los primeros cambios, y de Simón de Monasterio en la construcción de la cúpula y el claustro (Bonet 1984, 180 ss.; Pérez Rodríguez 1995).

2.4.1 Andrés Ruiz

Andrés Ruiz procedía del foco herreriano que se formó en torno a la construcción de la colegiata de Villagarcía de Campos y, más tarde, de la catedral de Valladolid, de trazas de Juan de Herrera.

Ruiz era jesuita. Trabajó de carpintero en la construcción de la colegiata de Villagarcía, posiblemente como ensamblador del retablo diseñado por Herrera. Él mismo diseñó posteriormente el de la iglesia de Villacastín que, al igual que el de Villagarcía, recuerda al de El Escorial (Rodríguez G. de Ceballos 1966; Rivera Vázquez 1989, 570). En 1584 empieza a dirigir obras de arquitectura, primero como maestro de obras del colegio antiguo de los jesuitas de Salamanca, y al año siguiente, dirigiendo las de la iglesia del seminario de Segovia.

Figura 2.6. *Izquierda*: colegiata de Villagarcía de Campos; *derecha*: iglesia de los Jesuitas de Segovia (fotografía Ginersg en Wikipedia)

Ruiz tuvo contactos frecuentes con Juan de Herrera. El General de la Compañía había ordenado que las obras se sometiesen al consejo de arquitectos solventes

para evitar los gastos que producían los errores en los proyectos.[4] Para este fin los jesuitas recurrieron a Herrera en varias ocasiones. Ruiz consultó con él las obras de Salamanca, y para las de Segovia recibió instrucciones directas después de que Herrera visitase la obra personalmente.

La iglesia del seminario de Segovia guarda mucho parecido con la de Villagarcía. Como el proyecto original no es suyo, no se sabe exactamente la parte que le corresponde, pero hay constancia de que durante su dirección dibujó trazas y redactó condiciones (Rodríguez G. de Ceballos 1966). Bustamante (1983, 82) opina que Ruiz era un simple técnico y que tuvo que pedir ayuda a Juan de Herrera cuando decidió cambiar el proyecto anterior y no se sintió capaz. Sin embargo, su reputación debió de ser buena porque de Segovia fue llamado para las obras de Monforte.

El colegio de Monforte es la primera obra que traza desde el inicio, aunque con la autoría compartida con Vermondo Resta. Con respecto a su responsabilidad en la obra, Pérez Rodríguez (1995) aventura que su intervención se pudo limitar a vigilar el cumplimiento de las necesidades funcionales y del gusto de la Compañía. Rodríguez G. de Ceballos (1998) mantiene sin embargo que «[...] se debieron a él más que a Vermondo Resta tanto la planta como las condiciones de la obra de la iglesia y colegio [...]», y añade: «[...] el aire marcadamente escurialense que transpira el edificio pienso que se deben más al sesgo impreso por Andrés Ruiz, buen conocedor de Herrera, que al estilo de Resta anclado todavía en el lenguaje serliano [...]».

Desde el punto de vista técnico, ni la iglesia de Villagarcía ni la de Segovia tienen cúpula. Sus cruceros se cubren con sendos casquetes rebajados, una solución que los jesuitas preferían a la cúpula ya que su acústica era mejor. Sus bóvedas son de albañilería y la cantería solo aparece en los arcos perpiaños de la de Segovia. Este parece ser el modelo en el que se pensó para Monforte y es el que se describe en las

4. «La experiencia nos muestra los grandes errores que en las fábricas de la Compañía se an hecho y hazen cada día, por no consultarse con personas inteligentes no solo las trazas, mas aun lo particular, que la fábrica sea firme, bien unida y bien fundada; de que se siguen no solo muy grandes gastos, mas, lo que es peor, offensión y desedificación de muchos. Por lo qual nos a parecido que no se haga ninguna fábrica, de momento, sin consultar primero la traza y lo particular della y firmeza della con architectos seglares inteligentes [...]» *Libro de obediencias que los superiores ordenan. Colegio de Villarejo de Fuentes, año 1590.* En Rodriguez G. de Ceballos (1966, 1n1).

Condiciones.[5] Lo ejecutado fue bien distinto. Por estas diferencias y por el hecho de que Ruiz murió muy pronto (a los tres años del comienzo de las obras), no parece que haya tenido que ver con las bóvedas que finalmente se construyeron.

2.4.2 Vermondo Resta

Había nacido en Milán y llegó a Sevilla en las últimas décadas del siglo XVI,[6] donde coincide en el tiempo con Alonso de Vandelvira, Juan de Oviedo y Hernán Ruiz III, entre otros. El cardenal don Rodrigo lo nombró maestro mayor de las obras del arzobispado en 1585. Más tarde fue también arquitecto del Alcázar (Marín Fidalgo 1988, pássim).

Figura 2.7. Vermondo Resta: portada del jardín de las Damas en los Reales Alcázares de Sevilla (Morales 1962, 25; fragmento).

5. «[...] los arcos de la bóveda de la iglesia y juntamente los cuatro torales que todos ellos han de ser de piedra [...]» (*Condiciones* 1592, Apéndice A.1 §18); «[...] las bóvedas de la iglesia y de la cabeza e brazos del crucero ha de ser de ladrillo e cal [...]» (*Condiciones* 1592, Apéndice A.1 §31).

6. Rodríguez G. de Ceballos (1998, 623) contempla su posible nacimiento en Sevilla. Pérez Rodriguez 1995, 501) lo sitúa en Milán, en 1555.

Su obra es muy extensa. Debido a su cargo en el arzobispado su obra religiosa está dispersa por las provincias de la diócesis. También realizó intervenciones de trascendencia en los Reales Alcázares. En 1588 el Cardenal lo puso al frente de la operación de reducción de hospitales.[7] Además de responsabilizarse de la coordinación del vasto programa, proyectó los hospitales del Amor de Dios y del Espíritu Santo, y los dirigió hasta 1602 (Recio Mir 2000a, 50).

Por su formación italiana aportó a la arquitectura andaluza un impulso manierista. De su intervención en el colegio de Monforte, Bonet (2001, 119) le atribuye lo que de ornamentado se encuentra en la iglesia, quizá por el deseo de suntuosidad del Cardenal, y en contraposición con los deseos de austeridad de los jesuitas. Sobre si llegó a dirigir las obras del Colegio y el tiempo que permaneció en Monforte no hay acuerdo.[8]

Nada sabemos de su familiaridad con las técnicas de construcción de bóvedas de piedra. Recio Mir (2000a, 2000b) ha estudiado las técnicas utilizadas en los hospitales que construyó Resta, y en ambos se recurrió a la albañilería. Sin embargo, si se tiene en cuenta que compitió con Alonso de Vandelvira por algunas obras (Cruz Isidoro 2001, 70-71) se puede suponer que su pericia con la obra de cantería estaría a la altura de la de aquel.

2.4.3 Juan de Tolosa

Al igual que Andrés Ruiz, Juan de Tolosa ingresó como jesuita en Salamanca, ejerció de carpintero y ensamblador y trabajó en la colegiata de Villagarcía de Campos. Algunos textos lo han relacionado familiarmente con Pedro de Tolosa, aparejador de El Escorial y autor de las nuevas trazas de la Colegiata,[9] pero Bustamante (1983, 327) niega cualquier parentesco entre ellos.

---

7. La operación de *reducción* consistió en desmantelar los más de cien pequeños centros asistenciales inoperantes y concentrar sus servicios en nuevos hospitales.

8. Pérez Rodríguez (1995, 505) mantiene que no estuvo en los actos de adjudicación de las obras y que no pudo dirigirlas por tener que atender sus cargos en Sevilla. Sin embargo, Rivera Vázquez (1989, 573) da cuenta de un pago que se le hizo por «[...] el tiempo que asistió a esta obra en quince meses». Bonet (2001, 120) le atribuye el trazado de la calle que une el Colegio con el núcleo y varias intervenciones menores en otros edificios de la ciudad, de lo que puede deducirse que tuvo que residir en Monforte al comienzo de la obra.

9. Llaguno ([1829] 1977, 79); Martín González (1957, 35).

Intervino en la iglesia del colegio de Oviedo. En 1591 recibió el encargo del hospital promovido por el banquero Simón Ruiz, en Medina del Campo, para el que dio las trazas, aunque no dirigió las obras (Bustamante 1983, 327). Su diseño introdujo un tipo de hospital novedoso, que se aparta de los esquemas en cruz vigentes en la arquitectura hospitalaria desde los Reyes Católicos.[10] En la iglesia se vuelve a ver la influencia de la colegiata de Villagarcía, que fue un modelo común para los arquitectos del foco de Valladolid, como lo había sido para Andrés Ruíz en la obra del seminario de Segovia.

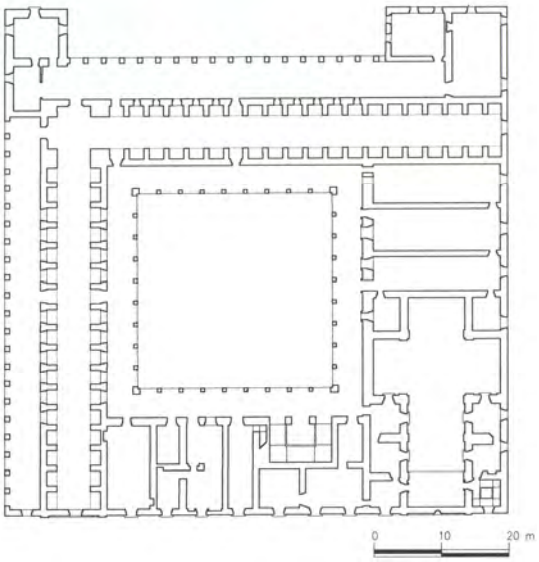

Figura 2.8. Juan de Tolosa: planta del hospital de Simón Ruiz en Medina del Campo (Rivera 1995, 2:909). La planta de la iglesia se reconoce en el ángulo inferior derecho.

Llega a Monforte el mismo año del comienzo de las obras, en 1593, y se incorpora como «maeso de la iglesia del colegio» para la que tiene cortados «los moldes de las basas y pilastras» (Pérez Costanti 1930, 529; citando documentos del archivo del Colegio). En los documentos aparecerán dirigiendo las obras intermitentemente Andrés Ruiz y Juan de Tolosa hasta la muerte del primero en 1996.

A Tolosa de debe una extensa tasación de la obra de 1598 y unas nuevas condiciones para su consecución. Para Bonet (1984, 180) su papel en las modificaciones que se introdujeron en el Colegio debió de ser importante.

10. Sobre esta obra existe una monografía de Navarro García (1998).

Al tiempo que está en Monforte recibe el encargo para la reconstrucción de la iglesia del monasterio cisterciense de Montederramo (Ourense), para la que da trazas y condiciones en 1598, aunque solo para el cuerpo de la nave.[11] En las condiciones propone la construcción de una bóveda con lunetos de cantería con una «faxa y refaxo a lo romano» (Ferro 1971, 183). Lo ejecutado finalmente es una bóveda de crucería simple que se recuerda a una bóveda de cañón con lunetos, posiblemente el resultado de la adaptación de la idea inicial a las reticencias de los cistercienses hacia las soluciones clasicistas (Gómez Martínez 1998, 219).

Figura 2.9. Juan de Tolosa: nave del monasterio de Montederramo (Ourense)

2.4.4 Simón de Monasterio

Es el maestro de cantería que remata el edificio. Probablemente construye o, al menos, acaba la cúpula y la bóveda del presbiterio y comienza el claustro. Como señala Muñoz (2001, 40): «Si tenemos en cuenta que Tolosa, Resta y Ruiz pasaron fugaces por Monforte, resulta que es Simón el principal director del conjunto».

11. El crucero con su cúpula y el presbiterio se deben a Simón de Monasterio (Ferro 1971, 54).

Es de origen cántabro, pero su obra principal se ejecuta en Galicia. Con anterioridad había trabajado en Salamanca a las órdenes de Juan del Ribero Rada (Bonet 2001; Muñoz 2001).

Se hace cargo de las obras de Monforte en 1602. Tras unas paralizaciones, firma el contrato para acabar la iglesia en 1608, lo que cumpliría en 1619. Siguió trabajando en las obras del Colegio hasta 1622, fecha en la que se acabó el dinero y se paralizó de nuevo la obra.

Sus obras más importantes son la girola de la catedral de Ourense y la cabecera del monasterio de Montederramo. Dio las trazas para la nueva iglesia del monasterio de Santa María de Monfero, en la que destaca el orden gigante de su fachada, de influencia palladiana.[12] Otras obras suyas son la iglesia de A Mezquita (Ourense), y el trascoro de la catedral de Lugo, del que se conservan las trazas.

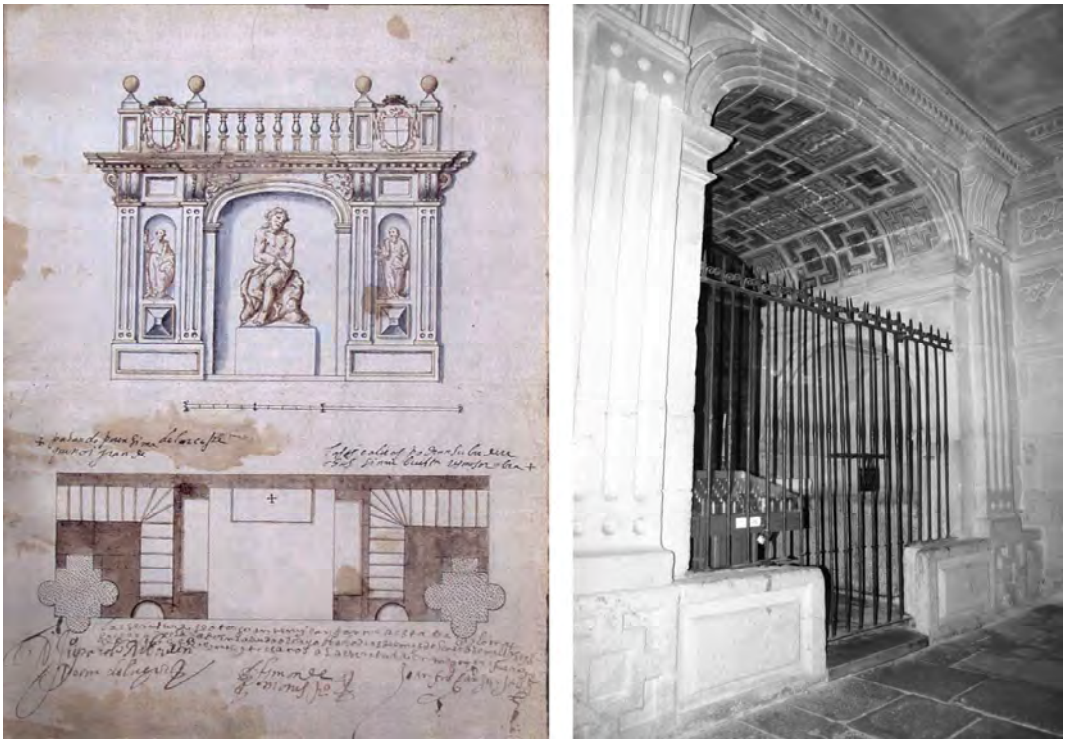

Figura 2.10. Simón de Monasterio: trascoro de la catedral de Lugo. Trazas (Vigo et al. 2003) y estado actual.

12. La influencia palladiana debió de venirle a través de Juan del Ribero Rada, el primer traductor de Palladio (Bustamante 1983, 89).

Según Bonet Correa es «la figura principal del asentamiento de las ideas herrerianas en Galicia» (Bonet 1984). Se sabe que poseía un juego de planos de El Escorial y de otros monumentos romanos: «Laplanta del ecurial y alcados otras estampas delos templos deRoma... guarnecidas enquero...»[13] (Lorenzana 1989, 66). En su biblioteca figuraban dos *vitruvios*, el tratado de Alberti, los libros primero y segundo de Serlio en italiano, y los tercero y cuarto traducidos al castellano, además de obras de ingeniería y matemáticas (Goy 1996, 162-163).

Su reputación como constructor de bóvedas le valió una recomendación de los jesuitas para la construcción de la Clerecía de Salamanca. Allí trabajó al principio de la obra, entre 1618 y 1620 (Rivera Vázquez 1989, 577; Muñoz 2001, 35). Cuando murió, en 1622, donó todos sus bienes al Colegio de Monforte y pidió ser enterrado en su iglesia.

2.5 Otros artífices

Además de Ruiz, Resta, Tolosa y Monasterio, otros nombres aparecen ligados a la construcción del Colegio en su primera etapa.

Juan de Cajigas

Constructor de la iglesia desde la subasta (1592). Natural de la merindad de Trasmiera. Construye dos tercios de la iglesia (Bonet 1984, 179n9; 181).

Diego de Isla

Constructor de las escuelas y casa (1592). Natural de Vizcaya. En 1577 es aparejador del monasterio de San Esteban de Ribas de Sil (Ourense) en el que construye un claustro. Fue despedido por no atender suficientemente la obra del Colegio por estar en Ribas de Sil (Bonet 1984, 179n9, 180).

Macías Álvarez

Constructor de las escuelas y casa (1592). Vecino de Ourense desde 1578. Trabajó en el convento de San Francisco de Ourense (Bonet 1984, 179n9).

13. La cita parece referirse a las estampas de Perret y al Libro Tercero de Serlio.

Gonzalo Fatón

Constructor de las escuelas y casa (1592). Maestro de Oseira en 1589 (Pérez Costanti 1930, 165).

Gregorio Fatón

Constructor de las escuelas y casa (1592). Constructor de iglesias rurales en Ourense desde 1574. Trabajó en el palacio arzobispal de Ourense, en el monasterio de San Vicente del Pino de Monforte (1600) y en monasterio de Melón, bajo las órdenes de Simón de Monasterio y de Pedro de la Sierra (maestro de Montederramo). Fue padre de Jácome Fatón, quién acabó las obras de Melón (Bonet 1984, 179n9, Pérez Costanti 1930, 165).

Diego Vélez

Constructor de la iglesia tras la muerte de Cajigas (1598). Trasmerano. Maestro de obras de la catedral de Oviedo (Llaguno y Ceán-Bermúdez [1829] 1977, 3:37). Muere hacia 1600 sin acabar la iglesia (Bonet 1984, 181).

Gonzalo de Güemes

Constructor de la iglesia junto a Diego Vélez tras la muerte de Cajigas (1598). Trasmerano. Construyó parte de la Universidad de Oviedo (Bonet 1984, 181n14).

Juan de Nates

Es contratado para acabar la iglesia en 1600, tras la muerte de Diego Vélez, pero se cree que no llegó a trabajar en Monforte (Bonet 1984, 181-182). Es el arquitecto de la iglesia de las Angustias de Valladolid.

Juan de Bustamante

Es nombrado maestro mayor en 1600. Pita (1552, 50) se pregunta si tendría relación con Bartolomé de Bustamante, autor del hospital de Tavera y al que se atribuye el convento jesuita de Sevilla.

Juan de la Sierra

Trabaja en la ampliación de la fachada. Fue el maestro de Montederramo antes de Juan de Tolosa (Bonet 1984, 180). Es santanderino (Chamoso 1947, 255).

Pedro de Morlote

Trabaja para Juan de la Sierra en la ampliación de la fachada. Es natural de Laredo (Santander) (Bonet 1984, 180n12).

2.6 Incidencias de la construcción

La obra sufrió paralizaciones y sobresaltos desde el primer momento. Pleitos legales, dificultades económicas, epidemias, asaltos, incendios, terremotos... Las obras avanzaron con dificultad. La iglesia pudo consagrarse en 1619, pero la casa de los jesuitas y las escuelas quedaron sin acabar y estuvieron en varias ocasiones al borde de la ruina. Hubo que esperar al siglo XX para ver finalizado el edificio. Entre 1919 y 1930 se terminó el claustro principal y otras dependencias que habían quedado sin concluir. La actuación más llamativa fue la que completó la fachada derecha, donde solo se habían construido los sótanos. Todos los documentos anteriores muestran al Colegio sin esa larga ala (ver figura 2.1). Una maqueta de 1906 da testimonio del estado del Colegio en ese momento.

Figura 2.11. Maqueta del colegio del Cardenal ejecutada por el artesano Amador López en 1906. La maqueta se encuentra en el vestíbulo de la casa consistorial de Monforte.

En el archivo Loty[14] se conserva una fotografía tomada alrededor de 1930 con la obra recién acabada. Se aprecia el color de la piedra nueva en la mitad derecha de la fachada lateral, (la parte recién añadida en los años 20 y que no aparece en la maqueta de Amador López ni en el plano de Coello [figura 2.1]), y alrededor de los huecos, que se sabe que se alteraron.

Figura 2.12. Fotografía del Colegio poco después de acabadas las obras (archivo Loty ca. 1930). Se aprecia la piedra nueva en la mitad derecha de la fachada y alrededor de los huecos.

La obra pudo acabarse gracias al descubrimiento de la autoría de uno de los cuadros de la colección del Colegio, *La Adoración de los Reyes*, del pintor flamenco Hugo van der Goes. El gobierno alemán ofreció una importante suma y tras una fuerte polémica, el cuadro, finalmente se vendió. Una buena copia, que fue parte del precio, se exhibe en una de las capillas laterales de la iglesia. El dinero conseguido con la venta se invirtió en las obras finales.

14. El archivo Loty fue creado con el fin de elaborar postales de lugares pintorescos de España. La idea partió de la editora Concepción López y del representante de papeles fotográficos Charles Alberty Jeanneret. Las fotografías se deben al portugués António Passaporte. Fueron tomadas entre 1927 y 1936 (Instituto del Patrimonio Cultural de España. http://ipce.mcu.es/documentacion/fototeca/fondos/loty.html).

Las distintas incidencias, incluyendo las fuentes que las relatan, se han ordenado cronológicamente en la tabla 2.1. Por su relación con la construcción de las bóvedas cabe destacar de entre ellas:

- Ampliación de las fachadas en 1594. Se remodeló la mitad derecha del edificio lo que afecto al claustro, sótanos y a la situación de la escalera.
- Suspensión de las obras en 1622 por falta de fondos.
- Construcción de la sacristía, iniciada en 1699 y de autor desconocido.
- Terremoto de Lisboa de 1755 y otro posterior de 1778 que dañaron las fábricas.
- Reparaciones en la cúpula y linterna en 1786, c. 1800, 1841 y 1923.
- Proyecto de finalización del edificio de 1915 y obras posteriores.[15]
- Refuerzo estructural de la escalera de 1997.[16]

Tabla 2.1. Incidencias de la construcción del edificio del Colegio

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
24-04-1592	Poder del Cardenal para que se contrate la obra y se compren los materiales	Pérez Rodríguez 1995, 501	
1-10-1592 2-10-1592	Subasta de la obra Documento de *Condiciones para la construcción del Colegio*	Cotarelo 1945-1946, 1:302ss. Bonet 1984, 178-179 Cotarelo 1945-1946, 2: 264-292 (transcripción documentos)	Iglesia: Juan de las Cajigas Casa y Escuelas: Diego de Isla, Macías Álvarez y Gregorio Fatón que asoció a Gonzalo Fatón
1-04-1593	Comienzo de la obra. Replanteo y comienzo de la apertura de cimientos	Arch. Colegio, leg. 2 núm. 3 en Cotarelo 1945, 310 Bonet 1984, 179 Martínez González 2000, 22	Dirección de Andrés Ruiz
Abril 1593	Los hermanos Diego y Julián de Isla no compadecen aduciendo la abundancia de lluvias. Son obligados a compensar los perjuicios.	Martínez González 2000, 22	Son condenados a satisfacer 5 reales diarios
10-04-1593	Juan de las Suertes, aparejador de Juan de las Cajigas expone tener los cimientos abiertos, materiales, oficiales, asentadores y sirvientes suficientes para continuar las obras, pero que están paralizadas por no estar presente el diputado del Cardenal para la inspección	Pérez Rodríguez 1995, 508; no cita la fuente	
12-04-1593	Juan de Morlote es elegido para que visite la obra e informe de su estado: encuentra deficiencias	Pérez Rodríguez 1995, 508-509; no cita la fuente	Manda ahondar más los cimientos y corregir defectos de la cal

15. Su contenido se comenta en 2.7.
16. Su contenido se comenta en 7.4.1.b

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
Mayo 1593	Juan de Tolosa es «maestro mayor, vistor y sobrestante»	Arch. Colegio, leg. 2 núms. 1, 4 y 5, en Cotarelo 1945, 299 Cotarelo 1945, 310 Bonet 1984, 179 Pérez Rodríguez 1995, 509, sin fuente	También aparece con el mismo cargo en 1598. Se comunica a los obreros el 3 y 4 de mayo.
Mayo 1593	Tolosa reconoce la cimentación construida	Pérez Costanti 1930, 529 Cotarelo 1945,310 Bonet 1984, 179-180	Indica 8 pies y medio de alto hasta llegar a la raíz de la tierra en la iglesia y de ancho 5 pies y medio
4-05-1593	Comienzan a construirse las paredes de sillería labrada bajo la dirección de Tolosa	Cotarelo 1945, 310	
Mayo 1593	Juan de las Cajigas empieza a labrar la iglesia por la fachada principal	Cotarelo 1945, 310	
8-07-1593	Juan de las Cajigas es requerido para acelerar las obras.	Arch. Colegio, leg. 2 núm. 1 en Cotarelo 1945, 311	Respondió que «estaba pronto dándole los moldes cortados y monteados para labrar las basas y otras cosas tocantes a la obra». Tolosa respondió que ya los tenía y que «y se le entregaron hoy dia». En Pérez Rodríguez aparece la fecha del 8 de mayo en que Tolosa ya tiene los moldes de las basas y pilastras de la iglesia cortados, faltan los pilares cantones que hace ese mismo día.
11-07-1593	El Cardenal firma la escritura de fundación del Colegio	Cotarelo 1945-1946, 1:314 ss.	La firma tiene lugar varios meses después de haberse empezado la obra
Julio-agosto 1594	El Cardenal visita las obras. Manda agregar dos alas de 26 pies a ambos lados de la fachada después de comentarlo con Andrés Ruiz. Andrés Ruiz vuelve a ser director de la obra.	Cotarelo 1945-1946, 1:320 ss. Bonet 1984, 180	
11-06-1594	Convenio con Pedro de Morlote y Juan de (la) Sierra para construir las adiciones	Arch. Colegio leg. 2 núm. 6 en Cotarelo 1945, 323 Lorenzana 1989, 61 Pérez Rodríguez 1995, 510 Martínez González 2000,23	La fecha tiene que estar equivocada, pues es anterior a la llegada del Cardenal a Monforte. En Lorenzana está igual. Quizá la decisión se tomó antes de que llegara el Cardenal. Martínez González dice que Andrés Ruiz modificó el plano primitivo con la anuencia del Cardenal. Cita que eran 33 las condiciones y transcribe la 8ª referente a la lonja de la delantera.
11-06-1594	El contrato contiene 33 condiciones	Pérez Rodríguez 1995, 510	
Entre 1594 y 1603	Construcción de la escalera principal, posiblemente por Pedro de Marlote y Juan de la Sierra	Martínez González 2000, 100	La autoría no está clara
11-09-1595	Andrés Ruiz excluye de la obra a Diego de Isla por su comportamiento: -no cumplir el nº de asentadores -defectos en cimientos y paredes -errores en dosificación de la cal -carácter revoltoso y rencoroso	Arch. Colegio leg. 2, núm. 1 en Martínez González 2000, 22 Cotarelo 1945, 346 Lorenzana 1989, 61	Gana un pleito en la Audiencia de Monforte y en Ourense el 11-09-1595. Pérez Rodríguez dice que el pleito es contra los 3: Isla y los Fatones. Pérez Rodríguez asocia la exclusión de Diego de Isla junto con los Fatones de la fachada, que remata a precio más bajo en los maestros que habían contratado las ampliaciones.

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
1595?	Se firma nuevo contrato con Gregorio y Gonzalo Fatón	Arch. Colegio leg. 2 núm.4 en Cotarelo 1945, 346 Lorenzana 1989, 61	Se introducen modificaciones en las condiciones
1595?	Muere Juan de las Cajigas y se paralizan los trabajos de la iglesia	Cotarelo 1945, 346	
25-03-1598	Gonzalo y Gregorio Fatón solicitan la medición y tasación de lo obrado	Cotarelo 1945, 347	Cotarelo dice 15 de mayo, lo que es incoherente por ser posterior a la tasación. En el documento queda claro que es el 25 de marzo.
20-04-1598	Documento de tasación de la obra por Juan de Tolosa	Arch. Colegio leg. 2 núm. 5 en Cotarelo 1946 apéndice XXIII. Cotarelo 1945, 347	En el documento del 20 de abril se hace referencia al del 15 de marzo de solicitud de la tasación por los Fatones y al 13 de abril de aceptación de Juan de Tolosa como tasador.
20-04-1598	Estado de la obra en la tasación: -cimientos de toda la casa -casi toda la planta baja -mucha parte del 1º piso -escalera principal empezada -uno de los patios empezado -2 bóvedas de 17 y 22 pies de ancho y 261 pies de largo		
5-05-1598	Contrato de la iglesia a Diego Vélez y Gonzalo de Güemes	Arch. Colegio leg. 2 núm. 5 en Cotarelo 1945, 349 Pérez Rodríguez 1995, 516 indica que se tiene un conocimiento fragmentario de ese documento perdido y cita a Pérez Costanti 1930, 593 *Diccionario de artistas…* Martínez González 2000, 23	Rivera Vázquez 1989 indica que se añaden nuevas condiciones inspiradas por Juan de Tolosa. En Pérez Rodríguez 1995, 516.
1598	Paralización de las obras por epidemia de peste	Martínez González 2000, 26 Pérez Rodríguez 1995, 516	Martínez dice que entre los jesuitas muertos no aparece mencionado Juan de Tolosa. Pérez Rodríguez mantiene que fue una de las víctimas.
1599	Bartolomé Martínez sucede a Tolosa tras su muerte como «vistor y sobrestante»	Arch. Colegio leg. 2 núm. 9 f. 11 en Pérez Rodríguez 1995, 516-517	Es jesuita
1600	Juan de Bustamante es «maestro mayor de las obras de Monforte»	Pérez Costanti 1930, 448 según Cotarelo 1945, 300 Martínez González 2000, 26 Pérez Rodríguez 1995, 517	Pérez Rodríguez lo llama Juan Fernández Bustamante
1600	Diego Vélez había fallecido	Pérez Rodríguez 1995, 517	
18-09-1600	Don Rodrigo muere en Sevilla.	Martínez González 2000, 12 Pérez Rodríguez 1995, 516	
13-12-1600	Juan de Bustamante pide a Juan de Nates que se haga cargo de la obra de la iglesia	Pérez Rodríguez 1996, 517 Archivo Histórico Provincial de Valladolid Leg. 771, f. 2161 en Bustamante García 1983, 354 Bonet 1984, 181-182	Acepta que se encargará de la «tercia» parte de la iglesia con las mismas condiciones que tenía Diego Vélez y otorga poder al padre Bustamante. Cotarelo no nombra a Juan de Nates
1600	Juan de Nates no estuvo en Monforte	Pérez Rodríguez 1995, 518 Bustamante 1983, 268 Bonet Correa 1984, 182	
1600	Estado del Colegio según las «annuas» de 1600: -las obras de la iglesia progresan para acabar pronto el mausoleo del cardenal -el Colegio alcanza una altura de 5 hombres -se está cubriendo el tejado de la parte de las escuelas	Rivera Vázquez 1989, 575 (en Pérez Rodríguez 1995, 518)	
ca. 1600	Paralización de las obras pleitos entre los testamentarios	Martínez González 2000, 26 Pérez Martínez 1995, 517 Cotarelo 1946, 124 Pita Andrade 1952, 48	Cotarelo indica que la paralización duró casi 7 años. Pita Andrade cita la paralización de 7 años pero no indica la causa.

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
1601	Maestro mayor el hermano Juan de Bustamante	C.P.M.O. 1r Arch. Colegio en Lorenzana 1989, 64	
1603	Falta por edificar el presbiterio	Pérez Rodríguez 1995, 518	Porque llegan los restos del cardenal y no se pueden depositar en el lugar previsto del lado del evangelio
1603	Presentación del estado económico del Colegio	Rivera Vázquez 1989,291	
Junio 1603	Presentación del estado temporal del Colegio: -escuelas con patio prácticamente acabadas -casa colegio va despacio -iglesia llega a la cornisa	Pérez Rodríguez 1995, 518-519	Rivera solo habla del estado económico. Entiendo que seguiría la descripción de las obras que es lo que recoge Pérez Rodríguez.
1604	Está acabada por lo menos una capilla hornacina	Pérez Rodríguez 1995, 519	
14-04-1608	Se contrata a Simón de Monasterio para que acabe la iglesia	Arch. Colegio leg. 2 núm. 7 en Martínez González 2000, 26 Id en Cotarelo 1946, 124 Pérez Rodríguez 1995, 519 Rivera Vázquez 1989, 576	Se le contrata lo mismo que a Juan de Nates (la «tercia» parte de la iglesia), prueba de que este no estuvo en Monforte.
3-09-1608	Simón de Monasterio es maestro de la obra de la iglesia	C.P.S.M. 1r Arch. Colegio en Lorenzana 1989, 64	
1609	Contrato con Alonso de San Martín y Pedro Rodríguez Mundín para arrancar y desbastar dovelas	Pérez Rodríguez 1995, 520	
ca. 1610	Se están ejecutando parte de las bóvedas de la iglesia	Pérez Rodríguez 1995, 520	
1613	Está construida la cúpula y una torre, y otra a punto de rematarse	Rivera Vázquez 1989, 576 (en Pérez Rodríguez 1995, 520)	Cita la referencia de un manuscrito nº 163 de la U. de Salamanca
4-08-1619	Se consagra la iglesia	Martínez González 2000, 26-27 (solo da el año) Pérez Rodríguez 1995, 521	
15-06-1620	Se estipula la cantidad que se pagará a Simón de Monasterio por el remate de la iglesia	C.C.S.M. 1r Arch. Colegio en Lorenzana 1989, 65 Arch. Colegio leg. 2 núm. 10 en Cotarelo 1946, 129	Lorenzana data el documento el 5-06-1620
15-06-1920	En otra escritura se obliga a Monasterio «para la obra del cuarto de la delantera». La escritura se anula por otra.	Cotarelo 1946, 129-130	
junio 1620	Contrato con Simón de Monasterio para proseguir la obra de la Casa. Lo simultanea con la girola de Ourense.	Rivera Vázquez 1989, 576 (cita a Leirós: *El Deambulatorio de la catedral de Ourense*)	
1620	Paralización definitiva de las obras por quiebra de «acienda y juros en que se empleó la dicha hacienda del señor Cardenal»	Martínez González 2000,29 (fecha contradictoria con Rivera Vázquez 1989, 576)	
1620	Estado del Colegio tras la paralización	Martínez González 2000,29	-iglesia acabada -claustro principal panda de la fachada principal y la de la iglesia, con los arcos cegados. La NE solo pilastras y la NO ni los cimientos. -claustro de las escuelas completo en planta baja. En alta solo la de la iglesia y de la fachada principal con arcos cerrados y pequeñas ventanas. -fachada ppal. Acabada excepto pequeño trozo extremo superior ala izda. -fachada noreste construido todo el primer piso y del segundo solo la mitad.
noviembre 1622	Se suspende la obra por acabarse los fondos. Acuerdo generoso entre Monasterio y el Rector de la Compañía.	Rivera Vázquez 1989, 576	Contradicción con la fecha de Martínez González (1629)

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
agosto-1624	Muere Simón de Monasterio	Rivera Vázquez 1989, 576 Pita Andrade 1952, 52 (año, no mes)	
23-10-1624	Simón de Monasterio posee plantas y alzados de El Escorial y dibujos de algunos templos de Roma	T.S.M. 21r Arch. Colegio en Lorenzana 1989, 66	«Laplanta del ecurial y alcados otras estampas delos templos deRoma… guarnecidas enquero…»
1648	Se dispone dinero para la ornamentación de la sacristía	T.C. 16r/22r Arch. Convento de Santa Clara en Lorenzana 1989, 72	
1648	Se amplían algunas habitaciones en la casa		
1672	Incendio del palacio de los Condes de Lemos en Monforte, en cuyo interior se hallaba el archivo	I.A.M. f. 1; 5r Arch. Palacio de Liria. Madrid en Lorenzana 1989, 80. Pardo de Guevara 2001, 12n1.	Es posible que la pérdida de las trazas originales se produjese en este incendio
1699	Comienza a construirse la sacristía	Martínez González 2000,29. No cita la fuente.	Costó 85 694 reales
1700-1705	Se termina la sacristía nueva según las Annuas de 1700-1705	Rivera Vázquez 1989, 581	según las Annuas: «que responde a la insigne arquitectura del conjunto» y «con cinco bellos arcos y paredes de sillería y delante, una artística fuente para uso de los sacerdotes». Costó 10 000 ducados (contradicción con dato de Martínez González).
1740	Ampliación de parte de la Comunidad	Rivera Vázquez 1989, 581	Cita las Annuas de ese año
1755	Terremoto de Lisboa: -cuartea la torre del reloj -grieta testero del presbiterio	Cotarelo 1946, 135	
1755	Terremoto de Lisboa: -removió la cúpula -desprendió un ala a dos ángeles de las pechinas -grietas en el testero del presbiterio -grieta en el arco sobre el presbiterio	Martínez González 2000, 27	
1-08-1765	Contrato para reparar la torre del reloj con el arquitecto (o maestro) Ignacio Estévez, de Cotovade	Cotarelo 1946, 135. Rivera Vázquez p.581 (dice que era natural de Cospedriños).	Se compromete a reedificar el último cuerpo de la torre y alguna otra reparación menor. Rivera cita a Couselo Bouzas: *Galicia artística en el siglo XVIII*, 285.
2-04-1767	Decreto de expulsión de los jesuitas	Cotarelo, 1946, 155	
4-04-1767	Expulsión de los jesuitas del Colegio	Cotarelo 1946, 156 Martínez González 2000, 35	
1767	Estado en el momento de la expulsión: rematadas iglesia y sacristía, dos lados del claustro principal dos lados del de las Escuelas	Rivera p.581	
1767?	Se borran los símbolos de los jesuitas en las dos puertas principales de la fachada, parte superior interna de las puertas que comunican iglesia y claustros y de cuatro claves de las bóvedas del claustro	Martínez González 2000, 36	No se hizo en la fachada principal por presión del pueblo
30-06-1770	Inventario de los bienes del Colegio. La torre del reloj tiene ocho campanas.	Arch. Colegio: Fundación y Dotación del Colegio en Cotarelo 1046, 167. Cotarelo 1946, 152. Rivera p.582 (Las campanas: 5 abajo para templo y 3 arriba para reloj).	
1778	Otro terremoto	Cotarelo 1946,135	Duda si la grieta fue por el de Lisboa o por este
1786	Reparación de la cúpula	Martínez González 2000, 48; 104	

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
1793	José Arnés, capellán mayor de las clarisas redacta un informe sobre el estado del colegio a petición del XVI conde de Lemos, Jacobo Fitz-James Stuart y Stolberg	Martínez González 2000, 42	El documento está en el Archivo del Colegio desde 1930. Antes estuvo en mano de particulares.
ca.1800	Reparación de daños del terremoto, sobre todo en la cúpula	Martínez González 2000, 43	
1808	Se paga a unos arquitectos que inspeccionaron el seminario del Colegio para ver que reparaciones necesitaba. Manuel González y Pedro Parada.	A.S.M. Arch. Colegio en Lorenzana 1989, 95	
1809	Invasiones francesas de Monforte 18-enero, 20-abril y 4 al 11-junio	Martínez González 2000, 45	
Septiembre-1824	Gran incendio con daño graves y pérdida de documentos importantes	Martínez González 2000, 46	
1825-1826	Obras de reparación y reforma	Martínez González 2000, 47	
1834	Enlosado de los claustros del patio de las escuelas	Martínez González 2000, 48	
1835	Construcción de un dormitorio de internos con entrada por la puerta que está a medio nivel en la escalera principal. Se modifica el pasadizo que comunica los dos patios por detrás de la iglesia, haciéndolo más estrecho. Los retretes se trasladan al espacio sobre la antesacristía.	Martínez González 2000, 48	
1836	Se construye un segundo dormitorio encima del primero	Martínez González 2000, 48	
1841	Reparación de la linterna	Martínez González 2000, 49; 104	Dice: «se reparó el cupulín o lucernario de la iglesia». En la p. 104 dice que se reparó el «cupulín».
Septiembre-1873	Los Escolapios se instalan en el Colegio	Martínez González 2000, 53	
ca.1900	Estado de casi ruina	Martínez González 2000, 62	
ca. 1900	Descripción de «un escritor»: -bóvedas vencidas -muros desnivelados -techumbre a punto de desplomarse -un patio en ruinas -otro sin acabar	Cotarelo 1946, 202	
25-05-1910	Venta del cuadro de Van der Goes al gobierno alemán	Martínez González 2000, 63	1 180 000 francos suizos = 1 262 000 pesetas más una copia. Está en el Kaiser Freidrich Museum de Berlín. Se entregó el 13-12-1913. El 28-12-1920 llegó la copia.
1914	El cuadro de Van der Goes abandona Monforte	Pita Andrade 1952, 54	
1915	El duque de Alba encarga al arquitecto de la Casa de Alba Francisco Pérez de los Cobos una memoria-proyecto de las obras necesarias. La presenta el mismo año.	Martínez González 2000, 64	El administrador de la Casa de Alba lo presentó al Ministerio (¿de Instrucción Pública?) para su aprobación
26-10-1917	Real Orden por la que se autoriza al patronato a realizar las obras	Martínez González 2000, 65	
12-09-1918	Comienzan las obras de desescombro y derribo de lo ruinoso.	Martínez González 2000, 65	Duran hasta el 8-01-1919

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
1919	Se comienzan las obras bajo la dirección de Francisco Pérez de los Cobos, arquitecto de la casa de Alba: -se remata el patio oriental -se termina la fachada oriental -se arreglan las obras -se deshacen los piso subsidiarios -se mejora la división de las plantas -se renueva parte de la cubierta	Cotarelo 1946, 211-212. Martínez González 2000, 65.	Martínez González da la fecha exacta: 8-01-1919. Incluye además: -enlosado de los patios -cambio de sitio del brocal del pozo -finalización de la fachada NE -en esta, modificación de los pisos para darles mayor altura. (en la planta baja hay doble fila de ventanas) -se levantó otro piso encima de la antigua sacristía -nueva escalera desde el vestíbulo de la sala de estudio hasta el último piso -nueva escalera para acceder a la terraza de la derecha, desde donde acaba la escalera ppal. -se terminó el extremo superior del ala izda.
1919-1926	Se construye lo que faltaba del claustro principal	Martínez González 2000, 103	
1923	Reparaciones en cúpula y linterna	Martínez González 2000,27	Como consecuencia se volvió a consagrar el 15-04-1923. No sabemos si estaba incluido en las obras de Pérez de los Cobos.
1930	Se construye la lonja o terraza en el frente del colegio	Martínez González 2000, 68	Se destruyó el 14-05-1931 por personas que no estaban de acuerdo
Abril 1942	El apoderado general de la Casa de Alba, en nombre del Patronato, solicita permiso al Ministerio para terminar el claustro de las escuelas y otras obras	Martínez González 2000, 80	El Ministerio envió a Alejandro Bermúdez para tomar datos e informar. El informe fue favorable.
c. 1942	El arquitecto de la Casa de Alba Antonio Ferreras redactó el proyecto	Martínez González 2000, 80	Se ejecutaron entre 1946 y 1952. Fueron contratadas y dirigidas por Manuel Hermida, delegado del Duque de Alba en Monforte.
1943	Se instala el museo en la antigua sacristía	Martínez González 2000, 81	
1959	Petición de ayuda para reparaciones importantes en el Colegio: -tejados inservibles -pisos apolillados -ventanas podridas -necesidad de modernizar todo	C.R.M.al O.L. 1r/v Arch. Diocesano de Lugo	
Entre 1964-1970	Adecentamiento de los sótanos de la parte izda., que eran cuadras	Martínez González 2000, 80	
18-12-1983	Un rayo destroza todos los ventanales de la cúpula y el lucernario	Martínez González 2000, 27	
1985-1986	Proyecto del arquitecto Carlos Meijide: limpieza de la cúpula y colocación de nuevos ventanales	Martínez González 2000, 130n13	El proyecto de restauración es de 1985. Se rellenaron las grietas de la cúpula con silicona y mortero.
5-03-1987	El Patronato firma un contrato con el Ayuntamiento por el cual se cede parte de la huerta (15 000 m^2) a cambio del arreglo de los tejados	Martínez González 2000, 84	Lo ejecuta la empresa Indeza entre julio de 1988 y mayo de 1989

FECHA	HECHO	FUENTE	Comentario
1990	Informe de Mario Crecente Maseda, arquitecto de la Delegación de Cultura		
1991-1993	Instrumentación e informe de daños [17]	Informe sobre los estudios preliminares a la restauración del Colegio del Cardenal Monforte de Lemos (Lugo)	Empresa Euroconsult CEBTP
1997	Proyecto para la restauración de la escalera principal	Martínez González 2000, 126	Empresa Tecnocontrolli, consultor G. Crocci
1998	Ejecución de la restauración de la escalera principal		Empresa Resconsa
1999	Cesión de parte de la huerta al ayuntamiento a cambio de las obras de adecuación del centro		
2000	Proyecto de acondicionamiento de la escalera		Proyecto de Meijide Calvo y Meijide Tomás

2.7 Proyecto de Pérez de los Cobos en 1915

Merece la pena detenerse en el contenido de este proyecto por su trascendencia en el aspecto que el edificio presenta en la actualidad. Su memoria se conserva en el archivo del Colegio.

Tras la venta del cuadro de Hugo van der Goes, el duque de Alba[18] encargó al arquitecto de la Casa de Alba, Francisco Pérez de los Cobos, la redacción de un informe y proyecto sobre el estado del Colegio y las obras que necesitaba.

En 1915 Pérez de los Cobos presenta su Proyecto de Conservación, Reforma y Ampliación. Fue aprobado por el Ministerio en octubre de 1917; las obras comenzaron en septiembre de 1918 y se prolongaron hasta 1930. El presupuesto estimado en el proyecto oscilaba entre 400 000 y 500 000 pesetas (Martínez González 2000, 64-65).

La memoria del proyecto comienza con la descripción del estado del edificio y una reflexión sobre la posible intención de sus autores. A continuación describe las obras que se iban a ejecutar. En la memoria se hace referencia reiterada a fotografías y planos que completarían el proyecto y que no se han podido localizar. Tampoco consta la existencia de ningún otro documento sobre la obra.

17. Su contenido se comenta en 7.4.1.a.

18. El patronazgo del Colegio, que ejercían los sucesivos condes de Lemos, pasó a la Casa de Alba al extinguirse su linaje en 1777.

Las partes del proyecto que nos interesan para el estudio de las bóvedas se resumen a continuación:

RESPECTO A LA DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DEL EDIFICIO

- Atribuye la autoría del proyecto, erróneamente, a Juan de Herrera.
- La cubierta de la iglesia es de madera. La de las capillas de la iglesia son prolongación de las de los claustros, permitiendo la iluminación de la nave a través de los lunetos. [Actualmente están cegados los lunetos del lado D].
- El claustro principal está construido en dos de sus lados. Las arquerías están cegadas en planta baja, iluminándose con ojos de buey. Está cubierto con bóvedas «de gran lujo». En uno de los lados que falta por construir están hechos los pilares y los arranques de los arcos. El patio se encuentra sin pavimentar.
- Solo está abovedada la parte NE [D] de los sótanos, dedicada a bodega.
- Los muros son de mampostería ordinaria al descubierto en fachadas, con el recercado de los huecos y las esquinas de sillería. Fachada principal, iglesia, claustros, sacristía y parte superior de la fachada D son de sillería.
- «Toda la parte de la bodega y la escalera principal tiene bóvedas en lugar de pisos de madera y también tiene bóvedas de sillería la iglesia, el coro, la sacristía y la antesacristía».
- Describe la sacristía como «sala de piedra abovedada de pretensiones» y la antesacristía como «otra de paso cubierta [...] con bóveda de piedra completamente ruinosa». Atribuye la causa de su estado a haberle retirado los contrafuertes exteriores (hoy los tiene). Indica que se desmontará por completo.[19] Encima de la sacristía hay «desvanes perdidos [...] pues tiene mucha altura» y sobre la antesacristía, retretes en mal estado.

19. Hermida Balado (1969, 223-224) relata cómo se demolió esta bóveda, que él describe como «punto menos que plana». Existía el peligro de que su demolición dañase la bóveda del piso inferior. «Cuando los arquitectos buscaban sistema técnico que resolviese la difícil cuestión, intervino un peón de otras obras que se efectuaban en el colegio: "Si me dejan —vino a decir— relleno todo esto de tojo bien apretado, levanto la piedra de la clave y las demás caerán suavemente sobre el tojo." La idea fue muy celebrada y se puso felizmente en práctica».

Figura 2.13. Restos de la bóveda de la antesacristía

- Pisos de madera. La sacristía y antesacristía « y algunas habitaciones más» llevan losas de piedra sobre los pisos de madera, pero están cayéndose por no poder con el peso de la losa. En la crujía de fachada de la izquierda los pavimentos son de morrillo.

- Esa crujía (la D) tiene una gran longitud solo en planta y sótano y los anchos de las crujías son diferentes de los del tramo que discurre al lado del claustro.

- Hace constar el mal estado del muro de la escalera principal en toda su altura: «[...] convendrá reforzarlo con hierro para asegurar toda la esquina». La escalera está en buen estado. Tiene movimientos en los huecos y faltan bastantes balaústres. Conviene atirantar la galería superior que está algo desplomada. Se ven movimientos sobre el «arco de la escalera» [debe de referirse al carpanel del zaguán].

- «La fachada posterior, o sea la N. O. [C], tiene un movimiento de separación por empuje de las bóvedas que se notan por grietas interiores (fotografía 10 y 18) que hoy está evitado con los contrafuertes exteriores fotografía 3)».[20]

- Describe la grieta de la parte posterior de la iglesia en toda su altura. Valora que «aunque no es de gran cuidado por su dirección conviene cerrar con hierro [...]». Indica que «toda la parte de la izquierda tiene la pared completamente desplomada con desplome de mucha importancia que conviene contrarrestar de alguna manera y que se señala por grandes grietas interiores». No está claro a qué parte se refiere. Posiblemente a la antesacristía, que está situada a la izquierda de la sacristía.

20. No se han podido localizar estas fotografías, que constituirían un documento de excepcional interés para el análisis de la evolución de los problemas estructurales de estas bóvedas.

- En el interior de la iglesia describe movimientos en los arcos de la izquierda de la nave; la bóveda «tiene marcado el movimiento de abrirse que indudablemente fue asiento de construcción».

- La cúpula tiene cuatro grietas radiales «de mala naturaleza», al igual que las de tres de los arcos torales, especialmente el de la nave principal y, siguiéndole, el del altar mayor.

- La bóveda del presbiterio «tiene dovelas bastante movidas».

- Recoge el testimonio de que todos esos movimientos «han estado siempre» y prescribe su consolidación con hierro por debajo de las cubiertas «poniendo un cincho en la cúpula para impedir que sigan sus movimientos, que como los del edificio no cabe duda que son debidos a no haberse esmerado mucho con la cimentación».»

RESPECTO A LA IDEA GENERAL

- Intenta deducir la idea general de los autores del proyecto a partir de lo construido, después de conjeturar que no parece que fuese intencionado el aspecto escalonado de la fachada posterior.[21]

- Establece sobre un plano [que no se ha encontrado] las distintas posibilidades.

- Concluye que «no nos debemos preocupar en absoluto del trazado general que no ha debido haber [...]».

RESPECTO A LA PROPUESTA DE OBRAS

- Se completará la fachada NE [D] en toda su altura y modificar las alturas de los pisos en esta parte.

- Se completará el claustro principal. Lamentablemente no se incluye ninguna otra indicación sobre la forma de hacerlo.

- Se completarán algunas partes de la fachada principal.

- Se construirá un piso sobre la sacristía.

- Se sustituirán los pisos de madera por forjados de viguetas metálicas y bovedillas de rasilla.

El proyecto se extiende en la descripción pormenorizada en el resto de las obras, orientadas al mejor acondicionamiento del edificio para su uso como centro de enseñanza e internado.

---

21. «¿Pensaba dejar el edificio por la parte posterior con el escalonado de la planta que hoy se observa? Es decir sin forma ninguna [...] = ¿Cual [sic] fue la idea del autor? [...] = La verdad no damos con ello» (Pérez de los Cobos 1915, bajo «Plan o idea general»).

Debe resaltarse el hecho de que la ejecución de este proyecto comprendió la construcción de once bóvedas de arista totalmente nuevas. Son las que conforman las pandas C y D del claustro principal, que se labraron según el modelo de las construidas por Simón de Monasterio trescientos años antes. Por la fecha de su ejecución (década de 1920) es posible que se trate de las últimas bóvedas de cantería construidas en España. Sería de un gran interés encontrar alguna documentación sobre su construcción, lo que consta que no se ha investigado todavía.

CAPÍTULO 3
CONSIDERACIONES GENERALES

En este capítulo se exponen las bases teóricas, los métodos utilizados y las consideraciones generales que afectan al conjunto de las bóvedas. Se han estructurado siguiendo los tres apartados del estudio: el geométrico, el constructivo y el mecánico.

3.1 Estudio geométrico

3.1.1 Levantamiento

Levantamiento es la operación por la que se registra la forma de los edificios construidos mediante dibujos a escala. En algunos casos se adjetiva como levantamiento *gráfico*, *arquitectónico*, *geométrico, planimétrico* o *métrico,* sin que exista un consenso sobre los matices que introducen en su significado estos términos.

En las lenguas de nuestro entorno se utilizan los términos *metric* o *measured survey* en inglés, *rilievo* en italiano, y *Bauforschung* en alemán. En todos estos casos su significado engloba, junto a una representación rigurosa, un análisis fundamentado en la información gráfica (fases históricas, diferenciación de materiales, estado de la estructura, etc.). Debido a sus tradiciones nacionales los términos R*ilievo* y *Bauforschung* incluyen otros aspectos de la documentación del edificio[1] y, en su senti-

1. «*Bauforschung* means observing! The *Bauforscher* is a detective who collects countless bits of evidence, including those that may seem trivial at first glance, and puts them together to form a completed puzzle. [...] The prime source of information is the building or its ruins. [...] The basis of a *Bauforscher's* investigation is the exact documentation, generally a highly accurate recording of the structure in the form of a measured drawing which can be scientifically interpreted» (Schuller 2002, 31).

do más amplio, abarcan los estudios previos a cualquier intervención y se relacionan con los métodos que proceden del campo de la arqueología. [2]

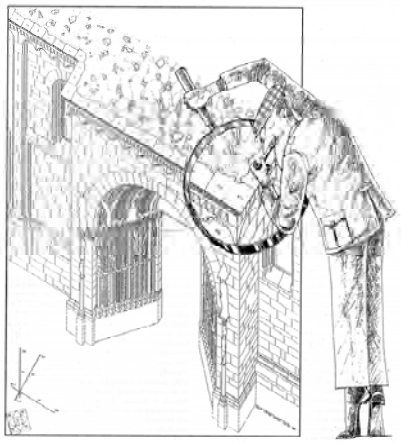

Figura 3.1. El «Bauforscher» (Schuller 2002, 32)

3.1.1.a El levantamiento y la conservación del patrimonio

En el ámbito de la conservación del patrimonio, organismos y asociaciones internacionales han prestado una especial atención al levantamiento y han destacado su papel en la documentación de los bienes culturales.

La *Carta de Venecia* de 1964 menciona por primera vez el dibujo como parte de esta documentación.

> Art. 16. Los trabajos de conservación, de restauración y de excavación estarán siempre acompañados por una documentación precisa constituida por informes analíticos y críticos ilustrados con dibujos y fotografías. Todas las fases de los trabajos de reparación, consolidación, recomposición, integración, así como los elementos técnicos y formales identificados a lo largo de los trabajos deberán ser consignados.[3]

La *Carta de Roma* de 1972, conocida también como *Carta del Restauro*, especifica el alcance de la documentación gráfica: «El proyecto se basará en una completa ob-

2. Sobre la aplicación de métodos arqueológicos al levantamiento en España véase Caballero (1995), Caballero y Escribano (1996) y Azcárate et al. (2002). El CSIC junto con la Universidad del País Vasco publican la revista *Arqueología de la Arquitectura*, disponible en línea (doi:10.3989/arqarqt).

3. Disponible en línea en http://ipce.mcu.es/pdfs/1964_Carta_Venecia.pdf. También en Trachana (1998, 9).

servación gráfica y fotográfica interpretada también bajo el aspecto metrológico, de los trazados reguladores y de los sistemas proporcionales, [...]».[4]

La Asamblea General del ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) reunida en Sofía en 1996 suscribió el documento *Principios para la Creación de Archivos Documentales de Monumentos, Conjuntos Arquitectónicos y Sitios Históricos y Artísticos*.[5] En él se define *registro documental* (en inglés, *recording*) como,

> [...] la recopilación de las informaciones que describen la configuración física, el estado y el uso que se da a los monumentos, conjuntos arquitectónicos y sitios históricos y artísticos, en un determinado momento, y que constituye un elemento esencial de su proceso de conservación.[6]

Posteriormente, un grupo de expertos de varias naciones redactaron la que después se llamó *Carta del Levantamiento Arquitectónico (Carta del Rilievo)*, que se difundió en 1999.[7] Por primera vez se recogió en un documento el carácter analítico del levantamiento:

> [...] el conjunto de operaciones de medidas y de análisis necesarios para comprender y documentar el bien arquitectónico en su configuración completa, referida incluso al contexto urbano y territorial, en sus características dimensionales y métricas, en su complejidad histórica, en sus características estructurales y constructivas, así como en las formales y funcionales. (Almagro 2004, 21; Jiménez y Pinto 2003, 49)

En el año 2000, en el congreso *Il Rilievo del Beni Architettonici per la Conservazione*, celebrado en Roma, se aprobó la *Declaración sobre el levantamiento arquitectónico*, que sintetizaba la carta anterior (Almagro 2004, 26-28; Jiménez y Pinto 2003, 55-57).

---

4. *Carta del Restauro. Anexo B - Instrucciones para la dirección de las restauraciones arquitectónicas*, Roma 1972. Disponible en línea en http://ipce.mcu.es/pdfs/1972_Carta_Restauro_Roma.pdf. A pesar de redactarse para el ámbito italiano tuvo repercusión internacional (Trachana 1998, 2).

5. *Principles for the Recording of Monuments, Groups of Buildings and Sites*. Versión original en inglés disponible en http://www.icomos.org/charters/archives-e.pdf.

6. Traducción tomada de la página web del Comité Español del ICOMOS. Disponible en http://www.esicomos.org/nueva_carpeta/info_DOC_ARCHIVOS.htm.

7. Disponible en http://www.arch-dsp.unifi.it/upload/sub/dipartimento/personale/merlo-a/dispense/Carta_del_rilievo.pdf. El grupo redactor estaba integrado por expertos de España, Francia e Italia. La primera elaboración se debatió y aprobó en el congreso *Il rilievo dei beni architettonici per la conservazione*, celebrado en Nápoles en 1999. Una traducción española fue aprobada en el *VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica EGA 2000*, celebrado en Barcelona.

Otras asociaciones y organismos nacionales e internacionales han redactado declaraciones y guías en las que hacen referencia a la documentación de los bienes culturales, y dentro de esta a su levantamiento.[8]

El alto grado de especialización alcanzado por las técnicas de levantamiento queda reflejado en la existencia de una línea de congresos promovidos por la CIPA (Comité International de la Photogrammétrie Architecturale). [9]

En el proceso de levantamiento concurren, por un lado, técnicos especializados en el uso de las tecnologías de medición, formados habitualmente en el campo de la ingeniería geodésica y, por otro, profesionales implicados en la restauración (arqueólogos, arquitectos, conservadores, etc.). La formación de los primeros no incluye, *a priori*, conocimientos sobre el patrimonio, y los segundos suelen carecer de la especialización necesaria para el uso de las tecnologías de registro y medición. Las iniciativas RecorDIM y EPOCH, han promovido actividades de formación e investigación destinadas a la especialización de los dos grupos de agentes implicados en la labor de documentación del patrimonio.[10]

---

8. Algunos de estos documentos: E.C.C.O (European Confederation of Conservation's Organizations) (2002); English Heritage (Bryan et al. 2009); Historic Scotland (Dallas 2003); USA National Park Service (HABS/HAER 1990), Canada's Historic Places (2011). Para una visión global de las cartas y guías sobre patrimonio cultural con extractos de sus referencias a la documentación véase Letellier (2007, 103-115).

9. CIPA es un comité internacional del ICOMOS cuya finalidad es la mejora de los métodos de levantamiento del patrimonio. Desde 1968 se han celebrado 23 congresos especializados.

10. La CIPA junto con el Getty Conservation Institute promovieron entre 2002 y 2007 la iniciativa RecorDIM (Recording, Documentation and Information Management). Sus resultados se pueden consultar en http://www.getty.edu/conservation/our_projects/field_projects/recordim/. Los textos completos en http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications /recordim.html. (Letellier et al. 2007; Eppich y Chabbi, 2007). La EPOCH (European Research Network of Excellence in Open Cultural Heritage) aglutinó a cerca de cien organizaciones culturales con el fin de mejorar la calidad y eficacia del uso de las tecnologías de la información y comunicación y el patrimonio cultural, para promover un nuevo sector interdisciplinario entre estos campos. El resultado se plasmó en dos volúmenes que recogen los principios de referencia para el registro, documentación y gestión de la información relacionada con el patrimonio cultural (Letellier et al. 2007; Eppich y Chabbi, 2007).

Figura 3.2. Iniciativa RecorDIM. Coordinación de los agentes implicados en la documentación del patrimonio (Letellier et al. 2007, 8).

3.1.1.b Conceptos considerados en el levantamiento

El levantamiento rara vez es un fin en sí mismo, sino que se ejecuta con una finalidad. El propósito del levantamiento condiciona el grado de detalle que se registra, la escala que se utiliza y la precisión que se requiere.

Exactitud, precisión, escala y detalle

La *exactitud* es el grado de correspondencia entre la realidad y su representación. Puede ser absoluta —de un punto representado respecto a su posición real—, o relativa, con respecto a otros puntos de su entorno. La exactitud a menudo se confunde con la precisión.

La *precisión* es el grado de coherencia de las distintas lecturas de una misma medida y está relacionada con el instrumento utilizado para la medición (Andrews et al. 2010, e; Bryan et al. 2009, sec. 2.1.1; Swallow et al. 2004, 118-119; Dallas, 2003, 28).[11] Un instrumento puede ser muy preciso, pero no garantiza la exactitud del levantamiento (puede estar mal calibrado, por ejemplo). Sin embargo no se puede garantizar una exactitud superior a la precisión de los instrumentos utilizados.

11. Si una medida se toma varias veces con el mismo aparato y la diferencia entre la lectura máxima y mínima es de 4 mm, la precisión del aparato es de ±2 mm.

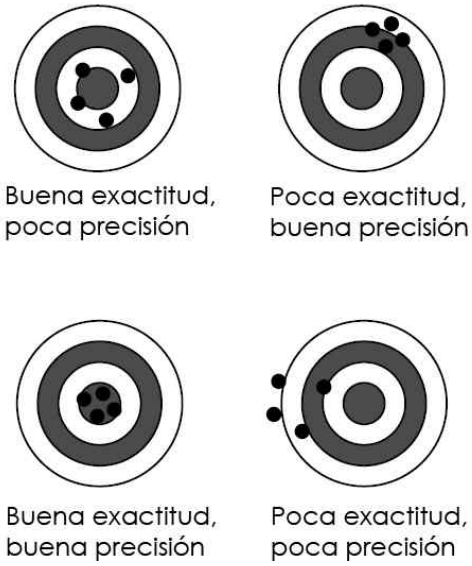

Figura 3.3. Exactitud y precisión (elaborado a partir de Bedford 2011,16)

Escala y *detalle* se relacionan entre sí. Una alta densidad de detalle necesita representarse a una escala grande; por el contrario, una escala pequeña exige una selección de la información relevante. En este sentido debe tenerse en cuenta el límite que establece la precisión gráfica.

La *precisión gráfic*a establece la distancia mínima que se puede percibir con nitidez, un valor que depende de la agudeza visual. El límite de la agudeza visual en los dibujos se fija en 0,2 mm.[12] Una línea de ese grosor equivale a 2 cm a escala 1:100. Magnitudes por debajo de ese valor no se pueden representar a esa escala.[13] Dado que en los programas de CAD se dibuja sobre un modelo a tamaño real, el grado de detalle debe seleccionarse considerando la escala a la que se imprimirá el dibujo.

12. La agudeza visual máxima es la que se corresponde con un ángulo de visión de 1', en condiciones óptimas de contraste e iluminación. A una distancia de 50 cm supone una longitud de 0,15 mm. (*Encyclopædia Britannica Online*, s. v. "human eye," consultado 21-03-2012. http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1688997/human-eye).

13. Las normas del English Heritage establecen una tolerancia máxima de +/- 30 mm a escala 1:100 (15 mm a 1:50; 60 mm a 1:200, etc.) y especifican que al menos el 67% de una muestra se mantendrá dentro de esa tolerancia solo un máximo del 10% podrá sobrepasar 1,65 veces ese valor (Bryan et al. 2009, sec. 2.1.2).

3.1.1.c Técnicas de medición

Las técnicas de medición se pueden clasificar con arreglo a diferentes criterios (manuales, topográficas, fotogramétricas). Una de las posibles clasificaciones considera el grado de intervención del operador en la selección de los datos. Según este criterio las técnicas pueden ser directas e indirectas.

En las técnicas *directas* la selección de datos se hace *in situ*. El profesional identifica la información relevante antes de proceder a su registro. Pertenecen a este grupo los métodos de medición manual, con instrumentos simples y con estación total.

Las técnicas *indirectas* capturan datos masivamente y de forma indiferenciada. En el proceso posterior se elabora y selecciona la información. Se encuadran en este tipo los escáneres de láser y la fotogrametría (Andrews et al. 2010, 2).

Figura 3. 4. Técnicas directas e indirectas (Riedel 2011, 131)

La elección de una u otra técnica depende del grado de precisión requerido, de las características del objeto que se va a levantar (edificio, parque, excavación arqueológica...) y del tiempo, personal y presupuesto disponibles.

Las técnicas indirectas reducen notablemente el tiempo empleado en la toma de datos. Sin embargo, tienen la desventaja de limitar el tiempo necesario para conocer el objeto registrado. El texto siguiente ilustra esta idea:

> [...] timesaving can be dangerous. A 'machine' delivering a complete model at the pressing of a button does not fulfil all the requirement of a proper survey. Surveying is a learning process. Time is necessary to understand. The user needs to assimilate the features recorded [...]
> Survey is a two-time process. Elements are first chosen and then measured. [...]
> Reality conveys infinite amount of information. To grasp it, one needs to abstract. It is the surveyor's work to emphasise the important, to find an expressive representation of the situation. (Smars, Van Balen y Nuyts 2001)

Por otro lado, algunas operaciones realizadas por procedimientos directos son tediosas y no aportan un mejor conocimiento del edificio; su automatización supone una ventaja.

Con independencia de medio utilizado, la ejecución de levantamientos es siempre una actividad reflexiva, laboriosa y artesanal. Bien sea durante la toma de datos (si se recurre a métodos directos), o durante el post-proceso (con los indirectos), el técnico es el que decide la información que se registra y la que se descarta. Como señala Menuge (2006, 9), la bondad del levantamiento dependerá en gran medida de su capacidad crítica para realizar la selección adecuada.

3.1.1.d Técnicas de medición directas

Medición con instrumentos simples

Se basa en la medición de distancias. Tradicionalmente, por comparación con elementos graduados (cintas, pértigas o cadenas). Hasta los años 70 del siglo pasado este tipo de medición necesitaba el contacto con los puntos medidos. La medición de puntos remotos solo se podía realizar con técnicas topográficas o fotogramétricas. A partir de esta fecha se comercializaron los primeros distanciómetros que permitieron la medición directa de puntos no accesibles de forma sencilla.[14]

El recurso para situar puntos por medición directa es la trilateración (medición de los tres lados del triángulo que forman dos puntos conocidos de la alineación con el punto cuya posición se quiere determinar). Para las referencias verticales se utilizan niveles de agua o, más recientemente de láser. Plomadas, cuerdas, niveles de

14. Su invención se debe al sueco Erik Bergstrand. El primer distanciómetro era un instrumento pesado y voluminoso que tardaba entre 2 y 3 horas en calcular una distancia. Lo comercializó la casa sueca AGA en 1953 con el nombre de Geodimeter (Wennström 2008; Cheves 1999). En 1979 el Geodimeter todavía tardaba 20 minutos para cada lectura (Swallow et al. 2004, 126).

burbuja, pértigas, jalones y brújulas son instrumentos habituales. Otros de uso más restringido son las escuadras ópticas, con las que se pueden trazar alineaciones perpendiculares (útiles para mediciones en exteriores), restituidores de molduras, y clisímetros o inclinómetros, para medir ángulos verticales.[15]

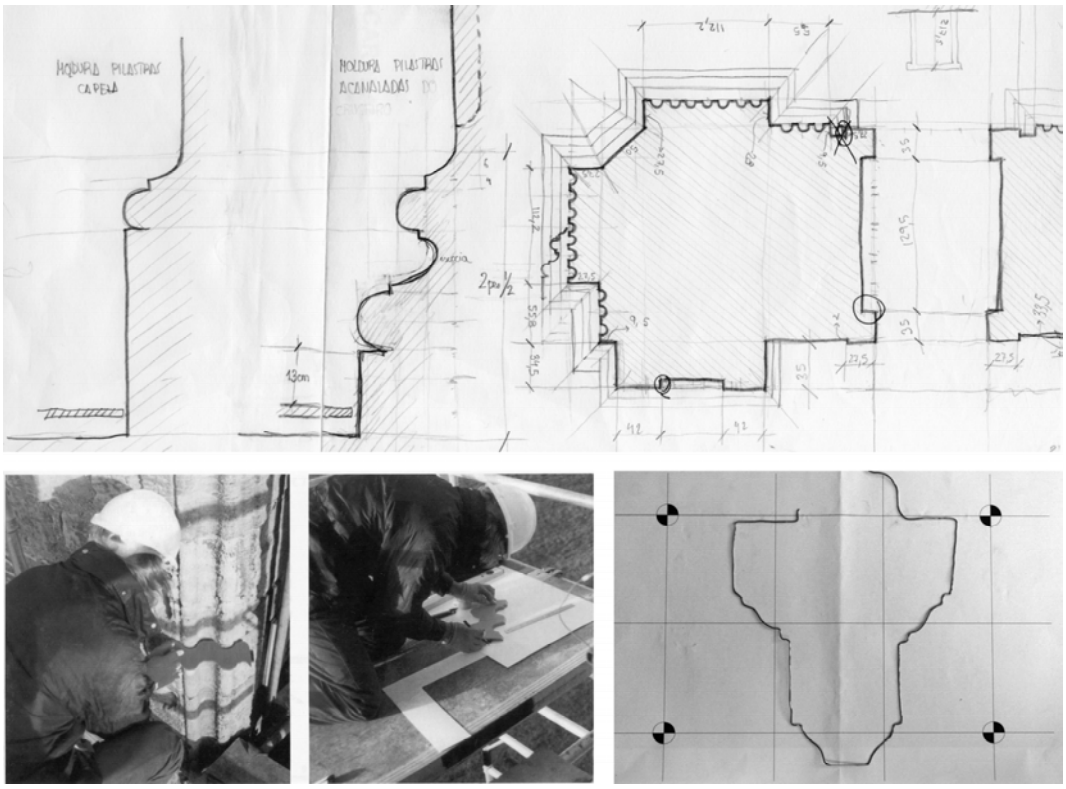

Figura 3.5. *Arriba*: Croquis de la medición con cinta y distanciómetro de un pilar toral de la iglesia del colegio del Cardenal; *Abajo izquierda*: dibujo de molduras con peine de perfiles (Dallas 2003, 33). *Abajo derecha*: restitución con alambre de estaño del perfil de un nervio en el monasterio de Celanova.

Medición con instrumentos topográficos

El instrumento topográfico más sencillo es la plancheta con alidada: un tablero nivelado sobre el que se ajusta un aparato que permite establecer las alineaciones de los puntos, que se dibujan directamente en el tablero y se miden con cinta, instrumentos

15. Sobre la medición con instrumentos simples véase Cramer (1984, 19-92) y Swallow et al. (2004, 1-99). Sobre el uso de la escuadra óptica Bowden (2002, 4-5). Sobre la restitución de molduras Weaver (1978). Las últimas generaciones de teléfonos móviles incorporan acelerómetros que los convierten en niveles, inclinómetros y brújulas. La croquización en papel puede realizarse sobre tabletas con pantalla táctil, en las que se introducen los datos directamente en formato digital.

ópticos o, en las versiones más recientes, con un distanciómetro incorporado (Bowden 2002, 8).

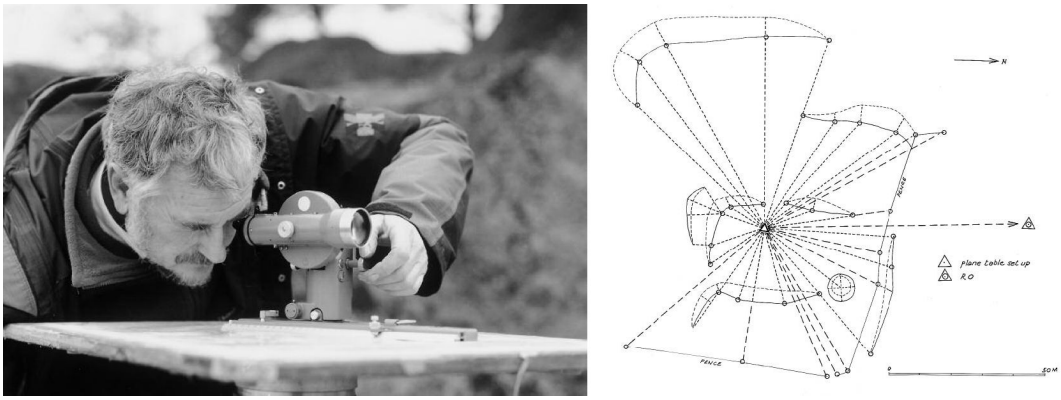

Figura 3. 6. Plancheta y alidada. A la derecha, aspecto de un levantamiento topográfico realizado con esta técnica (Bowden 2002).

El teodolito mide ángulos en el en el plano horizontal y vertical.[16] La determinación de la posición de un punto se realiza mediante las operaciones de triangulación (construcción de un triángulo a partir de un lado y los dos ángulos adyacentes) y radiación. En los teodolitos tradicionales cada lectura se anotaba manualmente en la libreta de campo y, posteriormente, se realizaban los cálculos. La introducción de la medición electrónica en los años 80 simplificó el trabajo y evitó errores.

Una estación total es la combinación de un teodolito y un distanciómetro. Utiliza un rayo infrarrojo que impacta en una diana de espejos cóncavos (el prisma), que la devuelve al instrumento. La medición se realiza analizando el desfase con que se reciben las ondas emitidas. Las coordenadas del punto se graban en la memoria del aparato en formato digital.

16. Los primeros instrumentos capaces de medir ángulos con precisión datan del siglo XVI, impulsados por las necesidades de la navegación y la astronomía. En el siglo XVIII se inventó el telescopio y se incorporó al teodolito. El primer teodolito óptico tal y como lo conocemos hoy en día lo fabricó la Carl Zeiss Jena Company en 1924 (Henze y Heine, 2009).

Figura 3.7. *Izquierda*: teodolito utilizado habitualmente hasta los años 1940 (Swallow et al. 2004, 125). *Derecha*: estación total actual (www.instop.com).

A partir de finales de los años 90 las estaciones totales comenzaron a incorporar un rayo láser, que no requiere un prisma para realizar la medición. Son las llamadas estaciones totales sin reflectante. Estos aparatos supusieron una revolución en el levantamiento arquitectónico ya que, por primera vez, se podían medir puntos inalcanzables de forma directa, precisa y rápida (Alonso 2008). Su precisión oscila entre 3 y 7 mm, su manejo es sencillo y solo se necesita una persona para utilizarlas. Los datos se transfieren fácilmente a los programas genéricos de CAD.

Las estaciones han seguido incorporando funciones que facilitan su manejo: motores que automatizan los barridos, cámaras digitales que combinan los puntos medidos con fotografías, estaciones radiocontroladas, sistemas de GPS (*Global Position System*), etc. Se pueden conectar con un ordenador en tiempo real para comprobar la marcha de la medición, y se puede convertir a la estación en el dispositivo de entrada para dibujar en el ordenador *in situ* a partir de los puntos señalados con el puntero de láser de la estación.[17]

17. TachyCad, de Kubit Internacional. Disponible en http://gb.kubit-software.com/CAD/Products/TachyCAD_total_station_measured_building_survey/real_time_measured_building_survey.php.

3.1.1.e Técnicas de medición indirectas

Escáneres de láser

Los escáneres de láser capturan la posición de millones de puntos en un tiempo muy reducido. El resultado que ofrecen es un archivo digital en tres dimensiones que se conoce con el nombre de *nube de puntos*. Estos puntos pueden conservar su color original, lo que dota a las nubes de un efecto realista que las hace especialmente útiles para diferenciar los materiales.

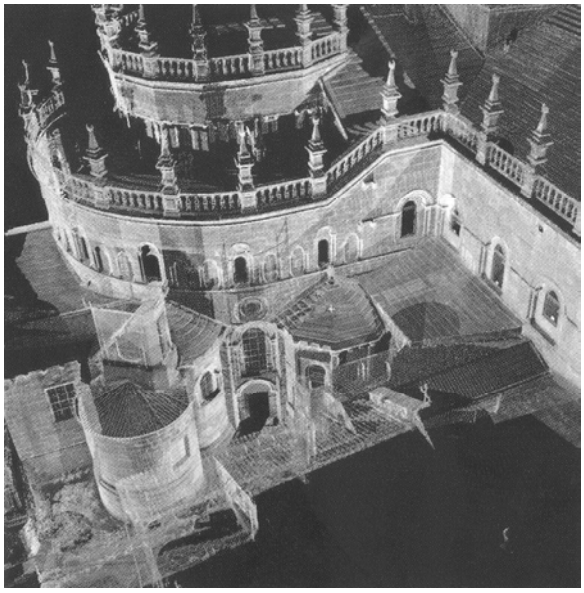

Figura 3.8. Nube de puntos de la cabecera de la catedral de Santiago de Compostela obtenida con un escáner de láser (Riedel, Henze y Marbs 2011)

Los escáneres de láser pueden funcionar basándose en tres principios: por triangulación, por tiempo de vuelo y por comparación de fase. Los primeros se utilizan para piezas pequeñas (menores de 1 metro). Los escáneres basados en tiempo de vuelo y en comparación de fase son los adecuados para los levantamientos arquitectónicos. Los primeros alcanzan distancias de hasta 100 m con precisiones comprendidas entre 3 y 6 mm. Los basados en comparación de fase tienen alcances inferiores (50 m) con precisiones parecidas, pero su rapidez para la captura es mayor. Ambos tipos suelen permitir barridos horizontales de 360° y pueden alcanzar 180° en los verticales (Barber y Mills 2007, 7).

La evolución de estos aparatos está siendo muy rápida. Las velocidades de escaneo que se alcanzan actualmente son del orden de un millón de puntos por segundo.[18] Su peso también se reduce cada vez más. En este momento los más ligeros del mercado no exceden de 5 kg.[19]

Entre sus ventajas destaca la extrema rapidez con la que se realiza la toma de datos y su precisión. Son de gran utilidad para registrar elementos irregulares y con formas complejas, y en los casos en los que los tiempos dedicados al trabajo de campo son reducidos. Las nubes de puntos se pueden convertir en superficies y estas se pueden proyectar y cortar para obtener los datos necesarios para la ejecución de los dibujos. Sin embargo, son aparatos muy caros, generan archivos que hay que tratar con programas específicos y no se integran bien con los programas habituales de CAD.[20]

Fotogrametría estereoscópica

El término *fotogrametría* abarca varias técnicas que utilizan la información métrica contenida en las fotografías. Sus antecedentes se encuentran en las restituciones perspectivas, pero su desarrollo comenzó a mediados del siglo XIX con la invención de la fotografía.

La fotogrametría estereoscópica se basa en la manipulación en pares de fotografías de un mismo objeto tomadas desde dos puntos conocidos. Hasta la generalización de los ordenadores fue un método que demandaba cámaras especiales para captar las imágenes, aparatos costosos y operarios especializados para su procesamiento. Los restituidores digitales abarataron el proceso, pero todavía es un recurso que necesita una importante inversión.[21] La restitución fotogramétrica fue el único método útil para el levantamiento de las partes más elevadas de los edificios —y en

18. Especificaciones del escáner Leica HDS7000 en http://hds.leica-geosystems.com/en/HDS7000_90337.htm. Un equipo de la misma marca comercial (HDS3000) ofrecía en el año 2003 una velocidad máxima de solo 1 800 puntos por segundo.

19. Especificiaciones del modelo Faro Focus 3D en http://www.faro.com/focus/es/.

20. El English Heritage ha publicado una guía sobre la utilización del escáner de láser en el patrimonio (Barber and Mills, 2007) y ha establecido las normas que se deben guardar para su correcta utilización (Bryan et al. 2009, secc. 7).

21. Andrews et al. (2009, 16) estima el costo de los programas necesarios en 30 000 libras.

particular de las bóvedas— hasta la introducción de las estaciones totales sin reflectante.[22]

Existen en el mercado programas de bajo coste que permiten realizar restituciones de puntos a partir de fotografías tomadas con cámaras digitales no especializadas sin las restricciones para las tomas de la fotogrametría estereoscópica. Son útiles en el levantamiento de construcciones sencillas.

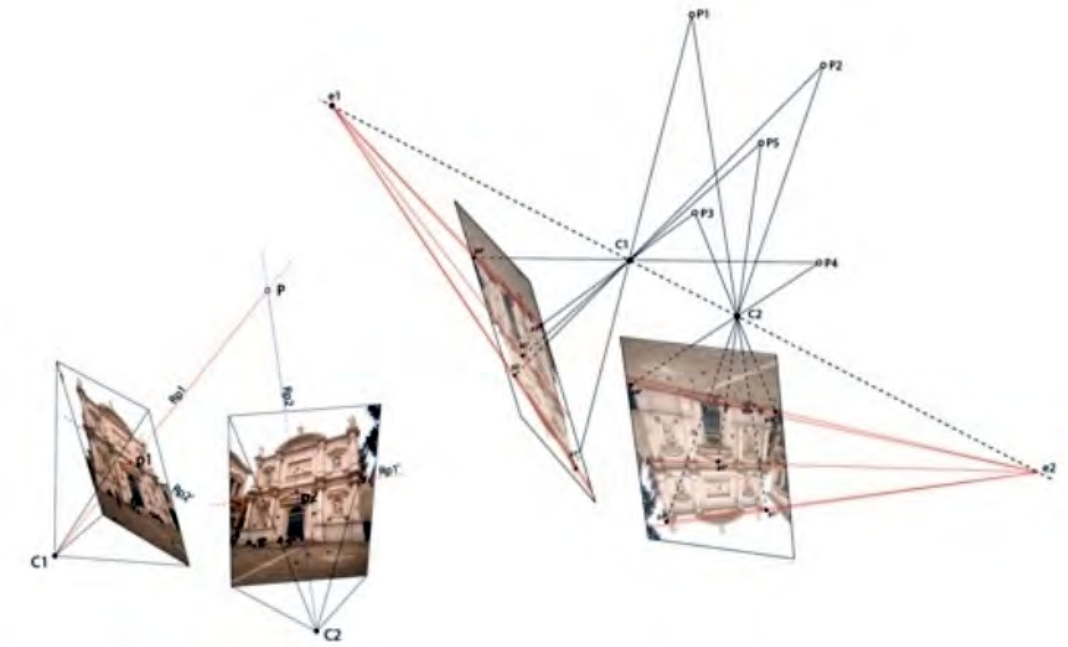

Figura 3.9. Relaciones geométricas entre dos fotografías (De Luca 2009a)

Rectificación fotográfica

La generalización de las cámaras digitales ha dado lugar a nuevas modalidades de medición a partir de fotografías de coste más reducido y que no necesitan un alto grado de especialización.

La rectificación fotográfica corrige la distorsión perspectiva de una fotografía digital y la ajusta a unas medidas de control tomadas previamente. El proceso se realiza mediante programas informáticos especializados,[23] aunque se pueden conseguir precisiones razonables con programas de manipulación de fotografías que permitan

22. Sobre la aplicación de la fotogrametría al levantamiento arquitectónico véase Buill y Núñez (2007) y Lerma (2002).

23. Algunos programas de rectificación fotográfica: ASRix (http://www.asrix.ca); Archimedes3D (http://www.archimedes3d.de); PhoToPlan (http://www.kubit-software.com/CAD/Products/PhoToPlan_Camera/CAD_photogrammetry.php); Curamess (http://www.curamess.com).

la distorsión de las imágenes y el control de sus dimensiones. La rectificación consigue poner en verdadera magnitud los objetos de un solo plano, lo que limita su utilidad al levantamiento de superficies planas.

Structure from Motion (SfM)

Esta técnica de adquisición de datos se basa en programas informáticos que procesan conjuntos de imágenes de un objeto y devuelven un modelo digital tridimensional con textura fotográfica. Las imágenes pueden ser fotografías o vídeo, y el modelo que se obtiene es una malla triangulada. Los formatos nativos de cada programa suelen permitir la exportación a otros más generalizados y los modelos se pueden manipular con programas de CAD comunes. Se denominan también *escáneres fotográficos* por la similitud de sus resultados con los obtenidos por los escáneres de láser.

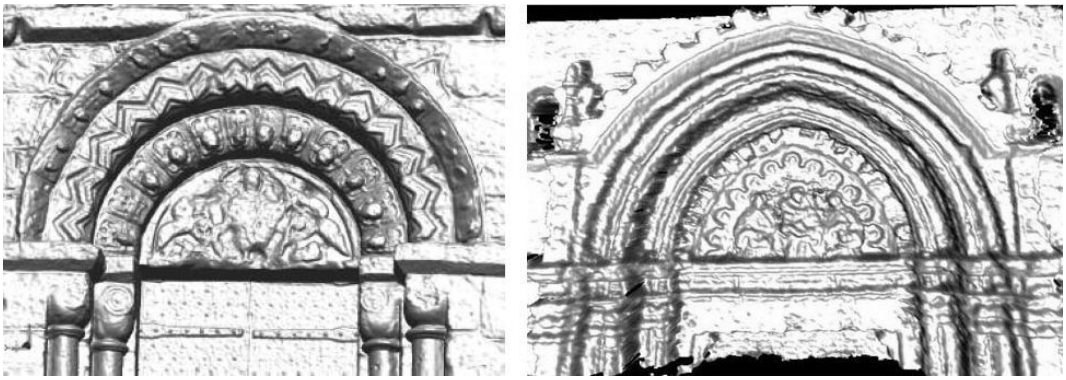

Figura 3.10. Comparación de resultados de un escáner de láser y un escáner fotográfico. *Izquierda*: datos de escáner de láser de la portada de la iglesia de Prestbury (Barber y Mills 2007, 21). *Derecha*: imagen de escáner fotográfico sin textura de la puerta de la fachada de la catedral de Prato (Vergauwen y Van Gool 2006, 423).

Del modelo tridimensional, una vez orientado y escalado, se obtienen ortofotos, que se puede cortar por planos para crear las líneas de las secciones. A diferencia de las fotos rectificadas, que solo mantienen la verdadera magnitud en el plano rectificado, las ortofotos son proyecciones ortogonales de todo el objeto. Son de gran utilidad en el dibujo de alzados y de plantas cenitales de bóvedas, que se obtienen fácilmente por calco. La textura fotográfica que incorporan las hace especialmente útiles para el registro de los despieces y grietas.

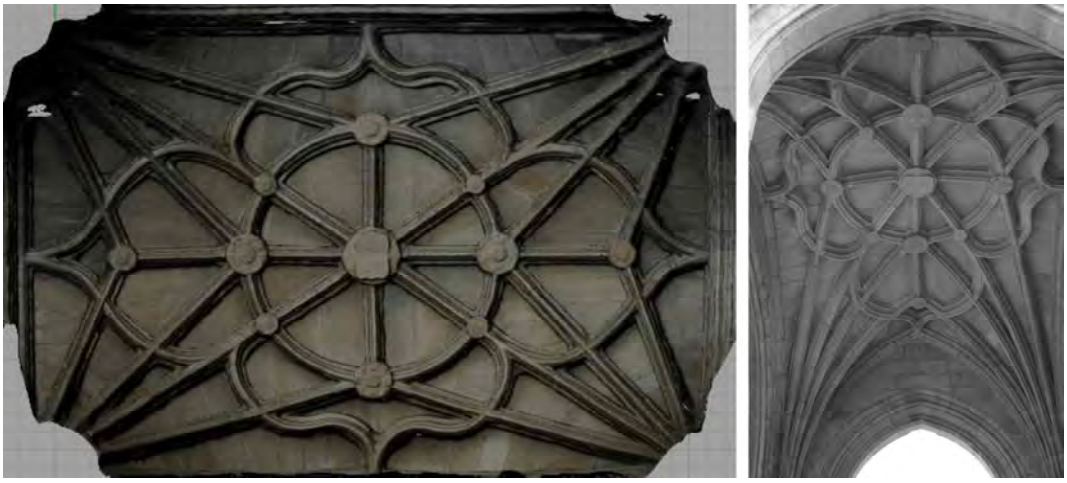

Figura 3.11. Ortofoto con textura de la bóveda de la entrada norte de la catedral de Lugo realizada con el programa Photofly (actual 123D Catch de Autodesk). A la derecha, su fotografía.

Sus ventajas radican en su bajo coste, en la rapidez de la toma de datos y en la facilidad e inmediatez con la que estos se procesan. Los archivos tienen tamaños razonables y no demandan programas especiales para su manipulación. Como inconveniente, las superficies deben cumplir ciertas condiciones: deberán tener textura, estar bien iluminadas y carecer de reflejos. En objetos con patrones geométricos similares se pueden producir errores en los procesos de referenciación automática (el programa confunde la posición de los elementos semejantes).

El flujo de trabajo es diferente según el tipo de programa. Puede realizarse en el ordenador personal o en un servidor remoto; el proceso puede ser totalmente automático o precisar la intervención del usuario para marcar referencias en las imágenes. Algunos programas precisan la calibración de la cámara, mientras que otros recurren a la potencia de la computación en nube y omiten este paso. (Vergauwen y Van Gool 2006; Pomaska 2009; Mora et al. 2010; Pierrot-Deseilligny et al. 2011). Para realizar tomas elevadas las cámaras pueden izarse en pértigas, o montarse en cometas y otros artilugios.[24]

Muchos de estos programas son gratuitos, unos promovidos por casas comerciales, otros son el resultado de investigaciones realizadas en departamentos univer-

24. Esta modalidad se conoce en inglés con las siglas LEAP (Low Elevation Aerial Photography). Información actualizada sobre el uso de estas técnicas puede consultarse en el blog del Anthropology Analytical Cartography and Geographic Information System Lab at the Pennsylvania State University (http://www.personal.psu.edu/nmc15/blogs/anthspace/).

sitarios.[25] Se trata de un campo especialmente dinámico donde continuamente se están incorporan novedades, que se difunden en páginas especializadas de internet antes de estar disponibles en la literatura científica.

3.1.1.f Valoración de las técnicas para el levantamiento de bóvedas

Con cintas y plomadas se pueden realizar levantamientos muy precisos. Así se ha hecho a lo largo de la historia con resultados muy exactos.

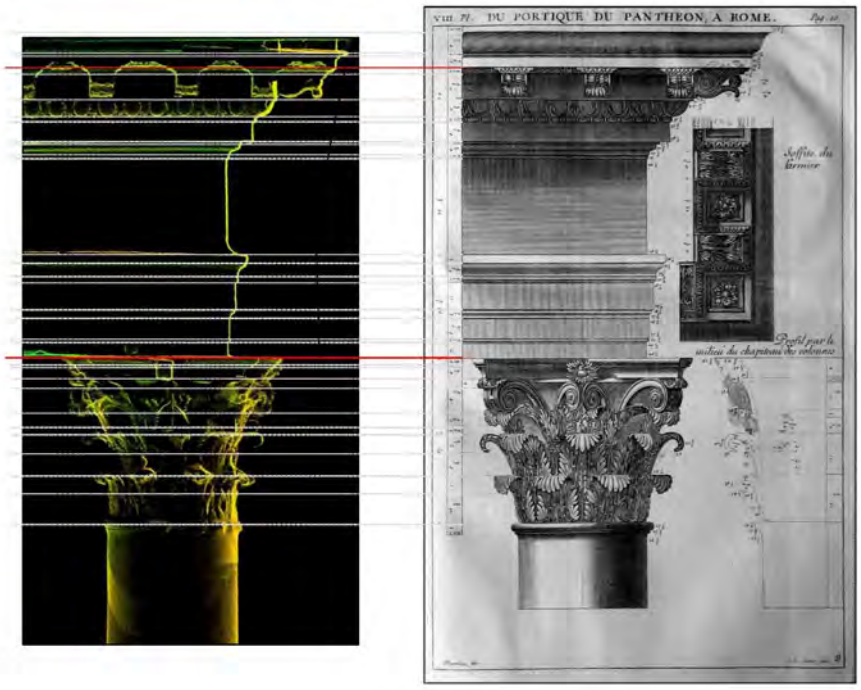

Figura 3.12. Panteón de Roma. Comparación de la correspondencia entre los levantamientos del *Bern Digital Pantheon Model,* realizados con escáner de láser, y el dibujo de Desgodetz de 1682 (www.digitalpantheon.ch).[26]

25. Programas gratuitos de restitución 3D vía web: ARC-3D, de la universidad KU Leuven (http://www.arc3d.be/); 123D-Catch, de Autodesk, Inc. (http://123dapp.com/catch); PHOV, de Xlab (http://www.phov.eu); Hypr3D, de Viztu Technologies (http://www.hypr3d.com/) y My3DScanner (http://my3dscanner.com). Blunder (http://phototour.cs.washington.edu/bundler/) es un programa de código abierto. MeshLab es un programa de tratamiento de mallas gratuito y de código abierto creado en la Universidad de Pisa (http://meshlab.sourceforge.net/). Blender es un programa de creación y animación 3D también gratuito y de código abierto (http://www.blender.org).

26. Desgodetz (1682) midió y dibujó con medios manuales los principales monumentos de Roma. El reciente levantamiento del Panteón con escáner de láser (Graßhoff et al. 2009) ha permitido contrastar la exactitud de sus dibujos. Sobre los dibujos de Desgodetz véase Martínez Mindeguía (2012a).

Con instrumentos sencillos también se pueden obtener datos complejos. Un ejemplo reseñable es el de Willis (1842), quien midió un gran número de bóvedas nervadas inglesas. El método con el que calculó las complicadas curvaturas variables de los nervios, utilizando tan solo una pértiga y una plomada, ha sido desvelado por Huerta (figura 3.13, abajo).

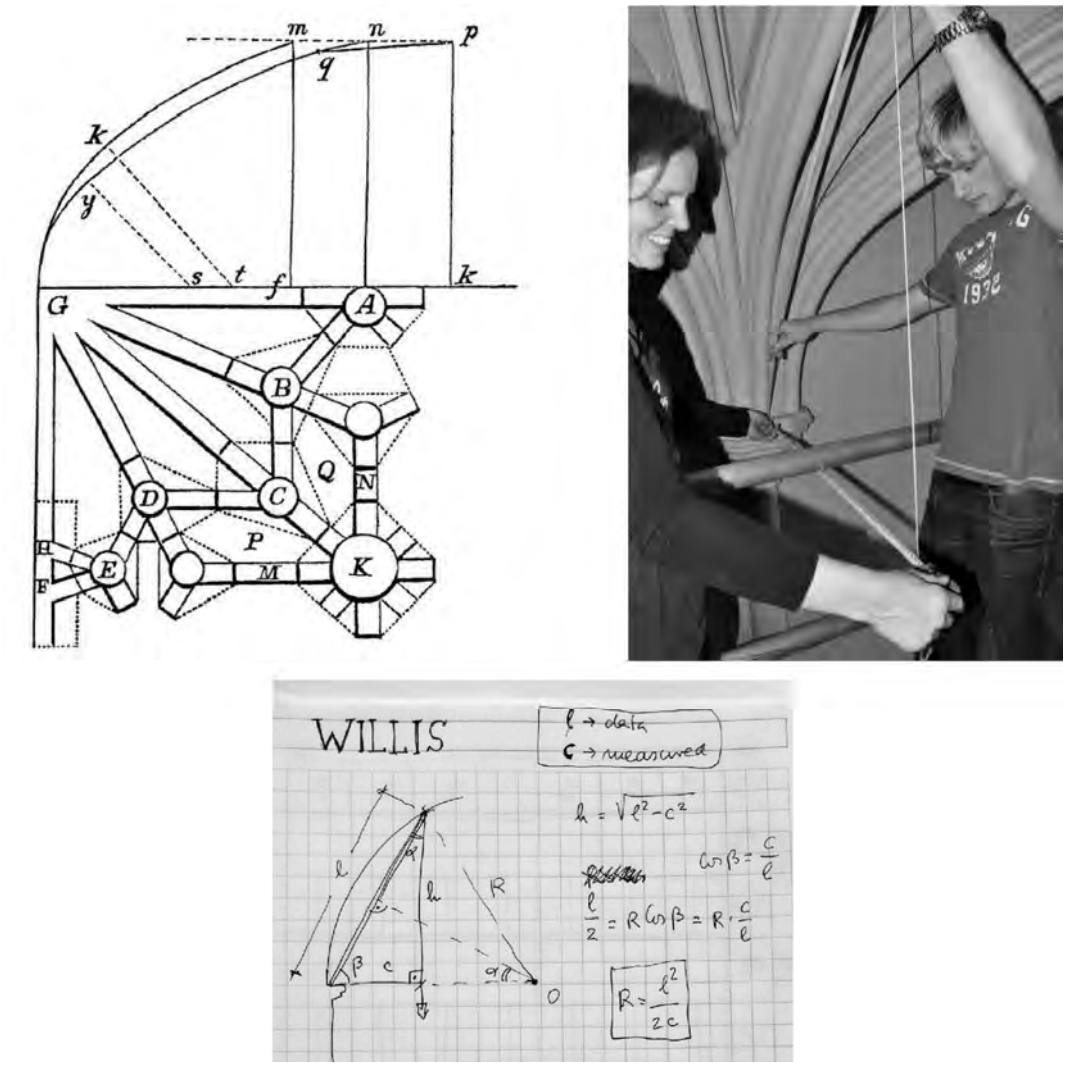

Figura 3.13. *Izquierda*: dibujo de la bóveda del acceso de Queens' College con la indicación de la curvatura de los nervios (Willis 1842, 27). *Abajo*: explicación del procedimiento empleado por Willis (Huerta en CH.ESS 2011).[27] *Derecha*: aplicación del método de Willis en la misma bóveda (grupo de trabajo en el que participó la autora en el CH.ESS 2011).

27. CH.ESS 2011 (Construction History European Summer School). Curso celebrado en Cambridge con el título «Conquering new spheres: Two millennia of vaults, domes and shells», dentro del programa *The Lifelong Learning* de la Comisión Europea (http://www.chess2011.eu). Material inédito.

Los métodos manuales siguen siendo insustituibles para la toma de detalles y para comprobaciones generales. En bóvedas de baja altura se puede prescindir de la estación y medir las alturas con distanciómetro sobre puntos conocidos marcados en la planta. Sin embargo, es difícil realizar mediciones exactas en bóvedas muy elevadas y, sobre todo, relacionar mediciones interiores y exteriores, como ocurre con las cúpulas. La exactitud de los levantamientos de estos elementos realizados por medios manuales debe ser comprobada.

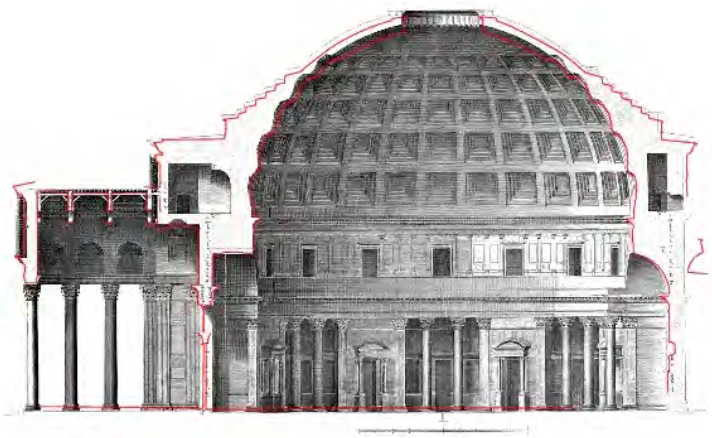

Figura 3.14. Comparación de la sección del Panteón dibujada por Desgodetz (1682) y la obtenida del levantamiento con escáner de láser. Obsérvense las diferencias en la parte alta de la cúpula (www.digitalpantheon.ch).

Las estaciones totales sin reflectante son aparatos de precios moderados y la opción más racional para la medición de elementos no accesibles, como es el caso de las bóvedas. Su gran exactitud y la posibilidad de ejecutar barridos muy densos por secciones significativas permite la obtención de perfiles muy exactos, sin interpolaciones del dibujante, algo que no se podía realizar antes su aparición. Esto abre un campo de estudio nuevo, pues por primera vez se pueden analizar las pequeñas deformaciones mecánicas, en ocasiones muy sutiles como para poder ser apreciadas con otras técnicas.

Pero, si bien el punto fuerte de las estaciones es la generación de perfiles por barrido, son menos adecuadas para registrar superficies irregulares y decoraciones complejas que, sin embargo, se dibujan muy bien sobre ortofotos con textura fotográfica obtenidas de escáneres de láser o digitales. Los digitales son la mejor opción

cuando los presupuestos son ajustados y se quiere tener el control de todo el proceso, pero se deben elegir programas que garanticen la precisión con la introducción de puntos de control medidos con la estación.

Por último, para la elección de técnicas especializadas y costosas, como el escáner de láser y la fotogrametría estereoscópica, deben sopesarse los tiempos disponibles, los costes y la posibilidad de dirigir el post-proceso. Dado que es habitual recurrir a técnicos expertos, es importante que se pueda establecer una buena comunicación para que la extracción de los datos relevantes sea satisfactoria. Lo deseable sería que el dibujante pudiese realizar su elección sobre los datos *crudos* suministrados en formatos manejables.

En definitiva, es habitual y razonable combinar varias modalidades de medición en un mismo levantamiento. La estación proporciona buenas plantas y secciones. Los escáneres (fotográficos o de láser) son adecuados para obtener ortofotos, secciones y análisis de superficies complejas. Las fotografías rectificadas simplifican las mediciones sobre paramentos planos. La medición manual con cintas, distanciómetros, niveles y plomadas sigue siendo un método insustituible como complemento a los anteriores e incluso puede resolver levantamientos sencillos con suficiente precisión.

3.1.1.g El levantamiento de las bóvedas del Colegio

Documentación gráfica existente

La documentación gráfica del Colegio es escasa. Como se ha expuesto en el capítulo anterior, las trazas iniciales han desaparecido y, a pesar de la prolongación de los trabajos hasta el siglo pasado, no consta la existencia de ningún documento gráfico histórico de carácter técnico y aun las representaciones artísticas del exterior del edificio son escasas.

La siguiente relación da cuenta de la documentación gráfica de la que se tiene noticia:

- Trazas del Colegio 1592. Perdidas.
- Memoria de Pérez de los Cobos, 1919. Dibujos y fotografías no localizados.
- Proyecto de Mejoras. Claustro viejo, 1942. Autor desconocido.

- Levantamiento de la Dirección General del Patrimonio Artístico, Archivos y Museos, 1979.
- Levantamiento de la Dirección Xeral do Patrimonio de la Xunta de Galicia, 1984. Proyecto de restauración de Meijide Calvo.
- Documentación gráfica del informe pericial de la empresa Euroconsult-CEBTP, 1993.
- Proyecto de reforma de la escalera principal, 1999.
- Proyecto de acondicionamiento de la escalera de Meijide Calvo y Meijide Tomás, 2000.

La exactitud de esta documentación gráfica es escasa en las partes que atañen a las bóvedas. De ella solo se han utilizado las plantas generales del levantamiento de Meijide Calvo de 1984 para la ubicación en la planta de las distintas bóvedas.

En cada capítulo se analiza la documentación gráfica previa de cada bóveda. El criterio seguido ha sido elaborar los nuevos levantamientos prescindiendo de la documentación anterior. Como mantienen Swallow et al. (2004, 61; 64-65):

> One technique that is not recommended is to attempt to use an old plan as the basis of an accurate new one. Long experience has shown that this is very much a case of «new wine in old bottles» -it only work for the production of simplified dimensioned sketches. =[...]=
> [...] all drawn material should be treated with some degree of caution. Drawings may show designs that were never executed, or were subsequently modify on site, and, of course, they may be of dubious accuracy. No survey or architectural drawing should be taken on trust, but should be checked carefully against the building itself before any reliance is placed on it.

Métodos utilizados

El método principal utilizado para la toma de datos fue la estación total sin reflectante. Se empleó el procedimiento del estacionamiento libre con dianas marcadas en los espacios a levantar. La posición de esta dianas se registró en todos los estacionamientos para garantizar la unión con precisión de los diferentes archivos.

En las tomas de datos se emplearon distintas estaciones.[28] Todas, excepto una, estaban equipadas con puntero láser coaxial visible, de gran utilidad para la medición de bóvedas altura moderada al evitar la necesidad de enfocar cada punto con el

28. Trimble-3605-DR y M3 DR 200; Topcon GTP 6005; Leica TCR407, TCR705 y TCR805 U.

telescopio de la estación.[29] En las bóvedas altas (nave, presbiterio y cúpula) y el exterior de la linterna se acopló un ocular acodado para poder enfocar puntos situados en el entorno de la vertical de la estación.

Se elaboró un protocolo para el tratamiento de los datos que se aplicó en todos los casos. La única excepción fue la cúpula, cuyo proceso particular se explica en el capítulo 4. Este esquema ha resultado de gran utilidad para garantizar el tratamiento coherente de la información. El flujo de trabajo se resume en los seis siguientes pasos:

1. Cada estacionamiento se identifica con un número de dos cifras. Se croquiza la bóveda que se levanta y se anotan los rangos de los números que se corresponden con cada elemento constructivo (barrido horizontal, barrido vertical por el eje del arco, despiece de la bóveda, etc.). El registro de puntos se inicia por las dianas o puntos de control.

2. Los archivos se vuelcan al ordenador en formato dxf, se abren en un programa de CAD[30] y se convierten a su formato nativo (dwg). Se ajustan tamaños de puntos y letras. Se guardan copias de estos archivos.

3. Un duplicado de los archivos anteriores se organiza con una estructura de capas compleja en la que se clasifican los elementos registrados. El nombre de cada capa va precedida del número del archivo. Los puntos se unen con poligonales ordenadas según capas creadas. Tras este paso quedan preparados para ser ensamblados.

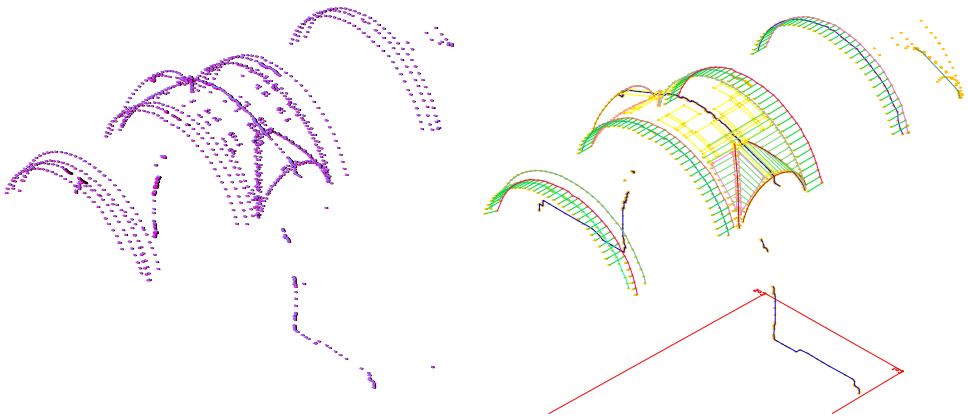

Figura 3.15. Nubes de puntos de una bóveda de la nave en los pasos 2 y 3

29. De hecho, el único equipo sin puntero visible, que se utilizó en el levantamiento de la linterna (en los exteriores el puntero no es visible y siempre hay que recurrir al visor) resultó inservible para registrar los despieces de las pequeñas bóvedas de la torre, que se habían previsto en la misma sesión. No fue posible orientarse en un objeto tan próximo a través de un objetivo con tanto aumento.

30. AutoCAD de Autodesk.

4. Se unen los distintos archivos correspondientes a un mismo espacio, haciendo coincidir los puntos de control. Una vez unidos se dibujan dos líneas ortogonales de referencia (de distinta longitud), que abrazan a la nube de puntos sin interferir con ella y que servirán de referencia rápida para la alineación de las proyecciones. Los archivos ensamblados de cada espacio se renombran y guardan.

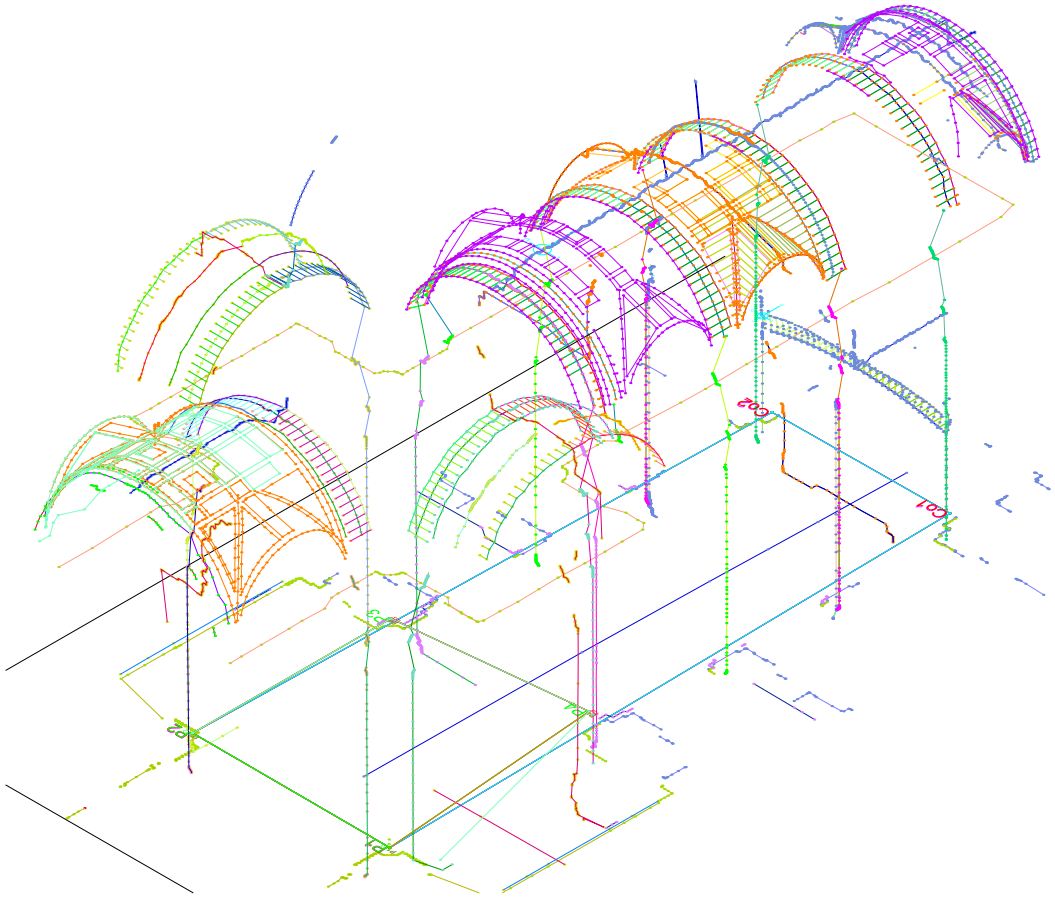

Figura 3.16. Paso 4: el archivo anterior unido al resto de los de la nave, crucero y presbiterio

5. Una copia de los archivos del paso 4 se exportan a un programa de modelado tridimensional.[31] Un algoritmo del programa ejecuta las proyecciones ortogonales en las tres direcciones principales del espacio. Estas proyecciones se exportan de nuevo al programa de CAD en un nuevo archivo, ahora plano, que conserva la estructura de capas creada en el paso 3.

31. Rhinoceros de Robert McNeel & Associates (http://www.es.rhino3d.com/).

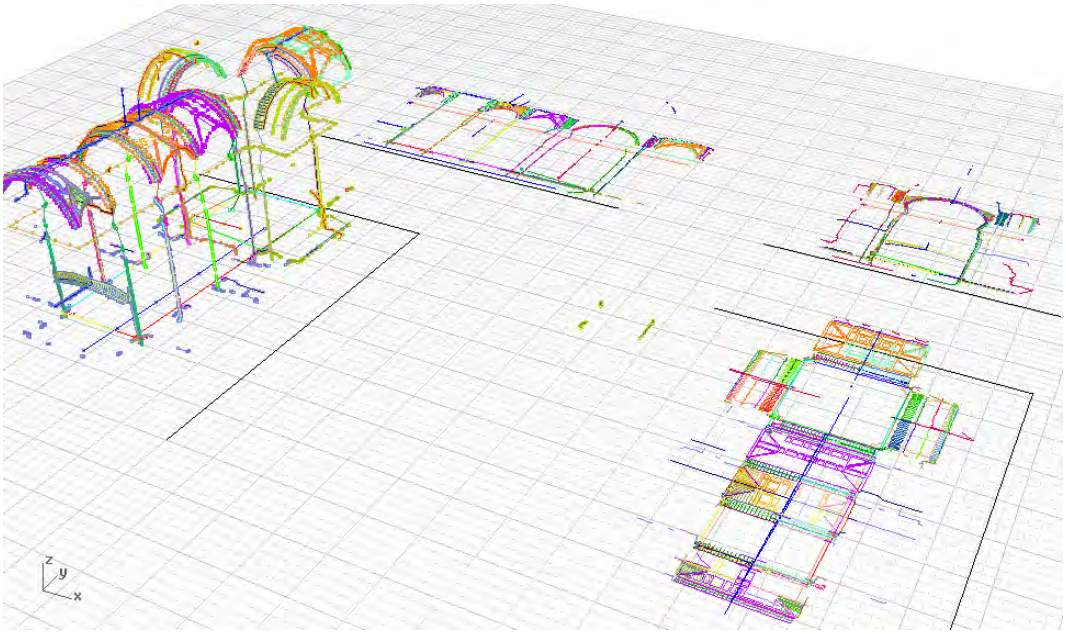

Figura 3.17. Paso 5: proyecciones ortogonales automáticas de puntos y poligonales obtenidas con el programa Rhinoceros

6. Sobre las proyecciones de puntos y poligonales se ejecutan los dibujos de los planos, superponiendo una nueva estructura de capas para la ejecución de los dibujos. Los datos de la estación se complementan con croquis, y fotografías.

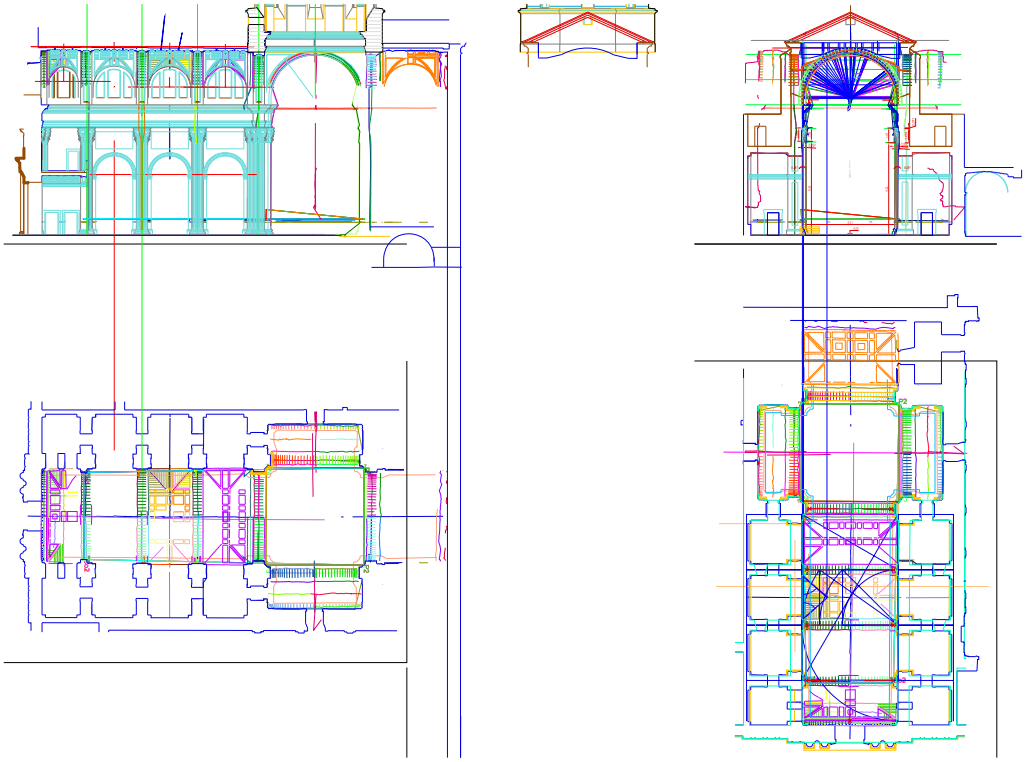

Figura 3.18. Paso 6: dibujos superpuestos sobre las proyecciones planas de las poligonales

En el último año se han podido utilizar dos programas de escáner fotográfico con computación en nube,[32] que han resultado de utilidad en el registro de los despieces de las bóvedas del claustro, del presbiterio y de la torre, y para el análisis de las pechinas.

Se tomaron fotografías barriendo exhaustivamente las bóvedas. Para obtener tomas elevadas la cámara se montó en una pértiga. Estas fotografías se procesaron en nube con el programa 123D Catch, que resultó el más cómodo de utilizar. Con él se obtuvo para cada bóveda una *piel* tridimensional con textura fotográfica. Los modelos se orientaron y escalaron con el programa Rhinoceros, y se mezclaron con las nubes de puntos de la estación cuando se disponía de esos datos. Los modelos, se proyectaron ortogonalmente, obteniéndose las ortofotos. También se pudieron cortar para obtener las líneas de sus secciones. En los casos en los que se contaba con un barrido de la estación por la misma sección se compararon los dos resultados pudiéndose observar una buena correlación.

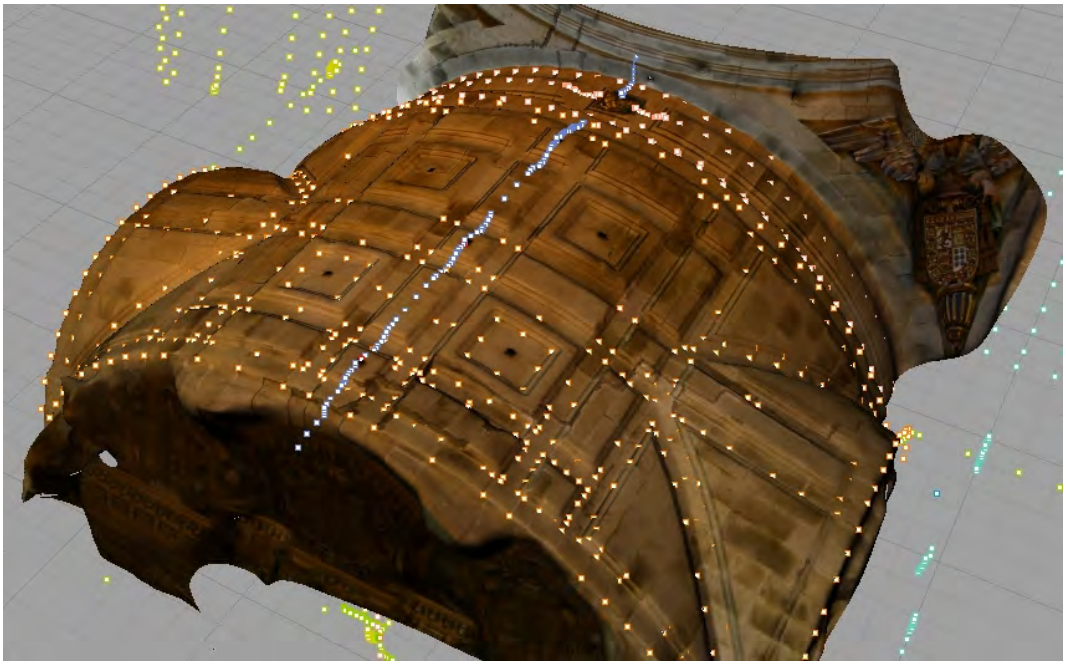

Figura 3.19. Modelo tridimensional de la bóveda del presbiterio obtenido con el programa de escáner fotográfico 123D Catch, y su correlación con los puntos tomados con la estación

32. ARC-3D y 123D Catch (véase nota 25).

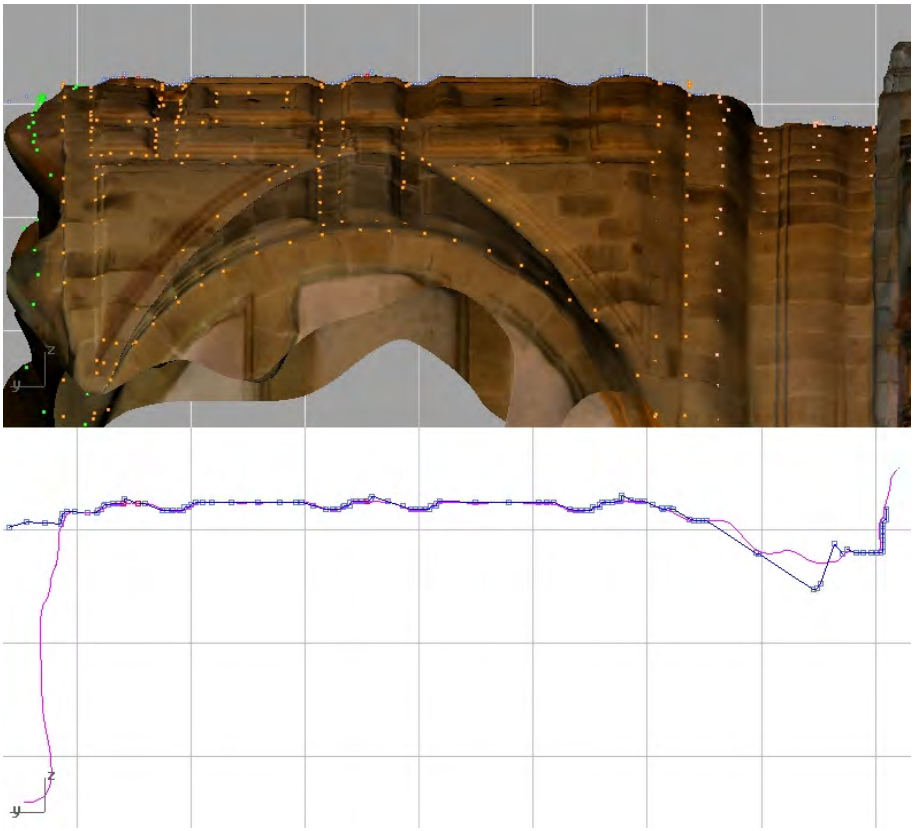

Figura 3.20. Bóveda del presbiterio: ortofoto lateral izquierda. *Arriba*: malla y puntos de la estación. *Abajo*: comparación entre la sección obtenida de la estación (azul) y la que resulta de cortar la malla (magenta). (La estación recoge el vértice del pinjante de madera situado en la clave del toral, por eso las diferencias en la parte derecha).

3.1.2 Estudio metrológico

3.1.2.a El sistema de medidas en el siglo XVI

Desde la Antigüedad hasta la implantación del Sistema Métrico Decimal los sistemas de medidas estaban basados en unidades relacionadas con las condiciones de vida y, particularmente, con las formas de trabajo. Por ejemplo, la superficie que un par de bueyes pueden arar en un día es una unidad que aparece en diversas culturas agrarias; otras medidas para las distancias fueron el alcance del lanzamiento de una piedra, la distancia a la que se puede oír el mugido de un buey o lo que abarca por la vista desde la grupa de un camello, unidades que se derivan de las características de la sociedad que las utiliza (Kula 1980, 4-6). Cada cultura y época ha recurrido a distintos sistemas de medidas de cuyo estudio se ocupa la Metrología Histórica. Su grado de elaboración y su capacidad de influencia en las culturas vecinas ha sido

proporcional al grado de evolución y de poder de cada cultura, y de la intercomunicación comercial, en cierta similitud con las dinámicas de influencias que siguieron las distintas lenguas (Petrie 1879, 106; Kula 1980, 149). En las medidas cortas, del orden de magnitud de la estatura humana, las unidades están referidas generalmente a la longitud de distintas partes del cuerpo. A estos sistemas se les denomina antropométricos y perviven todavía hoy en día en el Sistema Imperial británico.[33]

Codos y pies son unidades que aparecen en prácticamente la totalidad de las culturas del ámbito de Oriente Medio y el Mediterráneo. Esta coincidencia en absoluto significa unidad de sistemas, ya que las longitudes asignadas al codo o al pie varían de un lugar a otro y porque, al tratar sus divisores y múltiplos, la pléyade de nombres y razones multiplican las diferencias. Aun así, en general, se puede acotar una longitud de pie que oscila entre 27,5 y 33,5 cm y la equivalencia habitual para el codo es de 1 codo = 1,5 pies[34] (Pachón y Manzano 2002).

En la España medieval se utilizaron medidas derivadas del sistema metrológico romano, también de carácter antropométrico, basado en un pie dividido en cuatro palmas. Sin embargo, se le dio más protagonismo a la vara, equivalente a tres pies, que resultaba más cómoda para constructores y comerciantes (Merino 1999, 36). Las diferencias locales son notables: su longitud varía entre la vara de Teruel de 76,8 cm, que es la más pequeña y la de Alicante, de 91,2 cm la de mayor longitud.

Felipe II, en un afán por unificar el sistema de medidas, dictó una Pragmática en 1568 en la que establecía que «[...] la vara castellana que se ha de usar en todos estos reynos, sea la que hay, y tiene, la ciudad de Burgos [...]». Pero las medidas locales siguieron utilizándose y cuando se estableció el Sistema Métrico Decimal en España, en 1852, se contabilizaban hasta veinte sistemas de medida diferentes (Merino 1999, 15).

---

33. Sin embargo, Berriman ([1953] 1969, 1) sugiere el origen geodético de las medidas antiguas, que estarían basadas en el conocimiento de las dimensiones del radio de la Tierra. Esto contradice la idea de una referencia antropométrica.

34. La equivalencia del codo es más compleja y en ocasiones coexisten dos tamaños de codo en el mismo sistema. La longitud del *codo sagrado* que aparece en la descripción del templo de Salomón en Jerusalen (Ez 43:13) ocupó a numerosos tratadistas desde el Renacimiento, entre ellos Newton en su «Dissertation on Cubits» (Greaves 1737). La aplicación de la simbología bíblica y en concreto de la metrología sagrada en el monasterio de El Escorial se ha venido discutiendo desde su construcción hasta la actualidad (Cuadra 2009).

Tabla 3.1. Unidades de longitud castellanas del siglo XVI *

Unidad	Pies	Varas	Metros	Milímetros
Legua	20 000	6 666,66	5 572,7	
Estadal	11	3 2/3	3,06	
Estado, braza o toesa	6	2	1,67	
Vara	3	1	0,835905	
Codo o media	1 1/2	1/2	41,79	
Pie o tercia	1	1/3	0,2786	
Palmo mayor	3/4	1/4	0,2089	
Geme o sexta	1/2	1/6	0,1393	
Coto u octava	3/8	1/8	0,1044	
Palmo menor o doceava	1/4	1/12	0,0696	
Pulgada	1/12	1/36	0,0232	
Dedo	1/16	1/48	0,0174	
Grano = 1/4 de pulgada				4,35
Línea = 1/12 pulgadas				1,934
Punto = 1/12 líneas				0,161

* Elaborada a partir de Merino (1999, 15n10; 53-54)

Como se observa, se sigue una doble serie de divisores: la primera divide el pie entre potencias sucesivas de dos—división dicotómica—; el otro comienza con la división en tres partes. Este sistema de división de la unidad, por un lado en tercios, y por otro en medios y cuartos es una característica común de los sistemas de medida antiguos. Uno de los mayores inconvenientes que se le ha achacado al Sistema Métrico Decimal es la carencia de esta doble posibilidad de división (Kula 1980, 110).

En los planos de construcción del final del siglo XVI se encuentra una preferencia por la utilización del pie, la vara (3 pies) como su múltiplo, y sus divisores en potencias sucesivas de 2 (1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 y 1/64) pero también aparecen los divisores 3, 6 y 5. Las cotas que acompañan los planos se expresan en pies y sus fracciones, tanto detalles como medidas generales. (*Trazas de Juan de Herrera* 2001; *Herrera y el clasicismo* 1986; Nieto Oñate et al. 1990). Igualmente se recurre al pie para longitudes mayores, como la altura de las columnas o la longitud de la nave.

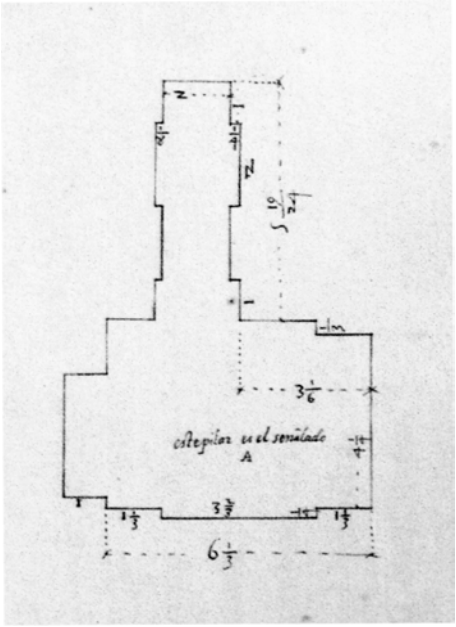

Figura 3.21. Cotas en un dibujo de Juan de Herrera: detalle del pilar de esquina del claustro del Palacio Cortesano de El Escorial (*Trazas de Juan de Herrera* 2001, 138) Obsérvense los distintos denominadores de las fracciones del pie.

En general, se reservan los nombres propios de los submúltiplos (dedo, pulgada, cuarta) y múltiplos (vara) para indicar las medidas de elementos aislados. En el Colegio se emplea el dedo para indicar el espesor de la cadena de hierro que ataría la cúpula, y la vara para la longitud del muro de cierre de los terrenos.

En el monasterio de El Escorial se utiliza el pie castellano, como consta en la escala gráfica o pitipié que acompaña a las estampas grabadas por Perret. En él se aprecia su división en cuatro palmos, dieciséis dedos y 128 minutos.

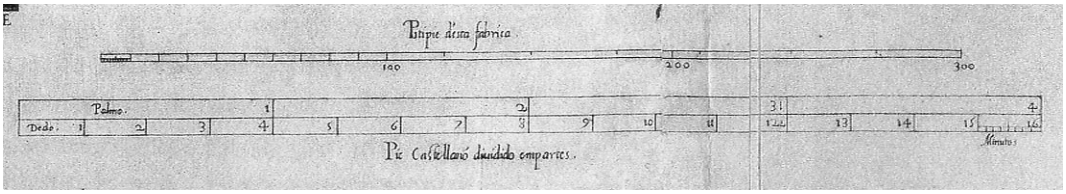

Figura 3.22. Pitipié de Herrera en la Quinta Estampa grabada por Perret

No siempre se dispone de documentación como la de El Escorial que permita traducir la longitud del pie a las unidades actuales. En algunos casos los patrones se

grababan en las fábricas para facilitar a los operarios la toma de medidas.[35] Si los patrones se conservan se pueden medir directamente. En los casos en los que se desconoce la unidad utilizada se puede recurrir a métodos inductivos, como el propuesto por el arqueólogo inglés Flinders Petrie (1879). Petrie propone obtener de las proporciones más simples entre las distintas medidas y comprobar posteriormente la coherencia de la unidad encontrada.

3.1.2.b La determinación del sistema de medidas utilizado en el Colegio

Es útil conocer la unidad utilizada en una construcción cuando se pretende estudiar su forma y las proporciones que se utilizaron en su diseño.

El pie es la unidad de medida a la que se recurre en el documento de *Condiciones* (apéndice A.1). Las distintas dimensiones se expresan en pies con los submúltiplos de cuarta (1/4 de vara ó 3/4 de pie), medio pie, tercios, cuartos, sextos, octavas y dedos (dieciseisavo de pie). Como múltiplos aparece citada la vara (= 3 pies). Trazas de la época muestran las dimensiones expresadas en unidades semejantes (*Trazas de Juan de Herrera* 2001; *Herrera y el clasicismo* 1986; Nieto Oñate et al. 1990), sin embargo no consta qué pie es el que se está utilizando.

Al haberse perdido las trazas históricas carecemos de una referencia semejante al pitipié de El Escorial para determinar la longitud del pie utilizado en el Colegio. En las tablas que publicó el Instituto Geográfico y Estadístico (1886, 35; 40), que establecían las equivalencias entre las medidas antiguas y el Sistema Métrico recién introducido, se indica una equivalencia de 1 vara = 0,855 m para la provincia de Lugo, lo que implica un pie de 28,5 cm. Para la de Ourense consigna la vara castellana (1 pie = 0,2786 m). Benítez García (1975) cita un pie monfortino de 32,5 cm.[36]

La indagación más completa sobre el pie del Colegio la realizó Freire (1994; 1998) en su estudio sobre la montea que se encuentran bajo la escalera principal. Comparó las medidas que aparecen reseñadas en las *Condiciones* con las reales. Para ello eligió las pilastras de la iglesia, el ancho de su puerta principal, las ventanas de

35. No es infrecuente que en un mismo edificio aparezcan dos sistemas de medida. En el monasterio de Veruela aparecen grabados hasta tres pies diferentes (López González y García Valdecabres s.d. *El levantamiento*...)

36. Dice haber tomado la información en el libro: "Pesas, Medidas y Monedas" del Ministerio de Agricultura, 3ª edición, que no he podido consultar.

las fachadas y el grosor del zócalo. De sus resultados seleccionó tres posibles valores para el pie: 28,127; 29,606 y 28,222 cm. La dificultad de este estudio radica en el hecho conocido de que el proyecto inicial sufrió importantes modificaciones. Freire, por ese motivo, eligió la iglesia considerando que habría sido la parte más cuidada durante las obras, y de ella las partes más bajas, que tendrían más probabilidades de haberse ejecutado siguiendo el diseño inicial al haber sido construidas en primer lugar. No fue así, como lo pone de manifiesto la dispersión de sus resultados.

Mi primer intento de conocer la longitud del pie consistió en la medición de un pilar toral de la iglesia y su traducción al sistema de submúltiplos del pie habitual. La descripción del pilar que figura en las *Condiciones* dice:

> Item es condición que el dicho maestro que la obra tomare ha de hacer las pilastras [...] y han de tener las dichas pilastras cuarenta pies de alto con basa e capitel y *cuatro pies de ancho y desporto tres octavas de pie*, y las pilastras de los pilares cantones tendrán *un pie de salida* [...] [cursiva añadida.]. (*Condiciones* 1992, Apéndice A.1 §8)

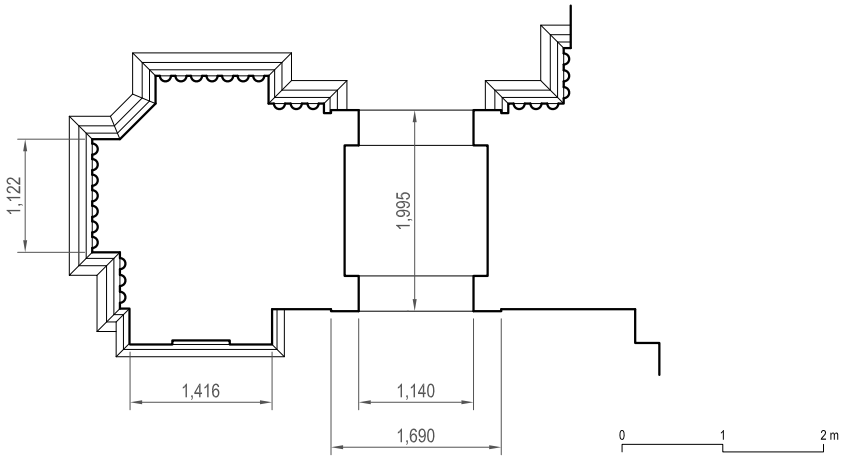

Figura 3.23. Dimensiones del pilar toral P-D

La figura 3.23 muestra la planta de uno de los pilares torales. Sus medidas principales y sus posibles equivalencias en pies son:

1,122 m = 4 x 28,05 cm

1,416 m = 5 x 28,32 cm

1,140 m = 4 x 28,50 cm

1,690 m = 6 x 28,17 cm

1,995 m = 7 x 28,50 cm

Los resultados, como se aprecia, son dispersos. Las longitudes son cortas y las propias tolerancias de construcción distorsionan las lecturas. Además, en estos elementos donde los acabados están tan cuidados es frecuente que los macizos se hayan reducido ligeramente por efecto del retundido posterior, que solía aplicarse para alisar e igualar los sillares (Rabasa 2000, 178).[37] Dos de las medidas coinciden con el pie de 28,50 m; el resto apunta hacia una dimensión que excede de los 28 cm pero que no se puede definir con más precisión.

Se necesitaba una medida más larga, de la que se conociese su equivalencia con algún número entero de pies. La luz de la cúpula no consta en las *Condiciones*, pero se sabe que se solían utilizar medidas enteras de pies y, generalmente, múltiplos varas. Se pudo acceder a la cornisa interior a través de un hueco del ochavo del tambor y medir directamente con distanciómetro los diámetros máximo (por el muro) y mínimo (por los nervios) a la cota más baja, la parte menos deformada.

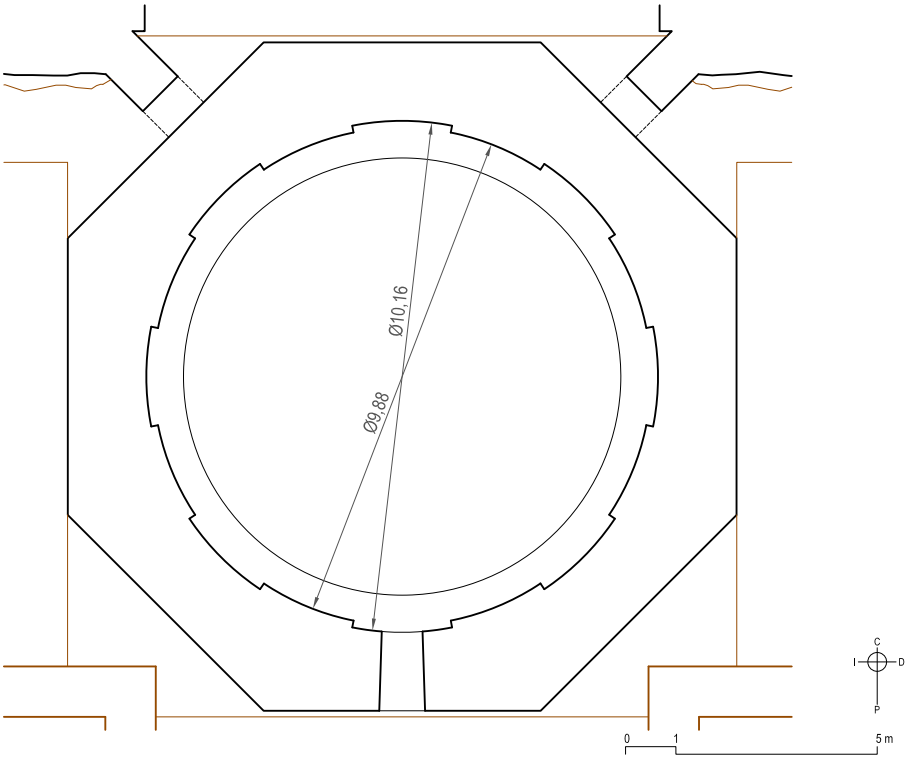

Figura 3.24. Medidas de los diámetros interiores del tambor tomadas con distanciómetro

37. Ortega (2000, 18n11) observó en el monasterio de El Escorial «que los pies de los vanos suelen ser "mayores" que los pies de los macizos; debido probablemente a las labores de retundido o repaso final de las superficies, que tenderían a dilatar ligeramente los vacíos y reducir los macizos».

Los resultados fueron concluyentes:

Diámetro máximo = 10,16 m = 36 pies de 28,22 cm.

Diámetro mínimo (nervios)= 9,88 m = 35 pies de 28,22 cm.

Los indicios que señalan hacia un pie de 28,22 cm son, por lo tanto, tres:

1. 28,22 cm es uno de los tres valores que Freire había obtenido anteriormente en su minucioso estudio;

2. la división del diámetro en 36 partes coincide con un número entero de varas: 12; y

3. los valores que resultarían de dividir el diámetro entre, bien 35, o bien 37, ofrecen resultados que se apartan, por exceso uno y por defecto el otro, del valor esperado (29,03 y 27,46, respectivamente).

Por estas tres razones se dedujo que 28,22 cm es la longitud del pie utilizado en la iglesia.

En toda la bibliografía consultada no se ha encontrado ninguna referencia a un pie de estas dimensiones. Una posible razón para esta longitud inédita podría deberse a los usos de la Compañía de Jesús. A partir de la Segunda Congregación General de 1565 se estableció la obligación de enviar todos los proyectos a Roma para su revisión. Los documentos incluían escalas gráficas en las unidades habituales en los distintos países: toesas, pies reales, *cannas*, *aunes*, pies alemanes... (los de España, varas). Ante la avalancha de diferentes medidas, los autores solían indicar la equivalencia entre su unidad y los palmos romanos, a veces con fórmulas del tipo: 1 vara equivale a 3 palmos y 3/4 (Vallery-Radot 1960, 6*-9*; 23*-24*; 140). Navarro García (1998, 195-196) ha llamado la atención sobre este aspecto y sobre la rotulación de un plano de obras en el Colegio Imperial de Madrid que se expresa la escala en «pies geométricos» (Vallery-Radot 1960, 460). Navarro García interpreta esta expresión como «la posible invención de medidas o de sistemas de equivalencias entre los hábitos utilizados por los arquitectos de la Compañía».

En una revisión de las descripciones de planos del libro de Vallery-Radot he encontrado otra posible explicación. La descripción del plano signado con la referencia 458, de un edificio sin identificar, contiene la siguiente anotación:

> Item la yglesia es segu[n] la de Valencia de la casa profesa; y assi tiene sus cruzeros [=] con linterna, y las capillas con cimborio y linterna, sin el cimborio grande en medio del cruzero con su linterna. = [...] = Todo lo qual aqui no se pone, por tener planta della trahida de Valencia [...]. (Vallery-Radot 1969, 123)

Se está utilizando la planta de una iglesia existente para un nuevo edificio. Si tenemos en cuenta que Andrés Ruiz (trazador de la iglesia) y Juan de Tolosa (responsable de los cambios del proyecto) se habían formado en la colegiata de Villagarcía de Campos, y la bien documentada influencia de su iglesia en la de Monforte, no se puede descartar una adaptación de las trazas de aquella (o de otra) a las dimensiones disponibles en el Colegio. Estaríamos ante una transformación homotética de la planta a la que acompañaría la longitud del pie para que las cotas y demás especificaciones en pies continuasen siendo válidas. Conste esta posibilidad como hipótesis para futuras investigaciones.

Todo este estudio metrológico debe ser tomado con cautela. En la obra intervinieron distintos maestros y los trabajos se paralizaron varias veces por largos períodos. Es posible que los diferentes contratistas utilizasen pies de distintas longitudes. Aun con esta salvedad, el pie de 28,22 cm ha resultado coherente con los análisis geométricos de las bóvedas de la iglesia— especialmente con la cúpula—, como puede apreciarse en las tablas y figuras de los capítulos 4 y 5.

Los múltiplos y submúltiplos que aparecen citados en las *Condiciones* y en la *Tasación,* y su equivalencia en centímetros se expresan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Sistema de unidades utilizado en la construcción del Colegio

	Ud.	*Múltipl.*				*Submúltiplos*			
Uds. Colegio	pie	vara	cuarta*	1/2	1/3	1/4	1/6	1/8	1/16**
Centímetros	28,22	84,66	21,17	14,11	9,41	7,06	4,70	3,528	1,76

* cuarta = 1/4 de vara = 3/4 de pie
** 1/16 pie = 1 dedo

El pie de 28,22 cm solo se adapta bien a las medidas de la iglesia. No resulta incoherente con las dimensiones de las bóvedas del claustro (figura 6.12). Las medidas totales del claustro, que habrían sido más reveladoras, no se pueden utilizar debido a las irregularidades de su planta.

No parece que haya sido utilizado en el resto de las bóvedas. No ha sido posible comprobarlo. Al tratarse de bóvedas de menor tamaño las tolerancias de construcción no permiten extraer resultados coherentes. En la sacristía, por la fecha más tardía de su construcción (1699), es probable que se hubiese utilizado el pie castellano (27,86 cm). Su acusada deformación dificulta la comprobación. La parte indeformada de los arcos, sin embargo, encajaría bien con este valor (diámetro de 7,42 m = 16 2/3 pies castellanos).

Fuera de este sistema, aparece en tres ocasiones la referencia a la *braza*, siempre en relación a trabajos de mampostería: «[...] tan solamente se ha de medir por brazas lo que fuere de mampostería [...]» (*Condiciones* 1592, Apéndice A.1 §70). En otro lugar se cita el patrón para la braza: «[...] las brazas con que se han de medir será la que está señalada en la puerta de la iglesia mayor de la ciudad de Orense que es la braza que comúnmente se usa en este reino en tales medidas [...]» (*Condiciones* 1592, Apéndice A.1 §72). Por la referencia al patrón podría tratarse de una medida exterior al resto del sistema utilizado. Cabe citar, aunque con carácter más anecdótico, la utilización de la medida del *canto de una moneda* para indicar la separación máxima de las juntas en los pilares de la iglesia: «[...] que no pase en las juntas el canto de un real de a ocho [...]» (*Condiciones* 1592, Apéndice A.1 §8). El uso del canto de las monedas como galga de las juntas aparece también en las condiciones del monasterio de El Escorial: «[...] y todas las juntas delos lechos sin portilladura alguna y tan delgada como un rreal de a cuatro y las juntas de arriba a baxo An de ser tan delgadas como un rreal de aocho [...]» (Archivo del Monasterio de El Escorial, IV-1, en Wilkinson 1991, 271n26).

En resumen, la medición directa de la parte baja del tambor ha resuelto la indeterminación existente sobre la unidad utilizada en la iglesia, que con casi total seguridad es un pie de 28,22 cm. Esta es una unidad inédita y su utilización puede deberse a las peculiaridades de los proyectos de los jesuitas. Este pie parece encajar también en las medidas de las bóvedas del claustro, pero no en el resto de las bóvedas del Colegio. En la sacristía se pudo haber recurrido al pie castellano. Otra hipótesis que se debe considerar es el uso del pie vigente en la provincia de Lugo, de 28,5 cm (Instituto Geográfico y Estadístico, 1886, 35).

3.2 Estudio constructivo

3.2.1 El contexto técnico de la arquitectura española a finales del siglo XVI

Cuando se comienza la construcción del colegio de Monforte el complejo siglo XVI se acercaba a su fin. La arquitectura gótica (o más propiamente *tardogótica*), ejemplificada en la bóveda de crucería, había alcanzado su esplendor con las obras de los Gil de Hontañón, Juan de Álava, o Hernán Ruiz el Viejo... Y al mismo tiempo, la nueva visión del mundo penetraba desde Italia con su nuevo repertorio de formas, se asentaba y alcanzaba su madurez. Ambos universos artísticos convivieron en plenitud a lo largo de la mayor parte del siglo y aun sobrepasaron su límite.[38] Una convivencia que se encarnó en los propios artistas, muchos de ellos productores de magníficos ejemplos de obras en los dos lenguajes: *modernas* (góticas) o a la *antigua* (clasicistas).[39] Esa «contemporaneidad de lo diverso» en palabras de Marías (1989, 36) ha sido ampliamente analizada en sus aspectos estilísticos.[40]

Desde el punto de vista técnico, la diferenciación entre las dos corrientes es menos acusada. Más bien se puede hablar de un repertorio técnico común, con influencias y contagios mutuos. Rabasa (2000, 183-184) ha señalado la evolución de las bóvedas de crucería, cada vez más cuajadas de nervios, con plementerías más gruesas y cuidadosamente labradas, convertidas en casquetes esféricos casi continuos. Chueca (1951, 111 ss.) en su análisis de la catedral nueva de Salamanca, ha interpretado el paso del rampante recto al rampante redondo como una evolución hacia la bóveda vaída renacentista. Marías (1991c, 72) mantiene que «nuestros arquitectos quinientistas no tuvieron verdadera conciencia de una diferenciación constructiva entre un tipo y otro de bóveda». Por ese motivo Alonso de Vandelvira puede recoger en su tratado un conjunto de bóvedas clasicistas despiezadas *por cruceros* (una técnica *gótica*), y, al mismo tiempo, cuando se enfrenta a una bóveda de crucería propone con naturalidad la labra de las nervaduras por el mismo procedimiento de desarrollos

38. Un fenómeno que no fue exclusivo de España. Se siguieron construyendo ya no solo bóvedas, sino edificios enteros góticos en Inglaterra y Centroeuropa. En España el edificio se adaptó al lenguaje clásico; lo que pervivió fue la bóveda de crucería (Gómez Martínez 1998, 15).

39. Diego de Siloé, Alonso de Covarrubias, Jerónimo Quijano, Andrés de Vandelvira, entre otros (Gómez Martínez 1998, 223).

40. Marías (1989, cap. 1; 1991c); Gómez Martínez (1998, 223-227).

utilizado para las bóvedas esféricas (una técnica *a la romana*) (Rabasa 2000, 184-185). Y qué decir de su repertorio de bóvedas encasetonadas: cuadrículas de nervaduras (lo *gótico*) conformando bóvedas vaídas (lo *romano*) (Rabasa 2000, 199-201; Bravo 2011). Abundando en la idea, las primeras hiladas de las cúpulas de El Escorial (comentadas en el capítulo 1), se aparejan con lechos horizontales en reflejo del proceder constructivo de los jarjamentos góticos, un recurso que igualmente se utilizará en las primeras hiladas de bóvedas de cañón (Rabasa 2000, 168) y en el aparejo de las pechinas (San Nicolás 1639, 79v).

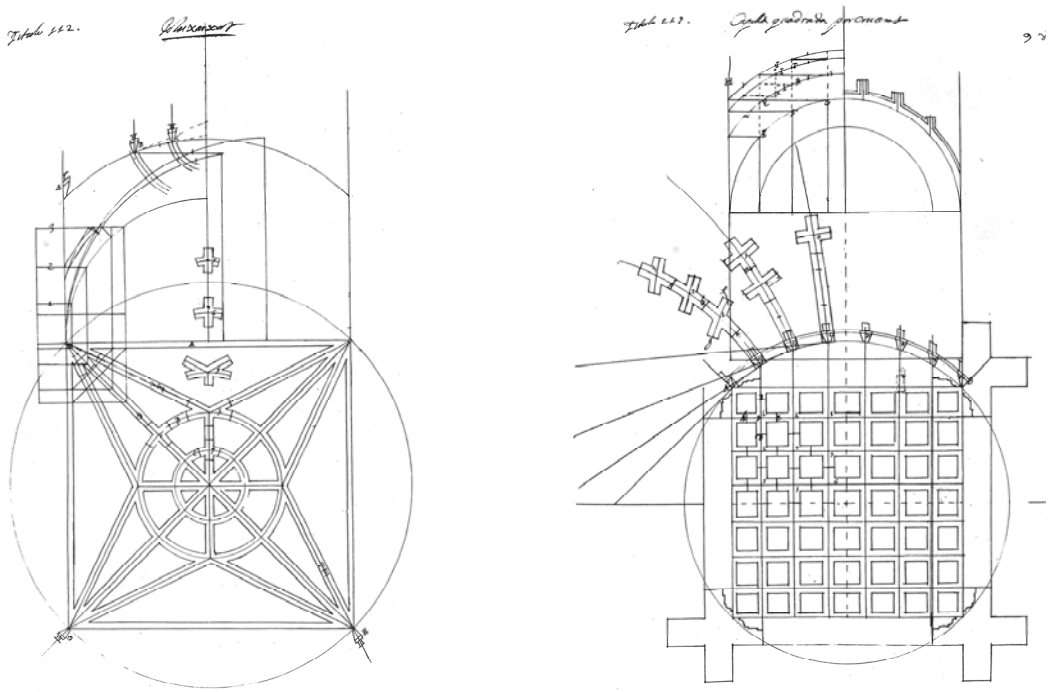

Figura 3.25. Tratado de Alonso de Vandelvira (ca. 1591). *Izquierda*: bóveda de crucería con nervios obtenidos por el procedimiento de las bóvedas esféricas (96v); *derecha*: bóveda vaída por cruceros (98r).

En definitiva, los artífices de bóvedas, en la medida en la que estaban en condiciones de construirlas en cualquier de los dos lenguajes, *no podían dejar de trasvasar* las ventajas técnicas de un sistema al otro y, como consecuencia, ambos se enriquecieron con esta convivencia. En el colegio del Cardenal se verán ejemplos de este proceder.

3.2.2 Los tratados

Con el Renacimiento comienza una rica producción de tratados, que transmiten los nuevos códigos clásicos pero, al mismo tiempo, recopilan el saber consolidado del oficio: «Nos han transmitido nuestros mayores artes numerosas y diversas, logradas con enorme esfuerzo y eficiencia [...]». Así comienza Alberti su tratado *De Re Aedificatoria*, el texto con el que —si se excluye la singularidad del de Vitruvio— se inaugura el género.[41]

La difusión de los textos, junto con el intercambio de arquitectos, será uno de los vectores de penetración de las formas clásicas. Copias manuscritas de Vitruvio son frecuentes en las bibliotecas de eruditos y artistas,[42] y el tratado de Alberti ejercerá una notable influencia, sobre todo en la segunda mitad del siglo XVI.[43] Le seguirán los de Serlio, Vignola, y Palladio, estos ya con ilustraciones. Circularán versiones italianas y pronto se traducirán al castellano.

En España y Francia las formas clásicas se ejecutarán en piedra. Como consecuencia aparecerán los primeros tratados de cantería en la segunda mitad del siglo.[44] En Francia, Philibert De L'Orme publica en 1567 *Le premier tome de l'Architecture*, cuyos libros III y IV están dedicados al corte de piedras. En España, tras las primeras trazas de cortes que se incluyen en el heterogéneo manuscrito de Hernán Ruiz II (ca. 1560),[45] Alonso de Vandelvira (ca. 1591)[46] produce el primer tratado especializado: *Libro de traças de cortes de piedras* (Bonet 1993, 109-111; Calvo 2009a, 120-125).

---

41. Alberti ([1485] 1991, 57). Sobre el carácter inaugural del tratado de Alberti véase Choay (1998).

42. Poseían copias de Vitruvio, entre otros, Lázaro de Velasco, Vandelvira y Hernán Ruiz II. Juan Bautista de Toledo tenía cinco ediciones y Juan de Herrera, once (Paniagua 1997). Tambien figura en el inventario de los libros de Simón de Monasterio (Fernández Gasalla 2003).

43. Rivera diferencia dos etapas en el siglo XVI español. La primera más centrada en Vitruvio y en la norma del lenguaje clásico y «una segunda etapa, plenamente albertiana, que comienza con la llegada de Felipe II al poder, y que se formulará al desarrollar su personal estrategia del Clasicismo desornamentado y de una arquitectura de fundamentos técnicos [...] esencialista y conceptual [...] de donde procederá su carácter abstracto y matemático. Juan Bautista de Toledo implantará este ideal clasicista, y Juan de Herrera y El Escorial se convertirán en sus codificadores» (Rivera 1991, 52).

44. No ocurrirá en Italia hasta bien entrado el siglo XVIII, con el tratado de Guarini (1737).

45. En Navascués (1974).

46. En Barbé-Coquelin (1977).

Los tratados de cortes de piedra españoles adoptan la forma de cuadernos manuscritos en los que se agrupan las distintas soluciones, con sus dibujos y explicaciones. Están pensados para el uso interno en los talleres más que para su publicación, y por esta razón omiten las explicaciones de las prácticas habituales y bien conocidas. Fueron bienes muy apreciados; se copiaban cuidadosamente y se transmitían en herencia de padres a hijos y de maestros a discípulos (Bonet 1993, 108).[47]

Lamentablemente muchos de estos documentos se han perdido. El tratado de Ginés Martínez de Aranda se dividía en cinco partes, de las que faltan dos, entre ellas la de bóvedas; conocemos el libro de Vandelvira por dos copias, ya que el original se ha perdido; se sabe que en El Escorial se recopiló un tratado de cortes de piedra, que también se perdió, al igual que los escritos por Francisco Lorenzo y Joseph Ximénez Donoso (Bonet 1993, 111; 114). En muchas ocasiones son textos cronológicamente más tardíos los que permiten conjeturar sobre su contenido.[48]

En el estudio de las bóvedas del Colegio los diferentes tipos constructivos se van a contrastar con los textos de los tratados. La mayoría de las veces se buscarán los cortes de piedra en los de cantería y en los más generales que incluyen cortes; en algunos casos interesará recurrir a los tratados teóricos (el caso de la definición tipológica de la bóveda de arista, por ejemplo). El ámbito temporal se extenderá más allá de los límites cronológicos de la construcción del edificio ya que, en muchas ocasiones, son procedimientos documentados tardíamente los que arrojan luz sobre prácticas constructivas anteriores.

En los apartados siguientes se listan cronológicamente de forma sintética los principales tratados y sus traducciones. El primer grupo se extiende hasta el final del siglo XVII, que coincide con el momento en el que empezó la obra de la sacristía del Colegio. El segundo abarca hasta el año 1799, fecha de publicación de la *Géometrie Descriptive* de Monge, con la que se inicia una nueva etapa para los textos de cantería.

---

47 . Sobre los tratados de cantería por extenso véase Calvo (2009a). También en Gómez Mártínez (1998, 41 ss.).

48. Ocurre con el «Cuaderno de Arquitectura» de Portor y Castro, cuyos epígrafes sobre bóvedas sugieren el contenido de esa parte que aparece mutilada en el de Martínez de Aranda (Calvo 2009a, 133). Sabemos del de Gil de Hontañón, perdido, por la copia incluida en el de Simón García. El de Vandelvira se conoce por copias del siglo XVII (Barbé-Coquelin 1977, 1:21-22).

3.2.2.a Tratados de los siglos XV, XVI y XVII

- ○ Manuscrito español
- ● Tratado impreso español
- ▲ Traducción al español
- ○ Manuscrito francés
- ● Tratado impreso francés
- ▲ Traducción al francés
- ○ Manuscrito italiano
- ● Tratado impreso italiano
- ▲ Traducción al italiano
- ○ Manuscrito alemán
- ● Tratado impreso alemán

Fecha		*Tipo*	*Autor*	*Título*
1465	ca.	○	Antonio Averlino Il Filarete	Trattato d'architettura
1482	ca.	○	Fancesco di Giorgio Martini	Trattato di architettura, ingegneria e arte militare
1485		●	Leon Battista Alberti	De Re Aedificatoria (presentada al papa en 1452)
1486		●	Matthaüs Roriczer	Puchlein von der fialen Gerechtigkeit (Libreto de los pináculos correctos)
1490	ca.	●	Matthaüs Roriczer	Geometria Deutsch (Geometría en alemán)
		?	Maestro WG	(bóvedas nervadas)
1521		▲	Vitruvio: trad. Cesare Cesariano	Diez libros de arquitectura
1526		●	Diego de Sagredo	Medidas del romano
1537		●	Sebastiano Serlio	4º Libro: Los cinco órdenes
1537	-1556	?	Anónimo: Pedro de Albiz?	De arquitectura
1540		●	Sebastiano Serlio	3º Libro: De las antiguedades de Roma
1545		●	Sebastiano Serlio	1º y 2º Libros: De la geometría; De la perspectiva
1547		●	Sebastiano Serlio	5º Libro: De los templos
1550	ca.	○	Rodrigo Gil de Hontañón	Manuscrito (en Simón García 1681)
1551		●	Sebastiano Serlio	Libro extraordinario: Puertas
1552		▲	SebastianoSerlio: trad.Francisco de Villalpando	Tercero y Quarto Libros de arquitectura
1554	-1560	▲	Vitruvio: trad. Lázaro de Velasco	Los X libros de arquitectura
1556		▲	Vitruvio: trad. Daniele Barbaro	Los diez libros de arquitectura
1560	ca.	○	Hernán Ruiz II	Libro de arquitectura
1560	ca.	▲	Vitruvio: trad. Hernán Ruiz II	Primer libro (incl. en su manuscrito)
1561		●	Philibert De L'Orme	Nouvelles inventions pour bien bastir er a petit frais
1562		●	Giacomo Barozzi da Vignola	Regola delle cinque ordini dell'architettura
1567		●	Philibert de L'Orme	Le premier tome de l'architecture
1570		●	Palladio	I quattro libri dell'architettura
1575		●	Sebastiano Serlio	7º Libro: De las situaciones (el 6º s/habitaciones manuscrito hasta 1966)

1578		▲	Palladio: trad. Juan del Ribero Rada	Los cuatro libros de arquitectura
1582		▲	Vitruvio: trad. Miguel de Urrea	De arquitectura
1582		▲	Alberti: trad. Francisco Lozano	Los diez libros de architectura
1585	-1587	●	Joan de Arphe y Villafañe	De varia commesuración para la escultura y architectura
1591	ca.	○	Alonso de Vandelvira	Libro de traças y cortes de cantería
1593		▲	Vignola: trad. Patricio Cajés	Regla de los cinco órdenes de architectura
1598		●	Cristóbal de Rojas	Teoría y práctica de la fortificación...
1600	ca.	○	Alonso de Guardia	(trazas de montea manuscritas en otro libro)
1600	ca.	○	Ginés Martínez de Aranda	Cerramientos y trazas de montea
1605		●	Pseudo Juanelo Turriano	Los veintiún libros de ingenios y máquinas
1615		●	Vicenzo Scamozzi	L'Idea dell'Architettura Universale
1625		▲	Palladio: trad. Francisco de Praves	Libro primero de la architectura (órdenes)
1625		▲	Palladio: trad. Francisco de Praves	Libro tercero de la architectura (caminos, calzadas y puentes)
1639		●	Fray Lorenzo de San Nicolás	Arte y uso de la architectura I
1640		●	Desargues	Brouillon project d'exemples... coupe de pierres...
1642		●	Mathurin Jousse	Le secret d'architecture
1643		●	Bosse	La pratique du trait... Desargues...coupe de pierres
1643		●	Derand	L architecturedes voûtes...coupe des voûtes
1653		○	Joseph Gelabert	Verdaderas traçes del art de picapedrer
1661		●	Juan de Torija	Breve tratado de todo género de bóvedas
1665		●	Fray Lorenzo de San Nicolás	Arte y uso de la architectura II
1673		▲	Vitruvio: trad. Claude Perrault	Los diez libros de arquitectura
1673		●	Nicolas-François Blondel	Résolution del quatre... problemes d'architecture
1674		●	Milliet-Dechales (o Deschales)	De lapidum sectione (en latín) en Cursus...
1675		●	Nicolas-François Blondel	Cours d'architecture ...Academie Royale
1678		●	Caramuel y Lobkowicz	Arquitectura civil recta y oblicua
1681		○	Simón García	Compendio de Architectura y simetría del los templos...
1682		●	Antoine Desgodetz	Les edifices antiques de Rome dessinés et mesurés très exactement
1688	-1690	○	Philippe de La Hire	La Couppe des Pierres (método general para bóveda de arista)

3.2.2.b Tratados del siglo XVIII

Fecha		*Tipo*	*Autor*	*Título*
1707		●	Tosca	Compendio mathemático... Tomo V
1708		○	Juan de Portor y Castro	Cuaderno de Architectura
1728		●	De la Rue	Traté de la coupe de pierres
1737		●	Guarino Guarini	Architettura civile (escrito después de 1678)
1737	-1739	●	Frézier	La théorie et la practique de la coupe de pierres...
1750	ca.	○	Andrés Julián de Mazarrasa	Tratado de arquitectura
1767		●	Plo y Camín	El arquitecto práctico civil, militar y agrimensor
1771	-1777	●	Jacques-François Blondel	Cours d'architecture civile (completado por Pierre Patte)
1783		●	Benito Bails	Elementos de matemática (Tomo IX - Parte I: De la Arquitectura Civil)
1792		●	Simonin	Traité Eléméntaire de la coupe de pierres ou l'art du trait
1795		●	Monge	Leçons de géometrie descriptive
1795		▲	Simonin: trad. Martínez de la Torre; Asensio	Tratado elemental de los cortes de cantería o arte de la montea
1797		▲	Palladio: trad. Ortiz y Sanz	Los cuatro libros de arquitectura
1799		●	Monge	Géometrie Descriptive

3.2.3 Los documentos de obra

Documentos de condiciones, contratos, capitulaciones, tasaciones, peritajes y pareceres constituyen una documentación del mayor interés para el estudio de las prácticas constructivas.

El archivo del Colegio contiene varios de estos documentos. Entre ellos el de *Condiciones para la construcción del Colegio de Monforte de Lemos*, utilizado en la subasta de las obras en 1592 (figura 2.5), y el que incorpora la tasación y nuevas condiciones de Juan de Tolosa: *Tasación de lo obrado y cláusulas para la prosecución del Colegio de Monforte de Lemos*, de 1598, ambos manuscritos. Fueron transcritos y publicados por el historiador Armando Cotarelo Valledor en el apéndice documental de su obra sobre el cardenal don Rodrigo de Castro (Cotarelo 1945-1946). Por su interés, se han copiado en el apéndice A.

Una copia de la transcripción de Cotarelo se incluye en Vázquez Fernández (1991). Extractos ordenados de la documentación del archivo se han publicado en Lorenzana (1989).

Condiciones para la construcción del Colegio de Monforte de Lemos

Consta de 84 párrafos estructurados en dos partes. La primera contiene las condiciones para la construcción de la iglesia; la segunda, claramente diferenciada, las de las *casas* y *escuelas*.

Las condiciones se ordenan siguiendo el proceso constructivo. Comienzan por la zanjas y cimientos y continúan con enlosados, pilastras, arcos, capillas hornacinas, ventanas, coro, cornisas, arcos de la nave, pechinas, cornisa de la cúpula, lunetos, fachada, bóvedas de la iglesia, tejados, campanario, altares, solados, tambor, cúpula, linterna, cupulino y pirámide. Siguen las condiciones de los materiales: cantería, mampostería, morteros y modo de avanzar en la obra; y finaliza con cláusulas administrativas: fianzas, dedicación a la obra, sujeción al proyecto y prohibición de traspaso. Intercalado en distintas parte se menciona la obligación de tomar como referencia a Vignola. La parte de la casa y escuelas repite el mismo orden: cimientos, bóvedas del sótano, muros, ventanas, cornisa, puertas, patios, escaleras, y las cláusulas administrativas finales.

El documento se entiende unido a las trazas dibujadas (perdidas), a las que hace referencia con frecuencia. Es prolijo indicando dimensiones menudas, pero omite todas las globales que, con toda seguridad, aparecían expresadas acotando los dibujos.

La obra que se describe difiere de la construida:

- las bóvedas de capillas e iglesia se describen de albañilería
- el coro se asienta en tres arcos , con bóveda de ladrillo
- hay un único campanario, centrado en la cabecera
- la cúpula carece de tambor y arranca a la altura de los caballetes de cubierta
- varían las alturas de la nave y la cúpula, y las dimensiones de la linterna.

La transcripción de Cotarelo adapta la ortografía del texto, posiblemente para hacerlo más legible. Las diferencias con una transcripción parcial de Martínez González (2000, 13) lo pone de manifiesto. Cotarelo no explicita la adaptación que utiliza.

Tasación de lo obrado y cláusulas para la prosecución del Colegio de Monforte de Lemos

En la parte de tasación se describen y valoran las obras ejecutadas y se indican los precios con los que se pagarán las pendientes de ejecutar. No queda clara la qué parte es la ya ejecutada. Se tasan cimientos, puertas y ventanas, fábricas almohadilladas, bóvedas, arcos de los patios, puertas exteriores y escaleras. A continuación se listan las nuevas condiciones para cimientos, morteros, puertas y ventanas, patios, enlosados, escaleras y chimeneas. Tras las habituales condiciones administrativas se añaden otras para la construcción de la cerca exterior y de un puente. El texto hace referencia expresa a cambios efectuados en las trazas durante la obra (*Tasación* 1998, Apéndice A.2 §27).

Documentos de otros edificios

Una recopilación de todas las fuentes documentales escritas de Galicia está disponible en Vigo et al. (2000), si bien los documentos no se transcriben completos. Se han manejado también las transcripciones de la documentación de la construcción del monasterio del Escorial (Bustamante 1984) y de la catedral de Segovia (Cortón 1990; Ruiz Hernando 2003).

3.3 Estudio mecánico

El estudio de la estructura se ha limitado al análisis de su estabilidad. Se trata de una comprobación teórica ya que las bóvedas están en pie y, por lo tanto, su equilibrio —al menos en su estado límite— es posible. No contempla una investigación teórica, que ya ha sido efectuada por otros autores y de los que existe abundante bibliografía.

Lo que se persigue es conocer su grado de eficacia de las bóvedas y relacionarlo con su geometría y su construcción. En concreto se busca:

a) calcular el coeficiente de seguridad geométrico de las bóvedas cuya estabilidad ofrece *a priori* más dudas, e
b) interpretar de forma racional las deformaciones.

3.3.1 Marco teórico

Desde los años 1930 se sabe que los cálculos elásticos no predicen correctamente los estados tensionales en las estructuras *reales*. Los experimentos sobre entramados de acero que entonces realizó el equipo de lord Baker, en Reino Unido, descubrieron cómo pequeñas irregularidades en la construcción generaban esfuerzos muy diferentes de los calculados. La investigación de esta constatación dio lugar a una nueva teoría de estructuras, la Teoría Plástica, o Análisis Límite, que inicialmente se aplicó a vigas y pórticos de acero (Heyman 2001, 114-118).

En el marco de esta nueva teoría el proyectista renuncia a conocer el estado de tensiones *real* de la estructura: cualquier pequeño cambio imprevisto modifica su valor. La preocupación del técnico se reorienta hacia la determinación de la carga que provocaría el colapso para asegurarse, finalmente, de que la estructura soportará cargas siempre por debajo de ese valor.

La Teoría Plástica, que al principio se basó en resultados empíricos, recibió su ratificación científica a mediados del siglo XX con la demostración de sus tres teoremas fundamentales.[49] Estos son:

49. La primera demostración la realizó el ruso Gvozdev en 1936, pero pasó desapercibida y los teoremas se volvieron a demostrar en los años 1949 y 1950. Para la evolución histórica de la teoría plástica ver Heyman (2001; 2004) (Heyman participó en el equipo de lord Baker), Huerta (2004) y Kurrer (2008).

1. *Teorema de la unicidad*: para una estructura determinada la carga de colapso es única.

2. *Teorema del límite superior* (o de la inseguridad): la carga de colapso calculada para un mecanismo de colapso elegido arbitrariamente siempre es mayor (o igual) a la carga de colapso real.

3. *Teorema del límite inferior* (o de la seguridad): si para un estado de carga es posible encontrar un estado de equilibrio que no viole las condiciones de cedencia del material, esa carga es inferior a la carga de colapso y la estructura no colapsará.

A pesar del rigor científico de la teoría plástica y de las deficiencias encontradas en los resultados del modelo elástico, los métodos elásticos se siguen aplicando generalizadamente en las estructuras contemporáneas. Dado que suponen un estado de tensiones posible (aunque el proyectista elástico crea que es el *real*), su validez se ve amparada, paradójicamente, por el teorema plástico de la seguridad: si consigue un estado de equilibrio para unas cargas determinadas, estas serán inferiores a las de colapso. La diferencia estriba en que el material utilizado —las secciones prescritas—, serán, con toda probabilidad, mayores que las necesarias.[50]

Pero en el caso de las estructuras de fábrica los métodos elásticos no conducen a un cálculo correcto ni garantizan que sea seguro. Las hipótesis que fundamentan la teoría elástica no se dan en las fábricas: el material no es homogéneo, ni isótropo, no se deforma elásticamente y las condiciones de contorno son desconocidas. Pero, sobre todo, la peculiaridad de las estructuras de fábrica radica en que su condición crítica no es la resistencia, que siempre se mantiene muy por debajo de la admisible,[51] sino la estabilidad: es un problema de equilibrio (Huerta 2001c). Por esta singularidad estas estructuras han demandado un método de cálculo particular.

La teoría científica para el cálculo de las estructuras de fábrica (en concreto de los arcos de fábrica) se formuló en el siglo XVII, arrancando con la genial intuición de

50. Véase el «ejemplo de la lechera» de Heyman (2001, 123 ss.) que explica el «rescate» que el comportamiento plástico hace del erróneo análisis elástico.

51. Huerta (2004, 28-29) comenta las tensiones máximas que se dan las grandes construcciones de fábrica. Es habitual que en edificios se mantengan uno o dos órdenes de magnitud por debajo de las de rotura.

Hooke de la analogía de la cadena.[52] Durante el siglo XVIII los matemáticos e ingenieros ingleses tantearon la aplicación de la teoría de Hooke al diseño correcto de la forma de los arcos, mientras que los franceses se centraron en establecer un modelo que predijese el empuje contra los estribos. Finalmente, la idea que permitió comprender ambos problemas (la forma del arco y su empuje) fue el concepto de *línea de empujes*.

La comprensión de la línea de empujes aparece en 1817 en Young pero permaneció oculta debido a su estilo oscuro y no trascendió a la comunidad científica (Huerta 2005e). Se redescubrió en la década de 1830, casi simultáneamente en Francia, Alemania, Inglaterra.

La elegancia de la teoría elástica que Navier enunció en 1826 condujo a la teoría de arcos hacia la utilización de los métodos elásticos para determinar la línea de empujes. Este enfoque se mantuvo como el único correcto sin discusión hasta que, a principios del siglo XX, se comenzó a cuestionar su validez.

Para las estructuras tridimensionales — las bóvedas—, el problema es distinto y la evolución de su teoría es menos conocida (Huerta 2008). Otra vez es Hooke, en compañía de Wren quien propone la primera aproximación científica al problema, que además se aplica en la cúpula de la catedral de San Pablo en Londres.[53] La necesidad de manejar la complejidad que entraña el problema espacial de una forma asequible condujo ya muy tempranamente al desarrollo del llamado *método de los cortes*:[54] una simplificación que reduce el problema espacial a un análisis plano y cuya validez ha sido ratificada por la moderna Teoría de las Estructuras de Fábrica.

---

52. «Del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así, pero invertido, se sostendrá el arco rígido» (1675). Poco despues de Hooke, en 1697, Gregory estableció la necesidad de que el arco pudiese contener en su interior una catenaria, otra aportación clave para la comprensión del comportamiento del arco.

53. Hooke propone una parábola cúbica como la mejor forma para una cúpula (Huerta 2008).

54. Huerta (2004, 346-347; 2008) mantiene que el método de los cortes aparece por primera vez en el tratado de Frezier (1737-1739, 3:388). Poleni sentenció la polémica sobre el estado de equilibrio de la cúpula de San Pedro utilizándolo (Heyman 1995b, 303 ss.; López Manzanares 1998, 278 ss.). Es el método que se ha seguido en este trabajo.

3.3.1.a La Teoría Moderna de Estructuras de Fábrica

Se debe a Heyman (1966; 1999) la adaptación de la Teoría del Análisis Límite de Estructuras a las estructuras de fábrica.[55] Para que los teoremas fundamentales se puedan aplicar a las fábricas el material debe cumplir tres hipótesis:

1) no resiste tracciones,

2) la resistencia a compresión es infinita, y

3) el fallo por deslizamiento no es posible.

La primera de las hipótesis se mantiene del lado de la seguridad: aunque los bloques de piedra tienen una cierta resistencia a tracción, su valor es despreciable o nulo en las juntas. La segunda hipótesis podría ir en contra de la seguridad; la evidencia empírica demuestra que solo excepcionalmente aparecen problemas de resistencia, por lo que en la práctica es una afirmación razonable. La tercera hipótesis también va en contra de la seguridad. Sin embargo, las fuerzas de rozamiento son altas en las fábricas y los fenómenos de deslizamiento infrecuentes. Este aspecto está relacionado con la disposición de las juntas entre las piedras y debe vigilarse la inclinación de los empujes para que no sobrepasen el ángulo de rozamiento.

Al considerar que la resistencia es infinita el colapso no se produce por la rotura del material, sino por la formación de un número suficiente de rótulas que convierten a la estructura en un mecanismo. Una rótula se produce cuando la línea de empuje se acerca al borde de la sección lo suficientemente como para que se generen tracciones. La junta no las puede absorber y responde abriendo una grieta. La apertura de grietas es, por otro lado, la respuesta normal del arco a cualquier pequeño movimiento de sus apoyos. Este agrietamiento modifica la posición de la línea de empujes y el valor del empuje horizontal: si el movimiento es de apertura adoptará el valor mínimo; si es de cierre, será el máximo. La línea de empujes real se encontrará entre estos dos valores extremos.

55. Antecedentes parciales se deben a Kooharian y Praguer (Huerta 2004, 88).

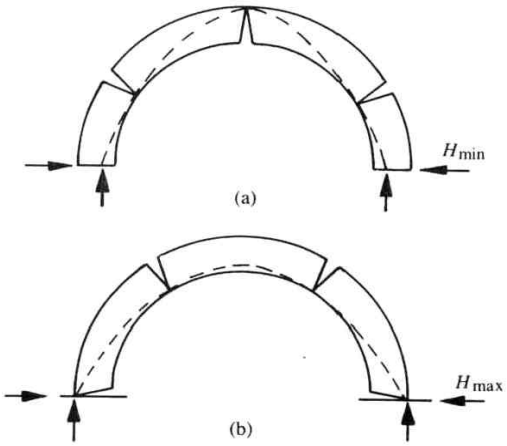

Figura 3.26. Empujes máximos y mínimos del arco de medio punto sometidos a su peso propio (Heyman 1999, 21)

Un arco con tres rótulas es una forma estable. La apertura de una cuarta rótula, sin embargo, creará un mecanismo y conducirá al colapso. Para que esto no suceda la línea de empujes deberá ceñirse a los límites de la sección de la fábrica. Si esto ocurre el arco se mantendrá en un equilibrio de compresiones y el colapso no se producirá.

De los tres teoremas de la plasticidad, el de la Seguridad se convierte en el *teorema fundamental* para el análisis de las estructuras de fábrica. Permite que se pueda asegurar la estabilidad aunque no se sepa la posición *real* de la línea de empujes: si se puede dibujar *una* línea de empujes en el interior de la fábrica, la estructura será estable. Su importancia reside en que el interés no es saber cuál es la carga de colapso, sino en encontrar un estado posible de equilibrio.

3.3.1.b Bóvedas

El enfoque del equilibrio que se aplica a arcos se puede aplicar a otras estructuras de fábrica. En las cúpulas se desarrollan fuerzas anulares. En la parte superior son de compresión y el material las puede absorber y modular de manera que la superficie de empujes se mantenga en la línea media (estado de membrana). Pero en la parte inferior (a partir de aproximadamente 52° de colatitud para cúpulas semiesféricas sometidas a su peso propio, y más arriba si la clave está cargada) se desarrollan tracciones que la fábrica no puede absorber y se produce un agrietamiento. Heyman (1999, 43) ha establecido que pequeños cedimientos en los apoyos elevan las grietas hasta una colatitud de aproximadamente 25° (en cúpulas con linterna prácticamente

toda la superficie estará agrietada). En la zona agrietada no se transmiten fuerzas anulares y los empujes siguen su trayectoria del mismo modo que en los arcos.

El *método de los cortes* permite analizar una posible solución de equilibrio de una manera sencilla. Consiste en suponer la cúpula totalmente agrietada en el sentido de sus meridianos y dividida en un conjunto de gajos. Si el arco que forman dos gajos opuestos es estable, entonces la cúpula también lo será.

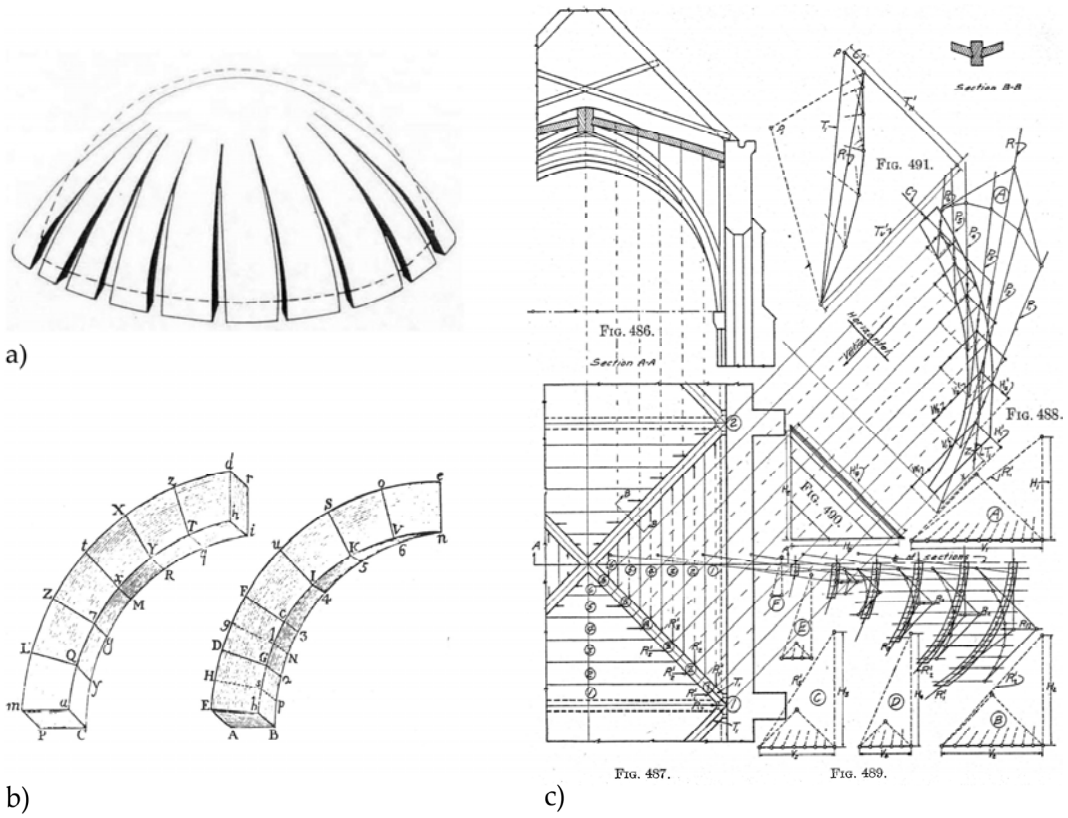

Figura 3.27. *a*) Agrietamiento típico de una cúpula (Heyman 1999, 43). *b*) Aplicación de Poleni del método de los cortes en cúpula de San Pedro de Roma (Heyman 1999, 45). *c*) Calculo de una bóveda de crucería por el método de los cortes (Wolfe 1921, 247).

Este método se puede aplicar a cualquier tipo de bóveda y proporciona un método seguro de comprobar un posible estado de equilibrio. La estructura se imagina dividida en una serie de arcos elementales. Si la bóveda *rota* en arcos se sostiene, con mayor motivo la bóveda real, que no está rota, se sostendrá.

3.3.1.c La estimación del grado de seguridad

Para una forma de arco y unas cargas determinadas existe un valor mínimo de su espesor por debajo del cual el arco deja de ser estable. Heyman estableció una forma de medir el grado de seguridad de un arco comparando su espesor con el espesor límite que le corresponde. El llamado *coeficiente geométrico de seguridad* es el resultado de dividir el espesor del arco real por el espesor límite. Qué coeficiente de seguridad se debe aplicar es una cuestión empírica. Heyman considera que los valores seguros para arcos están alrededor de 2 (Heyman 1999, 25).

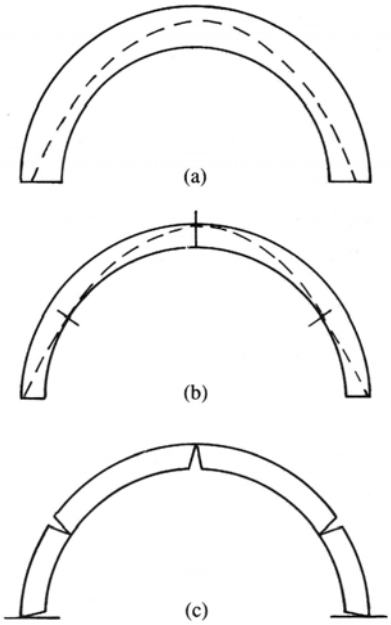

Figura 3.28. Coeficiente geométrico de seguridad: Si el arco *a*) contiene *n* veces el espesor del arco límite *b*), entonces *n* es su coeficiente de seguridad. *c*) muestra el mecanismo de colapso del arco límite (Heyman 1999, 25).

Se puede comprobar de forma sencilla el coeficiente de seguridad de un arco sin necesidad de calcular su espesor mínimo: si se puede trazar una línea de empujes en la mitad central del arco real, se puede afirmar que, por lo menos, el coeficiente geométrico de seguridad será 2; si se puede hacer en el tercio central, será igual o superior a 3.

3.3.1.d Contrarresto

Los estribos forman parte del sistema de la estructura y su equilibrio debe analizarse globalmente. El Teorema de la Seguridad señala el procedimiento correcto. El razonamiento es el mismo que el realizado para arcos y bóvedas: si para un estado de cargas es posible encontrar una línea de empuje dentro de la sección de la fábrica, la estructura es estable.

Sin embargo el equilibrio de los estribos es más delicado que el de los arcos y bóvedas, su papel estructural más comprometido (si falla una bóveda el resto de la estructura puede seguir en pie; si falla un contrafuerte el colapso es catastrófico), por lo que su estabilidad debe ser analizada con más atención. Si la línea de empujes se acerca al extremo de la sección se corre el peligro de que se forme una rótula. La seguridad vuelve a ser un factor geométrico que cuantifica la distancia respecto a esa situación límite.

Se debe a Rankine (1858, 227) la expresión del coeficiente de seguridad de posición (q) que limita la desviación de la línea de empujes del eje de la sección y que él expresa como una fracción del ancho de la sección. Huerta ha propuesto otra formulación de este coeficiente que denomina c y que así se homogeniza con el utilizado por Heyman para arcos y bóvedas. Resulta del cociente entre la mitad del ancho de la sección y la desviación de la línea de empujes de su eje.

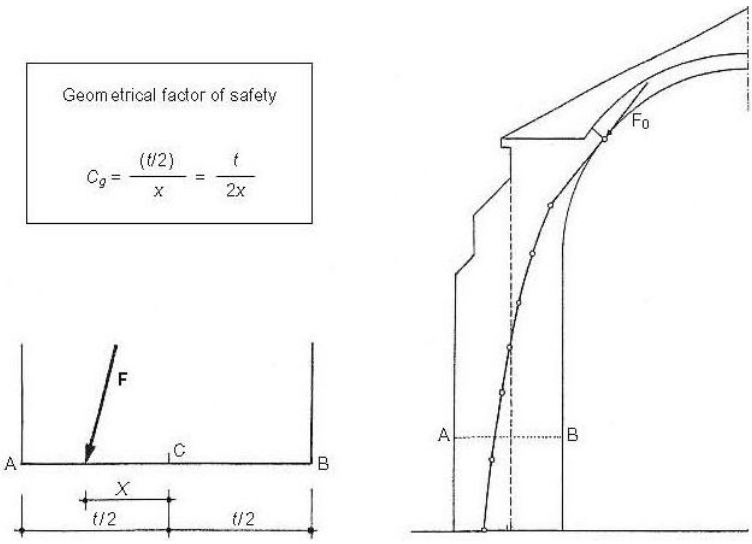

Figura 3.29. Definición del coeficiente de seguridad geométrico para estribos (Huerta 2010c)

La relación entre ambos coeficientes es $q = 1/2c$ (figura B.2 p. 497). Huerta recomienda utilizar valores de este coeficiente superiores a 4 para contrafuertes rectangulares (Huerta 2000, 106-108).

Se debe prestar atención a dos aspectos. El primero es la inclinación del empuje respecto a la dirección de las juntas. Empujes muy inclinados en estribos de juntas horizontales pueden incidir en las partes altas con ángulos mayores que el de rozamiento, provocando el deslizamiento.

El segundo aspecto que se debe vigilar es la inclinación de los estribos. Un ángulo de inclinación pequeño no compromete la seguridad del estribo pero aumentará la luz de la bóveda y hará descender su clave. Al rebajar su perfil la bóveda empuja más contra el estribo, por lo que su inclinación tendrá a aumentar. El proceso puede realimentarse hasta que la bóveda colapse, aunque el contrafuerte puede seguir en pie (Huerta 2010c).

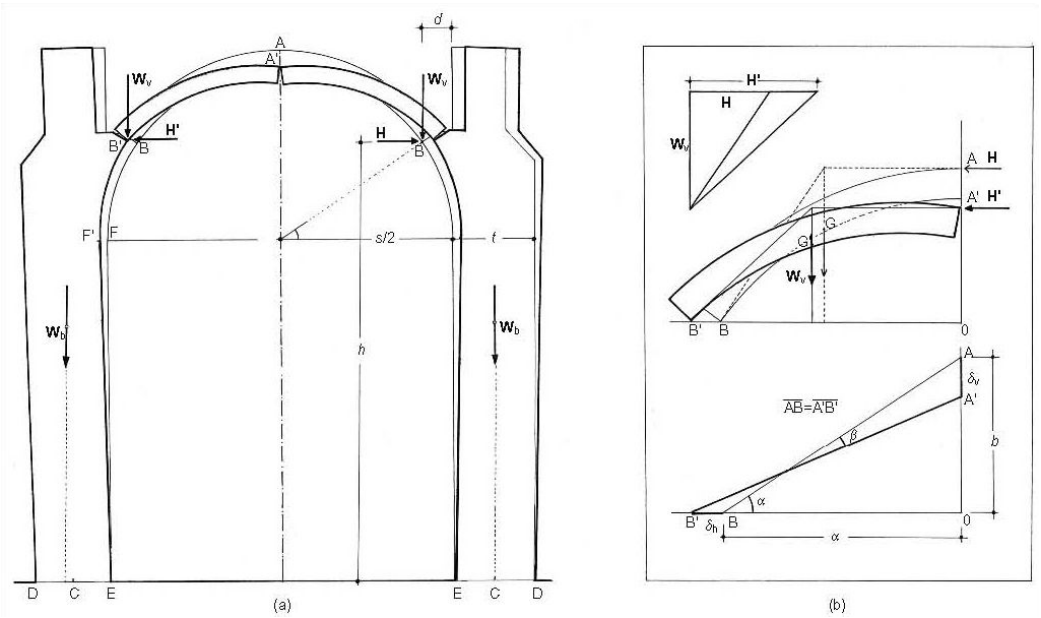

Figura 3.30. Colapso de una bóveda causada por el exceso de inclinación de los estribos (Huerta 2010c)

3.3.1.e Movimientos

El ejemplo anterior pone de manifiesto la relación geométrica que liga los incrementos de la luz con el descenso de la clave de una bóveda o arco.

El arco de dovelas, una vez descimbrado, ejerce un empuje sobre sus estribos con una componente horizontal que tiende a separarlos. Salvo en casos de un gran monolitismo, se produce un pequeño movimiento de apertura como consecuencia de ese empuje. El arco se reacomoda a ese pequeño incremento de luz y al no poder resistir tracciones —ni flexiones, por tanto— se articula en ciertos puntos agrietándose y su clave desciende para ajustarse a su nueva luz. La apertura de los apoyos y la correspondiente apertura de grietas no comprometen la estabilidad si no sobrepasan ciertos límites.

El mecanismo característico de deformación de un arco de medio punto ha sido explicado por Heyman (1995a, 15-18). La apertura de los apoyos provoca la apertura de tres grietas: una en la clave, que se abre por en intradós y dos en los riñones, que lo hacen por el trasdós. La línea de empujes se peralta, pues se ve forzada a pasar por lo puntos de contacto entre las piedras en las articulaciones. El empuje adopta su valor mínimo (figura 3.26a).

Los ingenieros de los siglos XVIII y XIX se ocuparon de las deformaciones de los arcos con el fin de determinar sus mecanismos de colapso.[56] Desde un campo diferente del de la ingeniería, Viollet-le-Duc ([1866] 2000, 27) es el primero en describir y relacionar gráficamente los movimientos de apertura de apoyos y de descenso de claves. No establece con precisión el punto de la articulación de los riñones: indica vagamente que la distancia del apoyo a la primera rótula es «algo menor que el cuarto de semicírculo». Viollet no es ingeniero y no está manejando el concepto de línea de empujes;[57] observa la repetición del fenómeno y lo describe en términos cualitativos.

56. Danyzy (1732); Boistard (1810); Audoy (1820); Méry (1840); Monasterio (ca. 1800) Para una visión de conjunto de estos estudios de colapso véase Huerta (2004).

57. El análisis límite moderno permite determinar la posición exacta de la articulación. Esta se origina en el punto de contacto de la línea de empuje mínimo con el intradós del arco.

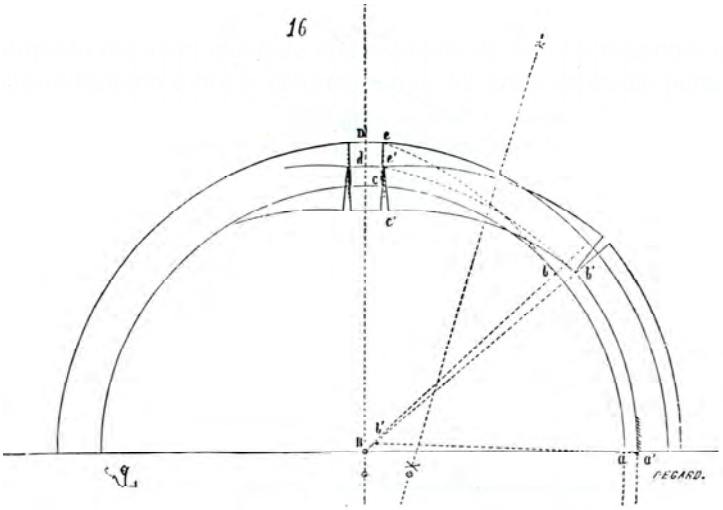

Figura 3.31. Deformación característica de un arco de medio punto (Viollet-le-Duc [1886] 2000, 27)

Al poder determinar la posición de las rótulas (figura 3.26) los movimientos que describe Viollet pueden cuantificarse. Debe resaltarse el hecho de que los bloques en los que queda dividido el arco no se deforman. Esto quiere decir que conservan la curvatura original. Los valores de los desplazamientos de apertura de apoyos y descenso de clave pueden relacionarse. El procedimiento geométrico es sencillo, como ilustra la figura 3.30b.

La constatación de que prácticamente todos los arcos y bóvedas presentan un cierto grado de deformación hace este análisis relevante para la interpretación correcta de los datos obtenidos por los levantamientos. En el capítulo 5 se ha aplicado este análisis a la restitución de la forma original de la bóveda más deformada del Colegio.