

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

**TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA**

II

EL SIGLO DE LAS LUCES
De la ingeniería a la nueva navegación

Pedro Álvarez de Miranda
Arturo Ansón Navarro
Juan José Arenas de Pablo
Horacio Capel Sáez
Fernando Cobos Guerra
Irina Gouzevitch
Víctor Navarro Brotons

Guillermo Pérez-Sarrión
Manuel Sellés García
Manuel Silva Suárez
Julián Simón Calero
Hélène Vérin
Siro Villas Tinoco

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 2.562
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 · 50007 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 · Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

FICHA CATALOGRÁFICA

El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación / Manuel Silva Suárez, ed. — Zaragoza: Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias; Madrid: Real Academia de Ingeniería, 2005.

624 p.; il.; 24 cm. — (Técnica e Ingeniería en España; II)
ISBN: 84-7820-815-1

1. Ingeniería-Historia-S. XVIII. I. SILVA SUÁREZ, Manuel, ed. II. Institución «Fernando el Católico», ed.

© Los autores, 2005.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005.

Cubierta: Ambrosio Lanzaco (dib.) y Josef Dordal (grab.): «Planta y perfil del Puente y Almenara construido en el Canal Ymperial, llamado de Formigales». Lámina n.º 3 de la *Descripción de los Canales Imperial de Aragón, y Tauste. Dedicada a los augustos soberanos Don Carlos IV y Doña María Luisa de Borbón. Por el actual protector de ambos canales, el conde de Sástago*, Zaragoza, Impr. de Francisco Magallón, 1796.

Contracubierta: Ilustraciones de las láminas 3 y 4 en el tomo II del *Examen marítimo, Teórico Práctico o Tratado de Mecánica aplicado a la Construcción, Conocimiento y Manejo de los Navíos y demás embarcaciones*, de Jorge Juan y Santacilia, Madrid, Impr. de D. Francisco Manuel de Mena, 1771.

ISBN: 84-7820-814-3 (obra completa)

ISBN: 84-7820-815-1 (volumen II)

Depósito Legal: Z-3032-2005

Revisión técnica de la obra: Marisancho Menjón

Digitalización: María Regina Ramón, Cristian Mahulea, FOTOPRO S.A.

Maquetación: Littera

Impresión: ARPI Relieve, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.1. Dispositivo empleado por Vicente Mut para calcular el diámetro aparente del Sol, según Giambattista Riccioli (<i>Almagestum Novum</i>)	40
1.2. Estudio de la trayectoria del cometa de 1664, según Vicente Mut	42
1.3. Grabado-retrato de Caramuel y portada de su <i>Mathesis Biceps</i>	43
1.4. Lámina dedicada a la geodesia, del tratado de Caramuel <i>Mathesis Biceps</i> , 1670	45
1.5. José de Zaragoza, caja de instrumentos matemáticos, por encargo del duque de Medinaceli, para el rey Carlos II (Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, Madrid) ...	50
1.6. Lámina de dos instrumentos matemáticos diseñados por Zaragoza: el <i>triángulo equilátero</i> y el compás <i>armónico</i>	51
1.7. Página de la obra de Juan Bautista Corachán <i>Avisos del Parnaso</i> (h. 1690, publicada en 1747)	61
1.8. La primera página de uno de los manuscritos de Juan Bautista Corachán sobre hidrometría, conservado en la Biblioteca-Archivo-Hispano-Mayansiana (Colegio del Corpus Christi, Valencia)	62
1.9. Grabado representando a Tosca y portada del volumen I del <i>Compendio Matemático</i> de Tosca. Lámina del tratado de hidrotecnia (Bibl. RSE Aragonesa, Zaragoza)	63
1.10. Láminas de los tratados de <i>artillería</i> , <i>arquitectura militar</i> , <i>maquinaria</i> , <i>hidrometría</i> y <i>arquitectura civil</i> del <i>Compendio Matemático</i> de Tosca (Bibl. RSE Aragonesa, Zaragoza)	66
2.1. Dos monarcas destacables: Fernando VI (L. M. van Loo, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando) y Carlos III (copia del retrato de A. R. Mengs, ETSI de Minas de Madrid)	78
2.2. Primeros secretarios de Estado procedentes de la Marina: José Patiño (Rafael Tejeo, h. 1828, Museo Naval de Madrid, inv. 818) y Zenón de Somodevilla y Bengoechea, marqués de la Ensenada (Jacopo Amiconi, post. 1750; Museo del Prado)	82
2.3. Grande de España y «golilla» en la Primera Secretaría de Estado: Pedro Pablo Abarca de Bolea, conde de Aranda (R. Bayeu, 1769; Museo Provincial de Huesca) y José Moñino, conde de Floridablanca (F. de Goya, 1781; Museo del Prado)	85
2.4. Intelectualidad y política: Pedro Rodríguez Campomanes, conde de Campomanes (F. Bayeu, copia del retrato por A. R. Mengs; Real Academia de la Historia) y Gaspar Melchor de Jovellanos (F. de Goya, 1798; Museo del Prado)	88
2.5. Real Fábrica de Tabacos de Sevilla (fot.: Luis y Francisco Arenas, Universidad de Sevilla)	91
2.6. Pragmática Sanción sobre el estrañamiento de los jesuitas de los territorios de la Corona de España, 1767	96
2.7. Entre la actividad científico-técnica y el espionaje: 1) Jorge Juan y Antonio de Ulloa: <i>Observaciones astronómicas, y physicas hechas de orden de Su Majestad en los Reynos del Perú</i> , Madrid, 1748; 2) Plano de máquina para blanquear cera, enviado junto con modelo por Jorge Juan durante su misión como espía industrial en Londres (AGS, M. P. y D. XV-64, Leg. Marina, 316)	99
2.8. Ingeniero extraordinario (teniente). Uniforme del Real Cuerpo, según el estado de fuerzas de 1785, y portada de los <i>Principios de fortificación</i> (1772) de Pedro de Lucuce	103

2.9. El telescopio de Herschel de 25 pies de largo, del Observatorio Astronómico de Madrid	104
2.10. Observatorio Astronómico de la Armada en Cádiz	107
2.11. Palacio Real para la Compañía de Cadetes del Real Cuerpo de Artillería (fot.: M.S.S.) ..	109
2.12. Real Instituto Asturiano de Náutica y Mineralogía de Gijón (1794)	110
2.13. Primer lanzamiento de un globo aerostático en España, noviembre de 1783 (A. Carnicero, Museo del Prado)	111
3.1. B. F. de Bélidor: <i>La Science des Ingenieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'Architecture Civile</i> , París, 1729	117
3.2. Jean Baptiste Rondelet: <i>Traité théorique et pratique de l'art de bâtir</i> , París, 1802: máquina de ensayo de materiales (1775)	119
3.3. Honoré-Sébastien Vial du Clairbois : <i>Essai géométrique et pratique sur l'architecture navale, à l'usage des gens de mer</i> , París, 1776	127
3.4. Fortificaciones en al mar de Azov	132
3.5. Fortificación de Kronstadt	134
3.6. Jean-le-Prestre Vauban presenta los planos de la fortaleza de Belfort, 1687 (dib. de Tony Robert Fleury)	138
3.7. John Smeaton, considerado en el ámbito anglosajón el «padre de la ingeniería civil». Fue miembro de la Lunar Society (Birmingham)	139
3.8. Jacques de Vaucanson: su célebre pato (1739) se superpone a una ilustración del libro de Josef Lapayesse: <i>Tratado del arte de hilar, devanar, doblar, y torcer las sedas, según el método de Mr. Vaucanson</i> , Valencia, 1784	142
3.9. <i>École Polytechnique</i> : edificio y patio de alumnos (antiguo Colegio de Navarra) y edificio de la administración (antiguo Colegio de Boncourt)	147
3.10. Jean Rodolphe Perronet y el puente de Luis XIV (1787-1791), hoy de la Concorde, con sus característicos arcos “atirantados”	150
3.11. <i>Instituto de Ingenieros de Vías de Comunicación</i> de San Petersburgo, palacio que perteneció al príncipe Yusúpov, cerca del puente Obújov	151
3.12. James Watt (medalla de David d'Angers) y máquina de vapor rotativa de doble efecto, construida por Boulton & Watt entre 1787 y 1800 (según Farey)	156
3.13. Agustín de Betancourt y Molina y máquina de vapor de doble efecto en su <i>Mémoire sur une machine à vapeur à double effet</i> (1789)	157
3.14. Dibujos sobre la máquina de vapor por Lev Sabakin	158
3.15. La sala de modelos en la École des Ponts et Chaussées, París	159
4.1. Ingeniero militar en uniforme (fuente: Olaechea y Ferrer Benimeli, 1998, p. 37) y <i>exlibris</i> de la Real y Militar Academia de Matemáticas de Barcelona (grabado por Ignasi Valls; fuente: MUÑOZ CORBALÁN, coord., 2004)	177
4.2. Marqués Alfonso Taccoli: uniformes «grande» y «pequeño» del Cuerpo de Ingenieros Militares, según el <i>Teatro Militar Europeo</i> , 1760 (Patrimonio Nacional, Biblioteca del Palacio Real)	181
4.3. Tres ingenieros generales de muy diferente trayectoria: 1) Jorge Próspero de Verboom; 2) Francesco Sabatini; 3) José de Urrutia de las Casas (Francisco de Goya, h. 1798; Museo del Prado, cat. 736)	185
4.4. «Estado Mayor de Artillería», h. 1780 (Colección Anne Brown, Brown Library, Rhode Island, EE. UU.; fuente: Valdés Sánchez, ed., 1994, p. 107)	192

4.5. Cadete del Real Colegio de Artillería de Segovia (dibujo de A. Manzano, 1990; reproducido de Gómez Ruiz y Alonso Juanola, vol. II, 1992) y Casa de la Química (dibujo a plumilla adaptado de Pieltain de la Peña, 1964)	193
4.6. Artilleros y profesores del Real Colegio segoviano: 1) El conde Félix Gazola (Museo del Ejército, Madrid, n.º de inv. 5708); 2) Tomás de Morla y Pacheco (Academia de Artillería, Segovia, n.º de inv. 4986); 3) Antonio de Eximeno y Pujades; 4) Luis Proust (recuperado a partir de grabado coloreado de la Colección de V. Carderera, Biblioteca Nacional, Madrid)	197
4.7. Tomás de Morla y Pacheco: <i>Libro de Láminas del Tratado de Artillería</i> , Imprenta Real, Madrid, 1803	200
4.8. Fachada del Palacio de Goyeneche, o Casa de la Miel, y arreglo de Diego de Villanueva (RABASF, CN n.º invent. 2376)	205
4.9. Ventura Rodríguez (Francisco de Goya, 1784; Nationalmuseum de Estocolmo) y Juan de Villanueva, 1739-1811 (Francisco de Goya, entre 1800 y 1805, Real Academia de Bellas Artes, Madrid)	208
4.10. Ingeniero ordinario de Marina (teniente de navío) con el uniforme «pequeño» (Estado Militar de 1805; reproducido en <i>Uniformes de 1805</i> , Ministerio de Defensa, 1987)	213
4.11. Constructores navales definidores de diferentes “estilos” o períodos: 1) José Antonio de Gaztañeta Iturrivalzaga (Landsberbs, 1718, Museo Naval de Madrid, inv. 2624); 2) Jorge Juan y Santacilia (Rafael Tejeo, h. 1828; Museo Naval de Madrid, inv. 757); y 3) José Romero Fernández de Landa (Museo Naval de Madrid, inv. 5625) ..	217
4.12. «Plano para una casa de cocer betunes», por Josef Romero y Landa, 1795 (Museo Naval de Madrid, inv. P3-A17)	220
4.13. Capitán del Real Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos de Estado (Anne Brown Collection, Brown University Library, Rhode island, EE. UU.) y edificio del Real Observatorio de Madrid, obra maestra de Juan de Villanueva, 1790 (fot. solarizada: M.S.S.)	225
4.14. Telescopio Herschel de 25 pies instalado en el Real Observatorio de Madrid, 1804: Cuaderno de José Mendoza y Ríos (Observatorio Astronómico Nacional, Madrid)	228
4.15. Cadete de la Academia de Almadén (uniforme según la reconstrucción de J. M. López de Azcona, 1977; dibujo de J. M.ª Bueno Carrera) y Casa de la Academia de Minas	232
4.16. Uniformes profesionales de la Minería: 1) Maestro de la escuela práctica de Mineralogía y Metalurgia de La Cavada, 1794; 2) Director de Beneficio de Minerales del Reino del Perú, 1788; 3) Presidente del Real Tribunal del Importante Cuerpo de la Minería de Nueva España, 1811 (dibujos de J. M.ª Bueno Carrera, en López Azcona, 1977)	233
4.17. Alumno del Real Colegio de la Minería de México (1792) y Palacio de la Minería (dibujo atribuido a Manuel Tolsá, Archivo de la UNAM)	236
4.18. Fausto de Elhuyar y de Suvive (atribuido a A. Mengs, Consejo General de Minería, Madrid) y Andrés Manuel del Río Fernández (Real Seminario de Minería de México) ..	237
4.19. Agustín de Betancourt, 1758-1824 (retrato anónimo; E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Madrid); telégrafo, en colaboración con Louis Breguet; y <i>Ensayo sobre la Composición de las Máquinas</i> , con J. M.ª de Lanz, 1808 (portada de su traducción al inglés, 1820)	241
4.20. El palacio del Buen Retiro, sede del Real Gabinete de Máquinas y de la Escuela de la Inspección de Caminos y Canales (grabado de la época, Museo Municipal de Madrid)	244

- 4.21. Bartolomé de Sureda y Miserol (Francisco de Goya, h. 1803-1804; National Gallery, Washington). Devanadora reproducida en la tercera memoria de Juan López de Peñalver sobre *Descripción de las máquinas [...] del Real Gabinete* (Imprenta Real, 1798) 248
- 4.22. Félix de Azara y Perera (1742-1821), ingeniero militar y brigadier de la Armada (1802). (Francisco de Goya, 1805, col. Ibercaja, Zaragoza) 253
- 5.1. La Real Academia Española: portada del *Diccionario de Autoridades*, 1726 266
- 5.2. Antonio de Capmany y Montpalau (Barcelona, 1742-Cádiz, 1813) 273
- 5.3. Esteban de Terreros y Pando (Trucíos, Vizcaya, 1707-Forlì, Italia, 1782) 280
- 5.4. *Vocabulario Marítimo y Explicación de los Vocablos que usa la gente de Mar, en su ejercicio del Arte de Marear*, impreso en Sevilla en 1722 282
- 5.5. Benito Bails: *Diccionario de Arquitectura Civil*, Madrid, 1802 284
- 6.1. Barroco decorativo: 1) Luis Figueroa: Palacio de San Telmo de Sevilla;
2) Hipólito Rovira: Portada del Palacio del marqués de Dos Aguas, Valencia 294
- 6.2. Barroco clasicista: 1) F. Juvara y J. B. Sachetti, Palacio Real Nuevo de Madrid;
2) René Carlier: Iglesia de las Salesas Reales, Madrid 295
- 6.3. Ventura Rodríguez (1717-1785): 1) Santa Capilla de Nuestra Señora del Pilar de Zaragoza; 2) Convento de Agustinos Filipinos de Valladolid;
3) Palacio de Liria, Madrid; 4) Catedral de Pamplona 299
- 6.4. 1) Miguel Fernández: Iglesia del Temple, de la orden de Montesa en Valencia;
2) Juan Soler y Faneca: Lonja de Barcelona 305
- 6.5. Juan de Villanueva: 1) Puerta del Jardín Botánico de Madrid;
2) Observatorio Astronómico de Madrid (fot.: Arturo González Nieto, h. 1920) 307
- 6.6. 1) Ignacio Haan: Columnata del patio de la Universidad, Toledo;
2) Silvestre Pérez: Iglesia de Motrico (Guipúzcoa) 308
- 6.7. Gregorio Sevilla: la Casa de Compuertas del Bocal, en Fontellas (Navarra):
1) Vista de la presa; 2) Alzados de las fachadas de Poniente y Oriente (plano firmado por Luis Chimioni, Fernando Martínez y Gregorio Sevilla) 315
- 6.8. 1) Carlos Lemaun: Palacio Rajoy, Santiago de Compostela;
2) José de Hermosilla: Colegio Anaya, de la Universidad de Salamanca 317
- 6.9. Francisco Sabatini: Antigua Casa de la Real Aduana de Madrid 318
- 6.10. Francisco Sabatini: 1) Perspectiva de la Puerta de Alcalá, 1777;
2) Perspectiva del proyecto para la Puerta de S. Vicente, 1770 320
- 6.11. Francisco Sabatini: Hospital General de Madrid 321
- 6.12. Gregorio Sevilla: Hospicio de la Misericordia de Zaragoza (1774):
1) Plano general; 2) Fachada principal, antes de la restauración 323
- 6.13. Agustín Sanz: 1) Puerta del Carmen de Zaragoza (postal de Laurent, h. 1903);
2) Cuartel de Convalecientes de Zaragoza 327
- 7.1. Propuesta de uniforme remitida desde Barcelona por Juan Martín Cermeño, comandante general interino del Cuerpo de Ingenieros, al marqués de la Ensenada, el 12 de junio de 1751 (Archivo General de Simancas, M.P. y D, XV-55) 337
- 7.2. Proyecto de la Ciudadela de Barcelona, Jorge Próspero de Verboom, 1715 (Archivo General de Simancas, M.P. y D, X-51) 338
- 7.3. «Plano de una porción del muelle de Levante de la Ciudad de Málaga», por Juan Martín Cermeño, 1 de agosto de 1738 (Archivo General de Simancas, M.P. y D, VIII-199) 345

- 7.4. «Plano y perfiles en grande corelativos al plano de la ynclusa o Sasso que se propone para la navegación y paso de las barcas en el río Ebro de la villa de Flix, y el extremo de su azud», por Marcos T. Sersteven, Barcelona, 1748
(Archivo General de Simancas, M. P. y D. X- 49)346
- 7.5. «Mapa particular de porción del curso del río Henares y del giro de la Acequia que se proyecta desde antes del paso sobre el arroyo de Texada hasta la casa del Guarda de Tirate afuera de la dehesa de Maluque... para la demostración de los medios que se proponen para conducir la Acequia por este parage», por Manuel Navacerrada, Madrid 1770 (Archivo General de Simancas, M. P. y D. XXII-51) .347
- 7.6. «Plano de la carretera de la Coruña», por Carlos Lemaury, 21 de marzo de 1771
(Archivo General de Simancas, M. P. y D, XXII-24)347
- 7.7. «Plano en que se demuestra el Monte de las Águilas y Puertos que se forman al Este y Oeste en la Costa del Reyno de Murcia», por Sebastián Feringan, Cartagena 11 de septiembre de 1757. Escala de 138 mm las 120 varas castellanas
(Archivo General de Simancas, M. P. y D. XXIII-39)349
- 7.8. «Plano de la ciudad y plaza de Manila [...] con el proyecto que para su mejor defensa propone a S. M. [...] Juan Martín Cermeño», 1766 (Archivo General de Simancas, M. P. y D, IX-62)351
- 7.9. «Perfiles de un proyecto de fortificación de la plaza de Manila», por Juan Martín Cermeño, 1766. Escala de 208 mm las 40 varas castellanas
(Archivo General de Simancas, M. P. y D, II-25)352
- 7.10. Planos, vista y elevación que acompañan y corresponden a la «Relación del reconocimiento de la Universidad de Cervera», por Joaquín de Rado y José Fabre, 17 de agosto de 1746 (Archivo General de Simancas, M. P. y D., XIX-100)355
- 7.11. «Plano de la cathedral de Lérida, situada en su castillo con el perfil del claustro y proieto para hazer de él quartel de ynfantería como assí mismo de la Yglesia, almacenes de pertrechos y víberes», por Miguel Marín, 6 de diciembre de 1748
(Archivo General de Simancas, M. P. y D, VII-51)356
- 7.12. «Plano Proyectado para un Lazareto, con sus Almacenes y Oficinas correspondiente al Resguardo que se propone construir entre las Casserías de Ynfante y las Fábricas», por José Barnola, Cádiz 27 de julio de 1756, acompaña a un proyecto enviado al conde de Valparaíso (Archivo General de Simancas, M. P. y D, XII-80 y VII-191)357
- 7.13. «Plano de una fuente que se debe construir en los solares 18 y 19 de la Ysla N.º 5, de las Casas edificadas sobre la Azequia Condal con Real Aprobación de 29 de Octubre de 1799 para abastecer aquel Vecindario de agua potable», por Narciso Codina, Barcelona, 7 de abril de 1804 (Archivo General de Simancas, M. P. y D, XXV 134)361
- 7.14. Plano de la casa y huerto que actualmente disfruta el gobernador de la plaza de Melilla, Francisco de Alcázar, 1801 (S.H.M., n.º 471/1, D-1-1-17/M.E.L-G5/21)365
- 7.15. «Proyecto para el Real Arsenal de La Graña y su astillero», por Juan de Laferriere, 24 de julio de 1731. Escala de 108 mm las 48 toesas (Archivo General de Simancas, M. P. y D, XXIV-18)368
- 7.16. Ceuta: Espigón de Nuestra Señora de África, «Plano que demuestra cómo se debe labrar la cantería de las murallas de la mar en las porciones circulares convexas para que quede bien unida entre sí y trabada con el cuerpo de la mampostería», por Ignacio Sala, 31 de diciembre de 1741. Escala de 165 mm las 8 varas
(Archivo General de Simancas, M. P. y D. XIX-177)370
- 7.17. «Plano y sección del proyecto de la distribución y proporciones con que se han de construir cinco naves para fabricar la arboladura de los navíos reales», Cartagena, por Sebastián Feringan, Cartagena, 27 de enero de 1750 (Archivo General de Simancas, M. P. y D, XXI-12, XVII-16)371

7.18. «Plano y vista de la herrería para fabricar áncoras», en Cartagena, por Sebastián Feringan, 10 de marzo de 1750. Escala de 245 mm las 18 toesas (Archivo General de Simancas, M. P. y D, VI-81 y XIV-20)	374
8.1. Carretera ochocentista de Reinosa a Santander, realizada por Marcos de Vierna entre 1749 y 1753: 1) Restos del trazado original; 2) Detalle de obra de drenaje (fot.: Rafael Ferrer Torío)	385
8.2. Puente de Alcolea (<i>Al Qalat</i> dim., <i>El castillejo</i>) sobre el Guadalquivir, entre Andújar y Córdoba (1785-1792). No se conoce el nombre del diseñador ni del constructor. Sustituye a uno romano sobre la Vía Augusta (fot.: <i>Revista de Fomento</i>)	389
8.3. Arcos de medio punto (puente sobre el Jarama, de Marcos de Vierna) <i>versus</i> arcos en “asa de cesto” (empleados por Jean-Rodolphe Perronet, 1707-1794). (Tomado de J. Mariano Vallejo: <i>Tratado de las Aguas</i> , 2 tomos, Madrid, 1833. Bibl. RSE Aragonesa, Zaragoza)	395
8.4. Puente Largo sobre el Tajo en Aranjuez, Marcos de Vierna, 1761 (Dibujo procedente de las «Adiciones» de Sánchez Taramás, Fondo de la RSE Aragonesa, Zaragoza; fot.: <i>Revista de Fomento</i> y M.S.S.)	397
8.5. Puente de Molins de Rei sobre el Llobregat (Barcelona), por Juan Martín Cermeño. Dibujo procedente de las «Adiciones» de Sánchez Taramás, Fondo de la RSE Aragonesa, Zaragoza. Se arruinó en 1971	400
8.6. Puente de Toledo sobre el Manzanares en Madrid (Pedro de Ribera, 1717-1735); detalle con suerte de hornacina perforada e imagen de San Isidro, patrón de Madrid (fot.: Arturo González Nieto, h. 1918)	402
8.7. Puente sobre el Tajo de Ronda. Arquitecto José Martín Aldehuela (fot.: <i>Revista de Fomento</i>)	404
8.8. 1) Puente del Castro, en León, 1787; 2) Puente de Casalarreina, en la Rioja, de principios del siglo XIX (Fot.: J. J. Arenas)	405
8.9. El Canal Imperial de Aragón: 1) Puente de Formigales (Navarra); 2) Almenara de desagüe al Jalón denominada de San Martín; 3-4) Acueducto del Jalón; 5) La muralla de Grisén (fot.: M.S.S.)	407
8.10. El Canal Imperial de Aragón en Zaragoza: 1) Esclusas (ovales) de San Carlos; 2-3) Las esclusas, puente y edificio (fot.: M.S.S.)	409
8.11. El Canal de Castilla en la provincia de Palencia: 1) Puente típico, cerca de Osorno; 2) Acueducto de cruce sobre el río Valdavia; 3) Esclusas (ovales) de descenso al nivel del río Carrión, en La Calahorra	410
8.12. Vista parcial de la presa dieciochesca del Estrecho de Puentes (fot.: ¿Laurent?, siglo XIX)	415
8.13. Acueducto de Noaín, diseñado por Ventura Rodríguez (fot.: <i>Revista de Fomento</i>) ...	416
8.14. Acueducto de San Telmo, Málaga: 1) Arroyo de Humaina; 2) Arroyo de Quintana; 3) Arca principal de distribución. Obra de José Martín de Aldehuela (fot.: <i>Revista de Fomento</i> y M.S.S.)	418
8.15. El puerto de Santander: 1) Plano debido al ingeniero militar Francisco Llovet; 2) Plano que incluye la ciudad, debido al oficial de Marina Agustín de Colosía	422
8.16. Propuestas de ingenieros militares para el puerto de Málaga: 1) Bartolomé Thurus; 2) Jorge Próspero de Verboom; 3) Julián Sánchez Bort	423
9.1. Extremo norte del Canal de Castilla, 1806 (fuente: Juan de Homar, <i>El Canal de Castilla. Cartografía de un proyecto ilustrado</i> , estudio preliminar de Juan Helguera Quijada, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, 1992, s. p.)	435

9.2. Extremo sur del Canal de Castilla, 1806 (fuente: Juan de Homar, <i>El Canal de Castilla...</i> , Madrid, 1992)	438
9.3. Manufacturas del Canal de Castilla, 1806 (fuente: Juan de Homar, <i>El Canal de Castilla...</i> , Madrid, 1992)	442
9.4. Proyecto de acueducto en el Canal de Castilla, 1760 (fuente: Miguel Sánchez Taramas, <i>Tratado de fortificación...</i> , 1769; Fondo de la RSE Aragonesa, Zaragoza; fot.: M.S.S.) ..	443
9.5. Extremo oriental del Canal Imperial de Aragón, 1796. Levantamiento topográfico y dibujo de Félix Guitarte grabado por Mateo González (fuente: Conde de Sástago, <i>Descripción de los canales Imperial de Aragón, y Real de Tauste...</i> , Francisco Magallón, Zaragoza 1796, s. p.)	447
9.6. Esclusas en el Canal imperial de Aragón, 1796. Dibujo de Félix Guitarte grabado por J. F. Dordal (fuente: Conde de Sástago, <i>Descripción de los canales Imperial de Aragón y Real de Tauste...</i> , 1796)	449
9.7. Canal Imperial de Aragón: <i>Plan en vista de las obras del Jalón, con la Advertencia de averse executado ya la mudada de el Río...</i> , dibujado por Gregorio Sevilla (Fondo de Planos de Obras Hidráulicas, Ministerio de Fomento; fuente: <i>Canal Imperial de Aragón</i> , Servicio de Publicaciones del MOPU, Madrid, 1984, t. II)	452
9.8. Almenara y molino harinero en el Canal Imperial de Aragón, 1796. Dibujo de Félix Guitarte; grabado de Manuel Dordal (fuente: Conde de Sástago, <i>Descripción de los canales Imperial de Aragón y Real de Tauste...</i> , 1796)	455
9.9. Plano de la Acequia Real del Júcar, h. 1768 (fuente: Antonio J. Cavanilles, <i>Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia</i> , Valencia 1795, 2 vols., vol. 1; Albatros, Valencia 1995). Delineado por el ingeniero militar Juan Escofet y Palau, h. 1768	460
10.1. Perspectiva caballera de una fortificación (<i>Escuela de Palas</i> , Milán, 1693, tomo II, p. 147; Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/15043)	471
10.2. Baluartes, líneas, ángulos, líneas de defensa, flancos y obras exteriores de una fortificación (Pablo Minguet: <i>Juegos de la fortificación</i> , Madrid, 1752)	475
10.3. Esquemas para la interpretación del trazado de la fortificación	481
10.4. Tabla de longitudes de líneas de un fuerte real grande según el número de lados (Juan de Santans y Tapia: <i>Tratado de fortificación militar destos tiempos</i> , Bruselas, 1644, p. 115; Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/8199)	482
10.5. Esquemas de la variación de ángulos y líneas según el número de lados del polígono en las construcciones propuestas por el Caballero de Ville, Aurignac, y el capitán Franck (<i>Escuela de Palas</i> , Milán, 1693, tomo II, pp. 57, 71 y 95; Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/15043)	485
10.6. Construcción de una fortificación a partir del ángulo central del polígono (Juan de Santans y Tapia: <i>Tratado de fortificación militar destos tiempos</i> , Bruselas, 1644; Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/8199)	488
10.7. Diversas construcciones: 1) entre otras las tenazas del padre Zaragoza, representadas en el tratado del padre José Cassani, <i>Escuela Militar de Fortificación Ofensiva y Defensiva</i> , Madrid, 1705; 2 y 3) de F. Marqui y B. Lorini, representadas en <i>Escuela de Palas</i> , Milán, 1693, tomo II, pp. 19 y 23 (Biblioteca Nacional de Madrid, signs. 2/15086 y R/15043, respectivamente.)	492
10.8. Portada del tratado anónimo <i>Escuela de Palas</i> , Milán, 1693 (Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/15043)	496
10.9. Representación de un baluarte a la manera de: 1) Pagán en el tratado de Cassani de 1705; 2) Villegas en el tratado de <i>Escuela de Palas</i> ; 3) Blondel en el tratado de <i>Escuela de Palas</i> (Biblioteca Nacional de Madrid, signs. 2/15086 y R/15043.)	498

10.10. Construcción del frente y baluartes de Medrano con flancos curvos, según la representación que aparece en <i>Escuela de Palas</i> , Milán, 1693, tomo II, p. 101 (Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/15043)	499
10.11. Sobre la falsabraga: 1) Sección de un frente fortificado con falsabraga según <i>Escuela de Palas</i> (Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/15043); 2) La ciudadela de Mesina con falsabraga perimetral, según el proyecto de Carlos de Grunenbergh, 1686	502
10.12. Descripción general de las obras exteriores de una fortaleza según la figura 40 del tratado de Santans y Tapia, Bruselas, 1644 (Biblioteca Nacional de Madrid, sign. R/8199)	503
10.13. Descripción de la fortificación de la isla de Malta: 1) Descripción con el parecer para su fortificación de Juan de Médicis en 1639-1640; 2) Detalle de la propuesta de Médicis para el frente viejo de la Valeta y el nuevo frente exterior diseñado por Floriani, y detalle de revellines y contraguardias (medias lunas) en el frente viejo. (Francesco Negro y Carlo María Ventimiglia: <i>Atlante di città e fortezze del regno di Sicilia</i> , 1640, Biblioteca Nacional de Madrid); 4) La fortificación del frente de la Valeta, construida según el proyecto de Médicis (S. Spiteri, 2001)	506
10.14. Esquemas vaubantianos: 1) Trazado del «tenallón» vaubantiano en el tratado de Cassani de 1705 (BNM, sign. 2/15086); 2) Construcción de Vauban según <i>Escuela de Palas</i> en 1693 (BNM, sign. R/15043); 3) Esquemas del segundo y tercer sistema de Vauban	510
10.15. Proyectos del ingeniero militar Juan Martín Cermeño: 1) Fragmento del plano general de Cartagena, su arsenal y su puerto, con el proyecto de fortificación, 1766 (Museo Naval de Madrid, E-43-10); 2) Proyecto del ingeniero Llobet para un reducto de artillería en la falda del monte de Galeras, siguiendo el diseño general de Cermeño (Servicio Histórico Militar, 2652-9); 3) Proyecto general de la ciudad de Zamora, 1766 (SGE, n.º 341); 4) Fuerte avanzado propuesto para el padrastro de San Francisco, en Ciudad Rodrigo, 1766 (Servicio Geográfico del Ejército, 385)	513
10.16. La fortaleza de San Fernando de Figueras: 1) Planta del castillo, construido a partir de un proyecto de Juan Martín Cermeño, 1753; 2) Vista aérea parcial del baluarte principal	516
10.17. Planta del castillo de Salsas, al norte de Perpiñán, en el siglo XVIII	517
11.1. Corredera de barquilla (Joseph García Sevillano, <i>Nuevo Régimen de la Navegación</i> , Madrid, 1736)	524
11.2. Diversos modelos de agujas náuticas empleados para determinar la declinación magnética (J. Juan y Santacilia, <i>Compendio de Navegación</i> , Cádiz, 1757)	525
11.3. Ballestilla: a) Ejemplar del Museo Naval de Madrid (inv. 289); b). Empleo según J. González Cabrera, <i>Navegación Especulativa y Práctica</i> , Manila, 1734	528
11.4. Cuadrante de Davis: 1) Ejemplar del Museo Naval de Madrid (inv. 1239); 2) Empleo, según Andre Wakeley, <i>A Agulha de Marear Rectificada</i> , Londres, 1762 ...	529
11.5. Proyección de Mercator (adaptada por Thomas Wright, <i>Certaine Errors in Navigation</i> , Londres, 1599)	532
11.6. Octante de Hadley: 1) Ejemplar fabricado por Spencer Browning, Londres (Museo Naval de Madrid, inv. I1333); 2) Empleo del octante	536
11.7. <i>Almanaque Náutico</i> español. Todos los datos estaban referidos al meridiano de Cádiz	543

11.8. Cronómetro de F. Berthoud: a) Grabado mostrando el mecanismo de un cronómetro (F. Berthoud, <i>Essai sur l'horlogerie</i> , París, 1787); b). Cronómetro N.º 39 de F. Berthoud (Museo Naval de Madrid, inv. 1332)	548
11.9. Vicente Tofiño de San Miguel: <i>Atlas Marítimo de España</i> , 1789: 1) Portada;	550
2) «Carta Esférica de una parte del Océano Atlántico» (Museo Naval de Madrid)	551
12.1. El <i>Santa Ana</i> (acuarela de Guillermo G. de Aledo)	560
12.2. Estructura del casco: a) según el <i>Examen</i> de Jorge Juan; b y c) proveniente del <i>Diccionario</i> del marqués de la Victoria (Museo Naval de Madrid)	561
12.3. Interpretación del navío <i>San José</i> por Berenguer	564
12.4. Navío <i>Montañés</i> (El Ferrol, 1794). (Museo Naval de Madrid, sign. PB-66 y PB-65) ...	565
12.5. Esquema del proceso constructivo de un buque. Se incluye el pertrechado y el mantenimiento como partes esenciales en la vida del navío	566
12.6. Esquema bidimensional del casco de un buque en una corriente v y ángulo de deriva λ	572
12.7. Fuerzas sobre el buque	573
12.8. Desarrollo histórico: reyes, promotores más destacados, constructores que marcaron estilo, y períodos	576
12.9. En la parte superior se reproducen los planos de Gaztañeta, y en la inferior una lámina que representa al navío <i>Real Felipe</i> , primer buque español de tres puentes, botado en Guarnizo en 1732 (Museo Naval de Madrid, PB-82)	579
12.10. Planos presentados por Jorge Juan en el <i>Examen Marítimo</i> , y que corresponden al sistema inglés	582
12.11. El <i>Santísima Trinidad</i> , construido por el sistema de Jorge Juan en La Habana en 1769. Acuarela de Alejo Berlinguero, h. 1790 (Museo Naval de Madrid, inv. 285) ...	583
12.12. Navío <i>San Juan Nepomuceno</i> navegando a un largo con las gavias. Construido por Gautier en Guarnizo y botado en 1766. Acuarela de Alejo Berlinguero, h. 1790 (Museo Naval de Madrid, inv. 827)	585
12.13. El <i>San Telmo</i> , navío de 64 cañones construido en El Ferrol en 1789 por el sistema de Romero Landa. Acuarela de Alejo Berlinguero, h. 1790 (Museo Naval de Madrid, inv. 828)	588
12.14. Buques en servicio y supervivencias	591
12.15. Producción por lustros de fragatas y de navíos, en las dos figuras superiores. Los navíos se subdividen por cañones en la tercera, y por los astilleros de procedencia en la cuarta	594
12.16. Plano con dos diques de carenar del arsenal de Cartagena (tomado de las «Adiciones» de Miguel Sánchez Taramás, Barcelona, 1769; Bibl. RSE Aragonesa, Zaragoza; fot.: M.S.S.)	595
12.17. Proyectos de arsenales: 1) Cartagena, por Sebastián Feringán Cortés, 1749 (AGS, M. P. y D., IV-76); 2) El Ferrol, por Julián Sánchez Bort, 1756 (Museo Naval de Madrid, P3A-30). En el extremo derecho de la dársena se pueden ver los necesarios diques de carenar	598
12.18. Proyecto para el arsenal de la Carraca (1788), por Tomás Muñoz (Museo Naval de Madrid, P2F-7)	599