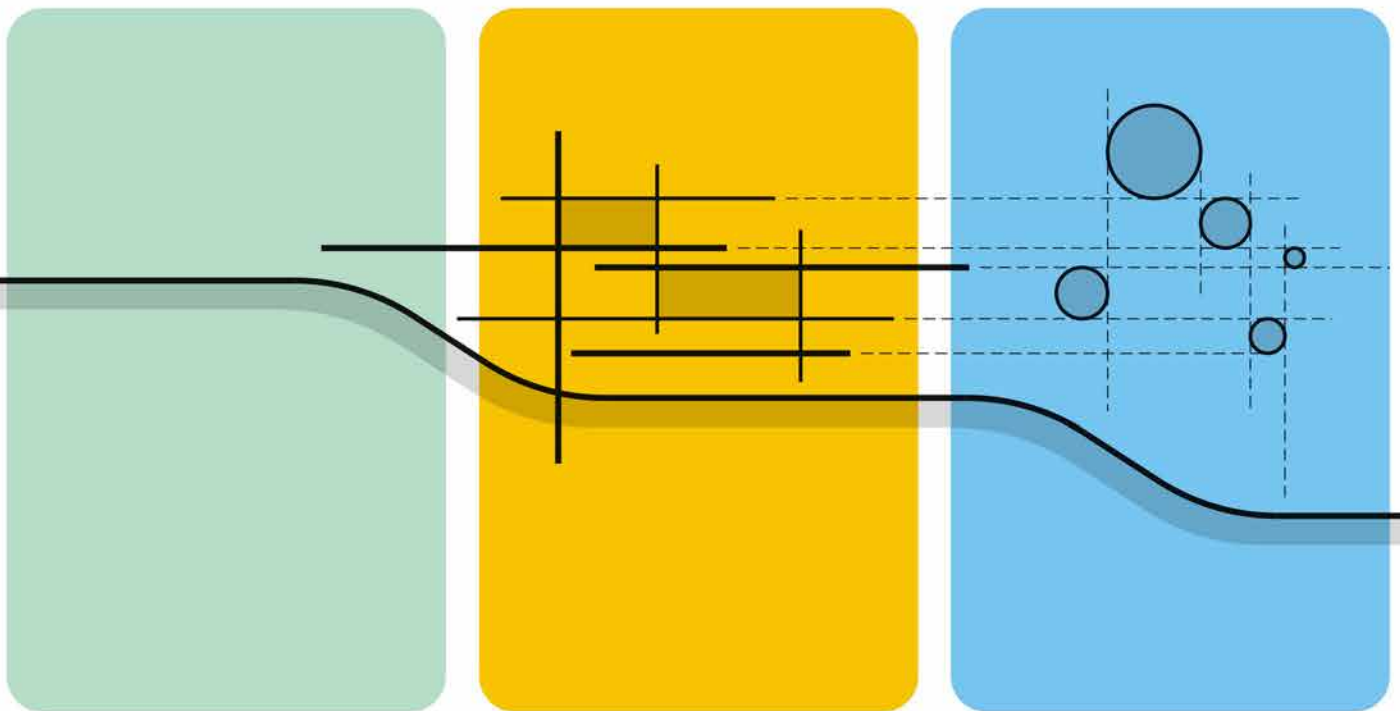


DIBUJAR, CONSTRUIR, SOÑAR

Investigaciones en torno a la expresión
gráfica aplicada a la edificación



DRAWING, BUILDING, DREAMING

Research on graphic expression
applied to building



Publicado por / *Published by:*

Tirant Lo Blanch

Editores / *Editors:*

Francisco Felip Miralles

Jaume Gual Ortí

Manuel Cabeza González

Carlos García-García

ISBN: 978-84-9143-485-6

Cubierta diseñada por / *Book cover designed by:*

Francisco Felip Miralles y Alba Soler Estrela

Copyright © 2016

Todos los derechos reservados. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética, o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación sin permiso escrito de los autores y del editor.

Los contenidos publicados en este libro reflejan únicamente las opiniones de sus autores. El editor no se hace responsable de la validez o uso de la información aquí contenida

The contents published in this book reflect the views only of the authors. The publisher cannot be held responsible for the validity or use of the information therein contained.

DIBUJAR, CONSTRUIR, SOÑAR

Investigaciones en torno a la expresión
gráfica aplicada a la edificación

DRAWING, BUILDING, DREAMING

Research on graphic expression
applied to building

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

Italia / Italy

Dr. GIUSEPPE AMORUSO

Politecnico di Milano

D. CARLO BERIZZI

Università Degli Studi Di Pavia

Dr. STEFANO BRUSAPORCI

Università Degli Studi Dell'Aquila

Polonia / Poland

Dña. ANNA SZCZEGIELNIAK

Opole University of Technology

Colombia

Dra. ANGELICA CHICA SEGOVIA

Facultad de Artes Bogotá

Méjico / Mexico

Dña. CAROLINA CARMONA APARICIO

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Perú

D. LUCAR LESTER MEJIA

Universidad Nacional de Ingeniería

España / Spain

Dr. JOSÉ ANTONIO BARRERA VERA

Universidad de Sevilla

Dr. MANUEL CABEZA GONZÁLEZ

Universitat Jaume I

Dr. FRANCISCO FELIP MIRALLES

Universitat Jaume I

Dr. ANGEL JOSÉ FERNÁNDEZ ALVÁREZ

Universidad de A Coruña

Dr. CARLOS GARCÍA-GARCÍA

Universitat Jaume I

Dr. JORGE GARCÍA VALLDECABRES

Universitat Politècnica de València

D. JOSÉ TEODORO GARFELLA RUBIO

Universitat Jaume I/Ayuntamiento de Vila-Real

Dr. GABRIEL GRANADO CASTRO

Universidad de Sevilla

Dr. JAUME GUAL ORTÍ

Universitat Jaume I

Dra. MARÍA CONCEPCIÓN LÓPEZ GONZÁLEZ

Universitat Politècnica de València

Dra. MARÍA JESÚS MAÑEZ PITARCH

Universitat Jaume I

D. JOAQUÍN MARTÍNEZ MOYA

Universitat Jaume I

Dña. MARÍA CUEVA SANTA MORRO RUEDA

Universitat Jaume I

Dr. JOSÉ LUIS NAVARRO LIZANDRA

Universitat Jaume I

Dra. BEATRIZ SÁEZ RIQUELME

Universitat Jaume I

Dra. ALBA SOLER ESTRELA

Universitat Jaume I

Dra. ISABEL TORT AUSINA

Cátedra UNESCO Fórum Universidad y Patrimonio/Universitat Politècnica de València

Dra. MERCEDES VALIENTE LÓPEZ

Universidad Politècnica de Madrid

ÍNDICE/INDEX

Presentación/ <i>Presentation</i>	17
FELIP MIRALLES, Francisco; MÁÑEZ PITARCH, M ^a Jesús	

Capítulo introductorio/*Introductory chapter*

Las herramientas geométricas, proyectivas y visuales en la era digital/ <i>Gli strumenti geometrici, proiettivi e visuali per il progetto, nell'era del digitale/Geometric, visual and projective tools for design, in the digital age</i>	21
AMORUSO, Giuseppe	

Parte 1

DIBUJAR/*DRAWING*

Capítulo 1

¿Por qué dibujamos?/ <i>Why we draw?</i>	43
LLORENS CORRALIZA, Santiago	

Capítulo 2

Levantamiento y reconstrucción virtual del Castillo de San Jorge en Sevilla/ <i>Architectural Survey and virtual reconstruction of Inquisition's Castle of St. Jorge</i>	73
BARRERA VERA, José Antonio; BARBA, Salvatore; CABRERA REVUELTA, Elena; CAMILLO SAVIELLO, Saverio	

Capítulo 3

Planificación de un levantamiento arquitectónico a través de un algoritmo genético/ <i>Architectural Survey Planning by a Genetic Algorithm</i>	85
CABRERA REVUELTA, Elena; BARRERA VERA, José Antonio; CABALLERO SÁNCHEZ, Manuel; CHÁVEZ DE DIEGO, María-José; FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Yago.	

Capítulo 4

Catastro y SIG como base de la representación urbana de la evolución de la ciudad/ <i>Cadastral and GIS as the basis for urban representation of city development</i> ...	97
DUALDE VIÑETA, Vicente; CANTERO RAMÓN, Eloy; HERNANDEZ FERNANDEZ, José M.	

Capítulo 5

Las redes geodésicas de Honduras para la ordenación del territorio. Investigación en cooperación de la Universidad de Alcalá y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras/ <i>Honduras Geodesic networks for regional planning. Research cooperation the University of Alcalá and the National Autonomous University of Honduras</i>	109
MAZA VÁZQUEZ, Francisco	

Capítulo 6

Uso de la información catastral en la ordenación urbanística mediante técnicas SIG/*Use of the cadastral information in urban planning through GIS techniques.....* 123
 NOGUERO HERNÁNDEZ, María Dolores ; RAMÍREZ MORENO, Eduardo; RAMÍREZ TORRES, Ana

Capítulo 7

El “Plano General de Murcia” por Pedro Cerdan y Pedro Garcia Faria. 1896/*The “Plano General de Murcia” by Pedro Cerdán and Pedro García Faria. 1896.....* 133
 ROS MCDONNELL, Diego ; SILVENTE MARTÍNEZ, María José

Capítulo 8

Enrique Viedma Vidal y el Mercado Central/*Enrique Viedma Vidal and the Central Market of Valencia.....* 145
 ARCE MARTÍNEZ, José Miguel; GALÁN SERRANO, Julia; GARCÍA-GARCÍA, Carlos

Capítulo 9

Calidad gráfica en dibujos técnicos entre los siglos XIX y XX/*Graphic quality in technical drawings between the nineteenth and twentieth centuries* 159
 GORDILLO BEL, Dídac

Capítulo 10

Diseño heráldico. Conocer la historia a través de la geometría plana/*Heraldic design. Knowing the History through Plane Geometry* 169
 GORDILLO BEL, Dídac

Capítulo 11

Arquitectura escolar en Elche en la II República. Dibujos y proyectos/*The school Architecture of Elche during the Second Republic of Spain. Drawings and Projects* 181
 IRLES PARREÑO, Ricardo; JUAN GUTIERREZ, Pablo Jeremías

Capítulo 12

Correlacion geométrica entre el rosetón y el ábside de la Catedral de Chartres/*Geometric correlation between the rose window and the apse of Chartres' Cathedral..* 193
 SEGUÍ COLOMAR, Joan M.; SAMPER SOSA, Albert; HERRERA GÓMEZ, Blas

Capítulo 13

Buscar el equilibrio entre lo colmatado y el hueco/*Finding the balance between the hollow and the fulness* 203
 ANDRÉS ROMANCE, Marta

Capítulo 14

La trasformazione del linguaggio grafico di progetto nel primo Novecento in ambito romano/*The transformation of the design communication in the early twentieth century at least in Rome* 213
 CARNEVALI, Laura; LANFRANCHI, Fabio

Capítulo 15

El color como estrategia para mejorar la orientación y capacidad sensorial en la arquitectura destinada a personas mayores/*Colour as a strategy to improve sense of direction and sensory ability in architecture for the elderly* 229
 DELCAMPO CARDA, Anna ; TORRES BARCHINO, Ana ; SERRA LLUCH, Juan

Capítulo 16

La expresión gráfica como estrategia de comunicación entre el diseñador y la empresa/*Graphic expression as communication strategy between designer and company*..... 245
 FELIP MIRALLES, Francisco

Capítulo 17

Diseño paramétrico y generativo: exploración de formas arquitectónicas e industriales para facilitar su construcción (digital)/*Parametric and generative design: exploration of architectural and industrial forms to facilitate their (digital) construction*..... 259
 FERRERO GIL, Sergio; PONS AZNAR, Laura; VIDAL CALATAYUD, Almudena

Capítulo 18

El dibujo como construcción de un espacio habitable/*Drawing as construction of a living space*..... 269
 MARTINEZ-DIAZ, Enrique

Capítulo 19

¿Cómo diseñar espacios habitables?/*How to design living spaces?* 283
 MONTESINOS, Dániaba; TENESACA, Jorge

Capítulo 20

Diseño de una cubierta hiperbólica plegable tensada/*Design of a cover folding hyperbolic stressed* 297
 MORALES GUZMÁN, Carlos César

Capítulo 21

Il disegno del progetto di architettura in cinque passi: esperienze didattiche/*The drawing of the architectural design in five steps: teaching experiences* 307
 PELLEGATTA, Cristina

Capítulo 22

Espacios cromáticos para la enseñanza/*Chromatic Spaces for Education*..... 321
 TORRES BARCHINO, Ana; SERRA LLUCH, Juan; DELCAMPO CARDA, Anna

Capítulo 23

- Cómo preparar a un estudiante de expresión gráfica de forma previa y a través de un curso MOOC/*How to prepare a student of Graphic Expression in advance by means of a MOOC course* 329
 FERNÁNDEZ-COCA, Antonio

Capítulo 24

- La docencia en expresión gráfica mediante el Aprendizaje Basado en Problemas/*Teaching within Graphic Expression by means of Problem-Based Learning*..... 343
 FERNÁNDEZ-VALDERRAMA APARICIO, Pedro; ANTÓN GARCÍA, Daniel

Capítulo 25

- Gestión de riesgos según la norma ISO 31000 para el logro de objetivos docentes y el desarrollo de competencias en la asignatura Expresión Gráfica de Tecnologías de la Edificación/*Risk management according to ISO 31000 standard for the achievement of teaching objectives and skill development in Graphic Expression of Construction Technologies*..... 353
 FERNÁNDEZ-VALDERRAMA APARICIO, Pedro; MOYANO CAMPOS, Juan José; CHAZA CHIMENO, María del Rosario

Capítulo 26

- Visión temporal y geometría descriptiva/*Temporal vision and Descriptive Geometry*.. 367
 JUAN GUTIÉRREZ, Pablo Jeremías

Capítulo 27

- Dibujo y creatividad/*Drawing and creativity* 379
 LLORENS CORRALIZA, Santiago

Capítulo 28

- Manejo de maquetas de escaleras para entender espacios arquitectónicos/*Using stairs models to understand architectural spaces* 393
 SAUMELL LLADÓ, Juan

Capítulo 29

- Sessions de dessin en plein air por des achitectes en tant que complément des cours avec dessin à main levée/*Plein-air drawing sessions as a supplement for teaching drawing for architects*..... 403
 SZCZEGIELNIAK, Anna

Capítulo 30

- Aproximación a la gráfica de ingeniería cubana desde la Universidad de Camagüey/*Approach to the graph of cuban engineering from the University of Camagüey* 415
 MORCIEGO GARCÍA, Carlos Eralio; DIEGO CASAS, Sadi Gloria; RAMÍREZ VALLVEY, Jorge

Capítulo 31

- Revisión de metodologías docentes aplicadas a la expresión gráfica: arquitectura, diseño y realidad virtual/*Review of teaching methodologies applied to graphic expression: architecture, design and virtual reality* 431
 SOLER ESTRELA, Alba; ANDRÉS ROMANCE, Marta; BARTOLOMÉ ÁLVARO, Miguel; CABEZA GONZÁLEZ, Manuel; GARFELLA RUBIO, J. Teodoro; MAÑEZ PITARCH, M. Jesús; MARTINEZ MOYA, Joaquín; MORRO RUEDA, M. C. Santa; SAEZ RIQUELME, Beatriz

Parte 2

CONSTRUIR/BUILDING**Capítulo 32**

- El levantamiento gráfico de la escalera del Real Colegio de Corpus Christi de Calencia: análisis gráficos/*The graphic survey of the staircase of the Royal College of Corpus Christi of Valencia: metrological analysis* 441
 LÓPEZ GONZÁLEZ, M^a Concepción; ROMANÍ LÓPEZ, Rafael

Capítulo 33

- Ricostruzione virtuale di uno spazio illusorio. La prospettiva solida di Giovanni Maria da Bitonto a b;Bologna/*Virtual reconstruction of an illusory space. The relief-perspective by Giovanni Maria da Bitonto in Bologna*..... 453
 AMORUSO, Giuseppe; SDEGNO, Alberto; RIAVIS, Veronica

Capítulo 34

- L'area della "Porta Villanova" a Cagliari/*The area of the "Porta Villanova" city gate in Cagliari* 467
 BAGNOLO, Vincenzo; PIRINU, Andrea

Capítulo 35

- Metodología para el levantamiento detallado de un edificio en ruinas. Integración de tres técnicas actuales/*Methodology for a detailed survey of a ruined building. Integration of three current techniques* 481
 BAVIERA LLÓPEZ, Eduardo; LLOPIS VERDÚ, Jorge; DENIA RIOS, José Luis; MARTÍNEZ PIQUERAS, Jorge Francisco

Capítulo 36

- Aspetti ambientali nel progetto di recupero della chiesa di s. Giusta di Bazzano/*Environmental aspects in the project for renovation of the S. Giusta di Bazzano church*..... 495
 CONTINENZA, Romolo; TRIZIO, Ilaria; DI CESARE, Gianfranco

Capítulo 37

- Levantamiento y representación del Patrimonio Modernista y Noucentista del municipio de Salou (Tarragona)/*Construction and representation of Catalan. Modernista and Noucentista architecture in Salou (Tarragona)*..... 505
DOMINGO MAGAÑA, José Ramón

Capítulo 38

- Arquitectura y paisaje en los oasis pre-saharianos. Experiencia de trabajo en torno a Tinejdad, Marruecos/*Architecture and Landscape in the pre - Saharan oasis. Work experience around Tinejdad, Morocco* 519
GIL PIQUERAS, Teresa; JUAN VIDAL, Francisco; RODRÍGUEZ-NAVARRO, Pablo; LILLO GINER, Santiago

Capítulo 39

- Leica Cyclone 9.1. Avances en el registro automático y gestión de las nubes de puntos/*Leica Cyclone 9.1. Advances in point cloud automatic registration and management*..... 535
LILLO GINER, Santiago; RODRÍGUEZ-NAVARRO, Pablo; GIL PIQUERAS, Teresa; SOLER ESTRELA, Alba

Capítulo 40

- Metodología aplicada en el análisis de la cerámica arquitectónica del complejo sanitario de Fontilles, Alicante, España/*Applied methodology in the architectural analysis of ceramics at the health complex in Fontilles, Alicante, Spain* 547
MARÍN TOLOSA, Rafael Emilio; HIDALGO DELGADO, Francisco; LLOPIS VERDÚ, Jorge; MARTÍNEZ PIQUERAS, Jorge Francisco

Capítulo 41

- Composición y decoración de las portadas Tardogóticas del Palacio Condal de Oliva/*Composition and decoration of the late Gothic-style portals at the Earls' of Oliva Palace*..... 557
MARTÍNEZ MOYA, Joaquín Ángel

Capítulo 42

- La Recuperación del Patrimonio a Través de la Expresión Gráfica/*Heritage Recovery Through Graphic Expression*..... 569
MONZÓN PEÑATE, Felipe; CALLE CABRERO, Julio

Capítulo 43

- Lo cotidiano se pone en valor. Murallas de Castellново/*Everyday is put in value. The Walls of Castellново* 581
MORRO RUEDA, Cueva Santa; SÁEZ RIQUELME, Beatriz

Capítulo 44

Misura e proporzione nei ponti antichi lapidei. Il Ponte di Augusto a Narni/
Misure and proportion in the ancient stone bridges. The Augustus Bridge in Narni ... 593
 PARIS, Leonardo; INGLESE, Carlo; ROSSI, Maria Laura

Capítulo 45

I centri minori: castelli, rocche, torri e cinta murarie/*Small countries: castles, fortresses, towers and town walls.....* 607
 PIERAGOSTINI, Enrica; SANTUCCIO, Salvatore

Capítulo 46

El uso de la metodología apropiada para el levantamiento arquitectónico del patrimonio inmueble, aplicación del levantamiento tradicional en el Portal Medellín, Colima/ *The use of appropriate methodology for the architectural survey of built heritage, application of traditional uprising in the case of Medellin Portal, Colima.....* 623
 RODRÍGUEZ LICEA, Minerva; MENDOZA PÉREZ, Luís Alberto

Capítulo 47

La silueta histórica de los núcleos tradicionales bienes de relevancia local/*The historical shape of traditional nucleus Assets of Local Significance.....* 639
 ROGER ESPINOSA, Francisca

Capítulo 48

Los planos originales de la Iglesia Arciprestal de Vila-Real. Interpretación constructiva de la cúpula dibujada/*The original plans of the Archiprestal Church in Vila-real. A constructive interpretation of the drawn dome.....* 651
 VILA ESTÉBANEZ, Daniel; SOLER ESTRELA, Alba; SÁEZ RIQUELME, Beatriz

Capítulo 49

Recursos gráficos para el estudio del patrimonio. Aplicación particular al edificio del recinto ferial de Albacete/*Graphical resources for the heritage study. Application to the case of the Fair Pavilion of Albacete.....* 663
 CARO GALLEGO, Cristina; GUTIÉRREZ MOZO, María Elia

Capítulo 50

Echoes of liberty and deco. Graphic analysis of facades in sardinian bulidings/*Echi di liberty e déco. Analisi grafica dei caratteri déco nelle facciate degli edifici in sardegna.....* 675
 CICALÒ, Enrico

Capítulo 51

Quando l'edificio è un'opera d'arte. Ri-disegnare architetture d'artista/*When the building is a work of Art. Graphic analysis of artists' architectures.....* 687
 MAGAGNINI, Marta

Capítulo 52

Estudios geométricos en el florecimiento del Renacimiento en tierras de Castellón. Entre la tradición Gótica y el Barroco/*Geometric studies in the blossoming of the Renaissance in lands of Castellón. Between the Gothic and Baroque tradition* 701
 MÁÑEZ PITARCH, María Jesús; GARFELLA RUBIO, José Teodoro

Capítulo 53

La cartografía de Guadalajara de 1880 del instituto Geográfico y estadístico. Un documento fundamental Para la investigación arquitectónica y urbanística de La ciudad/*The cartography of Guadalajara of 1880 of the geographical and statistical institute. A fundamental document for architectural and urban research development of the city* 717
 TRALLERO SANZ, Antonio Miguel

Capítulo 54

Hipótesis de métodos geométricos en perfiles de dovelas de bóvedas de crucería del monasterio de Santa Maria de la Valldigna (Valencia, España)/*Geometric methods hypothesis in vousoirs profiles of cross vaults of Santa Maria de la Valldigna monastery (Valencia, Spain)* 731
 CAPILLA TAMBORERO, Esther A.

Capítulo 55

El camino hacia la modernidad en la obra de Mauro Lleó. Análisis compositivo y constructivo de tres proyectos/*The way to modernity in the work of Mauro Lleó. Compositional and constructive analysis of three projects*..... 745
 MARTÍNEZ GREGORI, Carmen

Capítulo 56

Las trazas del antepecho de coronación neogótico en la Catedral de Sevilla. Una serie de dibujos inéditos de la construcción de la portada norte de 1917/*Traces of the Neogothic top parapet in the Cathedral of Seville. A series of unpublished drawings of the construction of the northern facade in 1917* 759
 MOYANO CAMPOS, Juan José; FERNÁNDEZ-VALDERRAMA APARICIO, Pedro; FRESCO CONTRERAS, Rafael

Capítulo 57

Vuelo, escaneado e impresión de la expresión gráfica: un viaje por el tiempo/*Flighting, Scanning and Printing of Graphic Expression: a journey through the time.* 773
 PINO SUÁREZ, Ruth; MOLERO ALONSO, Borja

Capítulo 58

El eneágono de la fortaleza de Palmanova/*The nonagon fortress of Palamanova* 793
 SAMPER SOSA, Albert; HERRERA GÓMEZ, Blas

Capítulo 59

- Revisión geométrica de la teoría de Louis Charpentier/*Geometrical and astronomical revision of Louis Charpentier's Theory* 807
 SEGUÍ COLOMER, Joan M.; SAMPER SOSA, Albert; HERRERA GÓMEZ, Blas

Capítulo 60

- Architettura ovata e tracciamento geometrico/*Ovate architecture and geometric tracing* 819
 ZERLENGA, Ornella; CIRILLO, Vincenzo

Capítulo 61

- Re-Loading BIM: Between Spatial and Database Information Modeling for Architectural Heritage Documentation 835
 BRUSAPORCI, Stefano; MAIEZZA, Pamela

Capítulo 62

- La potencia gráfica del BIM como herramienta analítica en la asignatura de Proyectos Técnicos/*BIM's graphical power as an analytical tool in the subject of Proyectos Técnicos* 849
 CAÑIZARES MONTÓN, José Manuel; VALVERDE CANTERO, David; PÉREZ GONZÁLEZ, Pedro Enrique

Capítulo 63

- Registro de monumentos históricos con HBIM/*Historic Monuments Registration with HBIM* 861
 GARCÍA VALLDECABRES, Jorge; MARCH OLIVER, Rubén; JORDÁN PALOMAR, Isabel

Capítulo 64

- Il rilievo come conoscenza complessa in forma di database. Dagli approcci tradizionali alle recenti metodologie di Building Information Modeling/*The Survey: complex knowledge organized as a database. From traditional approaches to newer methodologies of Building Information Modeling* 873
 LO TURCO, Massimiliano; MAROTTA, Anna; VITALI, Marco

Parte 3

SOÑAR/DREAMING**Capítulo 65**

- Sueños digitales. La memoria del agua/*Digital dreams. The memory of water* 889
 FERNÁNDEZ ÁLVAREZ, Ángel José

Capítulo 66

- La Realidad Aumentada como complemento para la expresión gráfica/*Augmented Reality as a complement for Graphic Expression* 911
 ANTÓN GARCÍA, Daniel; AMARO-MELLADO, José-Lázaro

Capítulo 67

Aplicación de patrimonio arquitectónico para dispositivos móviles/*Architectural heritage application for mobile devices*..... 923
 GARCÍA RODRÍGUEZ, Fco. Javier; MECA ACOSTA, Benet

Capítulo 68

Restitución gráfica del patrimonio arquitectónico desaparecido. El ejemplo de los monasterios franciscanos de Zamora/*Graphic restitution of architectural heritage disappeared. The example of the franciscan monasteries of Zamora* 937
 LÓPEZ BRAGADO, Daniel

Capítulo 69

Realidad virtual inmersiva a partir de un modelo BIM/*Immersive virtual reality based on a BIM model* 949
 SANTAMARTA MARTÍNEZ, Jaime; GALLO SALAZAR, Paula; RAYA CASTRO, Luis

Capítulo 70

Modelli architettonici. Dal rilievo col drone alla stampa 3D/*Architectural models. From air drone survey to 3D printing* 959
 BERIZZI Carlo; MARINO Salvatore Dario

Capítulo 71

La maqueta como expresión plástica del proyecto en edificación/*Model as a plastic expression in building Project*..... 971
 BERNAL LÓPEZ-SANVICENTE, Amparo

Capítulo 72

Realidad Virtual, impresión 3D y visualización de las puertas y torres de la muralla de Morella/*Virtual reality, 3D printing and visualization of the portals and towers of the defensive walls of Morella*..... 983
 DUALDE VIÑETA, Vicente; HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, José Miguel; CANTERO RAMÓN, Eloy

Capítulo 73

La estereotomía de la cúpula semiesférica por hiladas horizontales. Del dibujo en los tratados al diseño infográfico/*The Stereotomy of the semispherical dome constructed by horizontal rows. From the drawing in the treaties to the infographic design*..... 995
 GARCÍA JARA, Francisco

Capítulo 74

Nuevas situaciones, nuevas orientaciones y nuevos recursos/*New situations, new orientations and new resources* 1013
 REDONDO REDONDO, Miguel

Capítulo 75

Infraestructuras de datos espaciales como herramienta para la gestión del patrimonio cultural/*Spatial data infrastructure as a tool for cultural heritage management*..... 1025
 AMARO-MELLADO, José-Lázaro; ANTÓN GARCÍA, Daniel

Capítulo 76

El dibujo híbrido como medio de representación arquitectónica/*The hybrid drawing as a way of architectural representation* 1037
 GARCÍA-GARCÍA, Carlos; GALÁN SERRANO, Julia; ARCE MARTÍNEZ, José Miguel

Capítulo 77

Un nuevo enfoque en la gestión de nubes de puntos obtenidos por escáner y fotogrametría, para la optimización de formatos imprimibles 3D/*A novel approach to the management of point clouds derived from scanning and photogrammetry for the optimisation of printable 3D formats* 1051
 RICO DELGADO, Fernando; NIETO JULIÁN, Enrique; ANTÓN GARCÍA, Daniel

Capítulo 78

La rappresentazione degli elementi scultorei in architettura. Dal modello 3D alle geometrie sottese/*The representation of sculptural elements in architecture. From 3D models to the underlying geometry* 1067
 VALENTI, Rita; PATERNO, Emanuela

Capítulo 79

Nuevas formas de presentación del Proyecto Arquitectónico/*New forms of presentation in the Architectural Project*
 VALIENTE LÓPEZ, Mercedes; SANZ CONTRERAS, M.Carmen; OSANZ DÍAZ, J.Ramón

Capítulo 73

LA ESTEREOTOMÍA DE LA CÚPULA SEMIESFÉRICA POR HILADAS HORIZONTALES. DEL DIBUJO EN LOS TRATADOS AL DISEÑO INFOGRÁFICO

GARCÍA JARA, Francisco

Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía,
Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante. Alicante, España
francisco.gjara@ua.es

Abstract

The Stereotomy of the semispherical dome constructed by horizontal rows. From the drawing in the treaties to the infographic design.

The semispherical Renaissance dome represents the perfection of the medieval domes of ashlar raised by round rows. The one that was constructed by horizontal rows is the dome of reference that allows to easily expose the basic procedures of tracing stereotomic, which serve as base for other many complex vaults. In the first part of this communication analyses the semispherical dome: geometrical characteristics, layout, generation, requirements and constructive dispositions. Likewise the graphical procedures are detailed to obtain the necessary templates that allow the working of the voussoirs that they compose. In the second part of the communication the study is completed commenting how this dome is gathered in the manuscripts, books and treatises of architecture. Though the term Stereotomy does not appear in Spain until the last third of the 17th, nevertheless the Art of “Montea” and Cuts of Stone acquired a great development in the 16th century, to the point that since the end of the 16th century until middle of the 17th century circulated in Spain several manuscripts and books of masonry cuts: Alonso de Vandelvira, Fray Lorenzo de San Nicolas and Joseph Gelabert collected between his pages the layout of the semispherical dome. In the same way other prestigious European authors, Derand, de la Rue, Guarini, Frézier, show this dome design.

1. Introducción

1.1. *Del art du trait a la Estereotomía*

La Estereotomía se desarrolló a partir de las técnicas de dibujo medievales, especialmente del *art du trait* o su equivalente español, la montea. El *art du trait* se aplicó a la bóveda de crucería en la que quedan claramente diferenciadas la nervadura y la plementería. El termino Estereotomía no aparece en España hasta el último tercio del XVII, sin embargo el Arte de la Montea y Cortes de Piedra adquirió un gran desarrollo en el siglo XVI, hasta el punto que

desde fines del siglo XVI hasta mediados del siglo XVII circularon en España varios manuscritos y libros de Cortes de Cantería.

1.2. El sistema renacentista frente al sistema gótico

Durante el siglo XVI, el gótico sigue vivo en España, y utilizado durante bastante tiempo después. Es entonces cuando se reciben las nuevas formas italianas. Conviven dos actitudes diferentes ante la definición de la forma espacial a construir: el sistema gótico y el sistema renacentista.

El sistema gótico es un método a la vez gráfico, constructivo, espacial y estilístico. La cantería gótica, fundamentada y guiada por la geometría práctica, constituye un constructo organizado capaz de dar respuesta a la conformación de espacios. El sistema renacentista, fundamentado en el conocimiento científico, se propone resolver el problema constructivo mediante una concepción geométrica previa que permite la composición formal de las bóvedas.

La forma renacentista de tallar las piedras será distinta a la gótica. El cambio se produce al transformar la plementería en un aparejo de piezas grandes perfectamente labradas. La consecuencia de este cambio es que se tendrá que determinar a priori la forma de todas las piezas de la bóveda, precisándose para ello de una mayor definición gráfica que exigirá pasar del dibujo elemental en dos dimensiones, a los sistemas de representación que faciliten la visualización espacial. La obra de cantería aspira a conseguir la estabilidad mediante una macla continuada de toda la fábrica, y las lechadas de mortero entre dovelas tienen un papel secundario, como meras juntas de asiento.

2. La cúpula semiesférica por hiladas horizontales redondas. Características geométricas y generación infográfica

La bóveda semiesférica, o medianaranja, es uno de los temas que ocupan especialmente a la cantería renacentista dado que representa la perfección de las cúpulas medievales de sillarejo levantadas por hiladas redondas. Las bóvedas semiesféricas están formadas por dovelas que se disponen según hiladas habitualmente horizontales, aunque también existen otras variantes. La resuelta por hiladas horizontales es la cúpula de referencia que permite exponer de forma sencilla los procedimientos básicos de trazado que después se utilizarán en otras muchas bóvedas.

2.1. Características geométricas (Figs. 1 y 2)

- a) Superficie del intradós: superficie esférica. En los tratados denominada “concavidad”.
- b) Hiladas: horizontales formando anillos circulares concéntricos.

- c) Superficies de juntas entre hiladas adyacentes: Son superficies cónicas de revolución, de vértice coincidente con el centro de la superficie esférica del intradós, de eje vertical y ángulo en el vértice que reduce su abertura según ascienden las hiladas. En una misma junta se producen superficies distintas: en las piedras del anillo inferior (superficies cóncavas), y en las piedras del anillo superior (superficies convexas). A estas juntas se les denomina en general lechos aunque algunos autores distinguen entre la superficie cóncava, a la que denominan propiamente “lecho”, y la superficie convexa, a la que denominan “sobrelecho”.
- d) Juntas aparentes (desde el intradós) entre hiladas adyacentes: circunferencias horizontales que son paralelos de la superficie esférica del intradós.
- e) Superficies de juntas entre piedras de la misma hilada: Son superficies contenidas en un haz de planos verticales, convergentes con el eje vertical de la cúpula. Estas superficies definirán las dos caras de la dovela que la separan de las dos dovelas adyacentes situadas en la misma hilada. Tosca denomina a estas superficies “paramentos”, término que nos parece adecuado.
- f) Juntas aparentes (desde el intradós) entre piedras de la misma hilada: arcos de circunferencia, alternados, que son tramos de los meridianos de la superficie esférica del intradós.

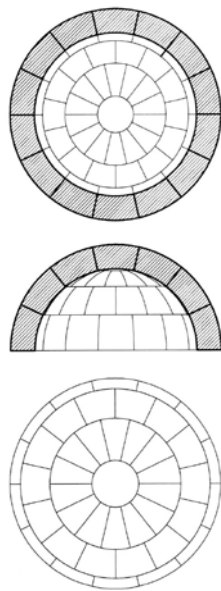


Fig. 1. Planta, alzado seccionado y planta cenital. (Elaboración propia)

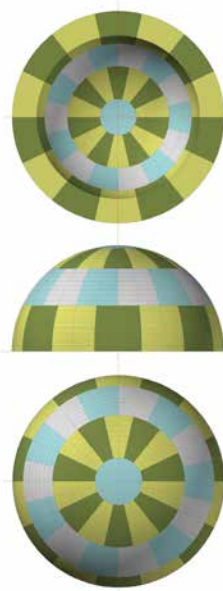


Fig. 2. Planta, alzado y planta cenital. (Elaboración propia)

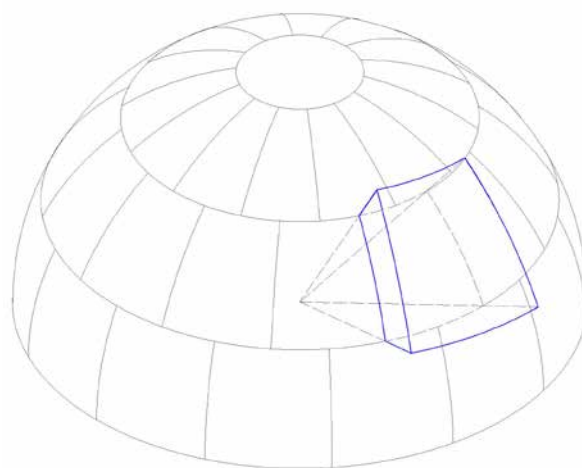


Fig. 3. Juntas aparentes desde el intradós y superficies de una dovela de la segunda hilada. (Elaboración propia)

- g) Superficies de una dovela (Fig. 3): Dentro de una misma hilada las dovelas son todas iguales. Cada dovela tallada debe quedar limitada por seis superficies bien definidas: la superficie esférica del intradós denominada concavidad, dos superficies cónicas del lecho y sobrelecho, dos superficies planas de los paramentos; y finalmente el extradós

que no será necesario labrar ya que las cúpulas del siglo XVI no son trasdosadas y además, habitualmente son de dos hojas.

2.2. Trazado. Generación infográfica

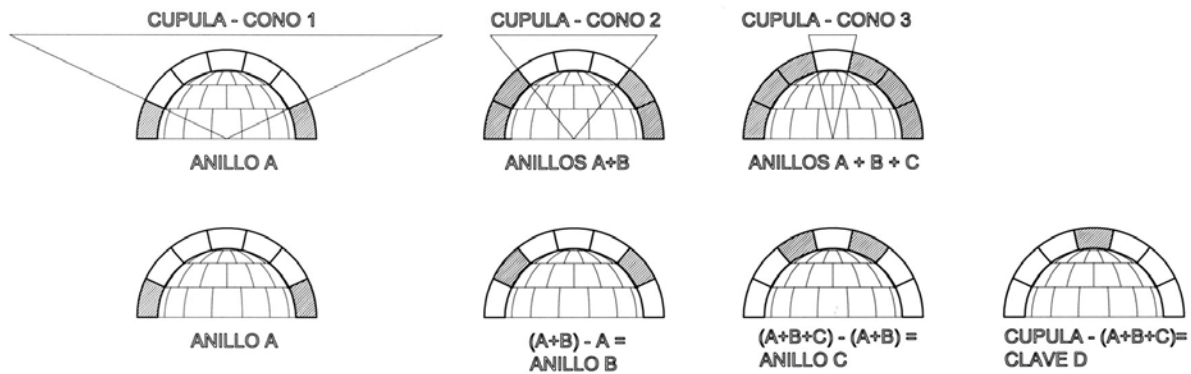


Fig. 4. Secciones explicativas del proceso para la generación de sólidos. (Elaboración propia)

Subdivisión en alzado para determinar el número de hiladas (Fig. 1). En los tratados el número de hiladas dibujadas varía entre las 2 hiladas y clave de De la Rue y Simonin, las 3 hiladas y clave de Vandelvira, Fray Lorenzo, Gelabert, Frézier y Tosca, llegando a 4 hiladas y clave de Derand y Guarini. Utilizaremos 3 hiladas y clave por ser la más repetida. Esta subdivisión es un número variable que dependerá del tamaño de la cúpula a construir para conseguir piezas de piedra que permitan ser manipuladas con los medios auxiliares disponibles. El número de hiladas será impar para contemplar el remate de la cúpula con una piedra única, la clave.

Subdivisión en planta, de cada hilada en el número de piedras que la compondrán (Fig. 1). En este caso hemos subdividido cada hilada en 14 piezas. Al igual que el número de hiladas es un número variable que dependerá del tamaño de la cúpula a construir; para conseguir piezas manipulables. No es preciso que todas las piezas sean iguales aunque la disposición constructiva aconseja que así sea para que las juntas aparentes entre piedras de la misma hilada queden alternadas y no coincidan en hiladas adyacentes. En el caso dibujado, el número de piedras por hilada se ha mantenido, sin embargo la lógica constructiva aconsejaría la agrupación de piedras al subir hacia la clave, al disminuir el tamaño de las mismas.

Generación de los sólidos para el diseño infográfico (Figs. 4 y 5). Partimos de la cúpula semiesférica definida por sus superficies interior (intradós) y exterior (extradós). En primer lugar, la diferencia, o vaciado, entre la cúpula y el cono 1, da lugar al anillo A. En segundo lugar, la diferencia entre la cúpula y el cono 2, produce los anillos A+B. Quitando a los anillos A+B, el anillo A, obtenido previamente, conseguimos el anillo B. En tercer lugar, restando a la cúpula el cono 3, obtenemos los anillos A+B+C, y quitándoles A+B, logramos el anillo C. Finalmente restando A+B+C a la cúpula obtenemos la clave D. De esta forma tenemos diferenciados los tres anillos, A, B, C y la clave, D.

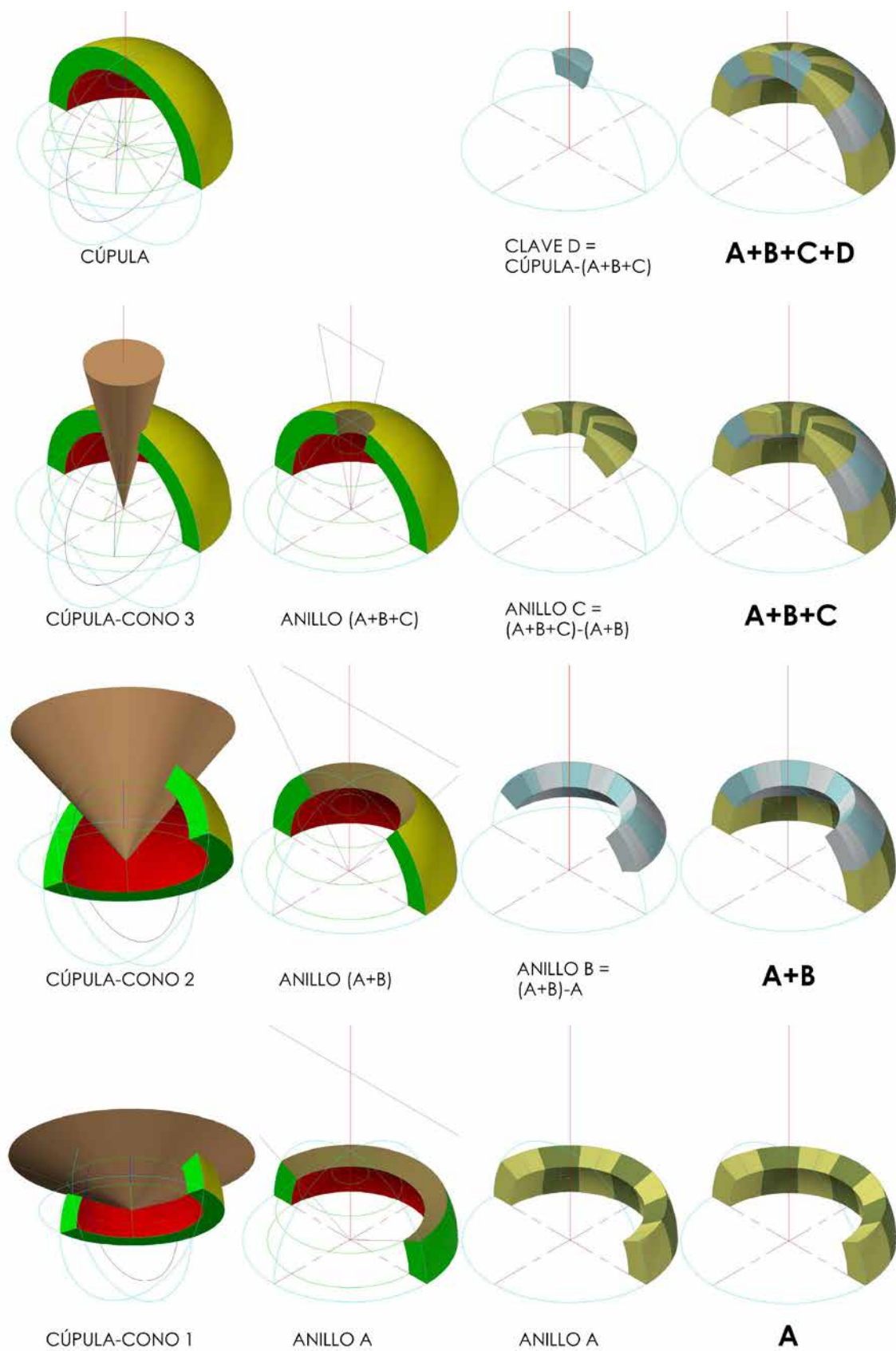


Fig. 5. Axonometrías explicativas de la generación de los anillos. Dibujada la mitad para mejor visualización.
(Elaboración propia)

Es preciso indicar que esta forma de proceder para la obtención de los anillos no es única. En nuestro caso hemos utilizado con preferencia la diferencia de sólidos, pero también puede realizarse buscando la intersección de sólidos, ó sólidos comunes. En la figura siguiente (Fig. 6) se muestra el modelado infográfico completo de la cúpula.

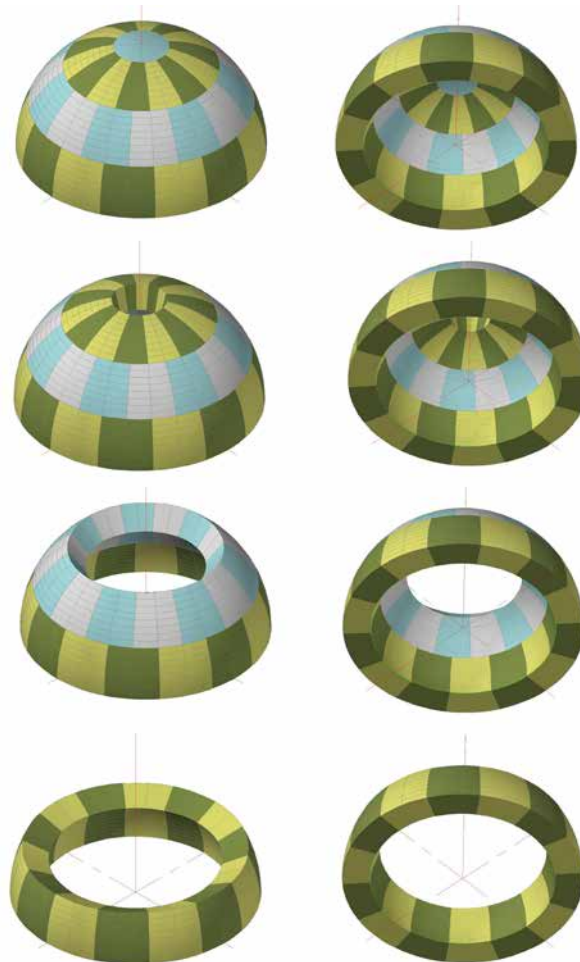


Fig. 6. Axonometrías. Secuencia constructiva. Visualización superior e inferior. (Elaboración propia)

2.3. Exigencias y disposiciones constructivas

Cimbrado de la cúpula. Cuando la hilada redonda de una cúpula ha sido completada enteramente, aunque quede un orificio central, la cúpula es autoestable y no necesita cimbrado; pero mientras se van asentando los sillares de cada hilada, es necesario que queden apoyados o sostenidos de alguna manera, mediante cimbras convenientemente arriostradas.

2.4. Obtención de las plantillas o patrones (Fig. 7)

¿Cómo se transmitía toda la información necesaria a los operarios?. Difícil se nos hace imaginar que fuese a través de plantas, alzados y secciones, dado que la interpretación de estas vistas exige un

pensamiento geométrico avanzado. Por tanto el procedimiento debía ser más sencillo, efectivamente así era, sería suficiente con la definición de las plantillas o patrones de las caras de cada dovela.

Se puede decir que la plantilla o patrón es una montea móvil que representaba las diversas caras de la dovela que se tenía que cortar y que tiene la ventaja de poder aplicarse directamente sobre la piedra para obtener y marcar o comprobar su contorno. Las plantillas podían ser: rígidas a utilizar en caras planas, flexibles (de cartón, hojalata o plomo) para su uso en superficies desarrollables, aunque también se utilizaban de forma poco rigurosa en superficies no desarrollables como regladas alabeadas o esféricas.

En cada cúpula podrá ser necesario sacar más o menos patrones para proceder a su talla. En el caso concreto de la semiesférica, si el método de labra utilizado es el de “plantilla y baivel” y la cúpula no es trasdosada, basta con un solo patrón, aquel que define la cara interior o concavidad de la dovela. No obstante analizaremos la obtención de todas las plantillas: paramentos, lechos y concavidad, para mayor abundamiento en la comprensión de las superficies que definen la dovela. Cada plantilla es útil solo para los sillares de su hilada, pero las plantillas y las piezas de una misma hilada son todas iguales.

Dibujamos una circunferencia con centro en “o” que pasa por los puntos ABCD y representa la proyección horizontal de la superficie interior. La circunferencia concéntrica con la anterior, incrementado su radio en el “grosor” de la cúpula, pasa por los puntos EFGH y nos determina la superficie exterior de la bóveda. Delineamos la proyección vertical, que será en realidad la sección producida por un plano frontal P, y la dividimos en sus piedras, en este caso en siete iguales ($180^\circ/7=25,71^\circ$). Dibujamos estas divisiones en la proyección horizontal teniendo en cuenta que son paralelos de la superficie semiesférica.

a) Las plantillas de los paramentos

Los paramentos están contenidos en planos verticales que pasan por el centro de la semiesfera, es decir en planos meridianos. Ya están delineados en el arco que tenemos dibujado en proyección vertical, puesto que este arco representa uno de esos meridianos, el producido por un plano frontal, P, que pasa por O. Así, por ejemplo, el polígono mixtilíneo 1',2',3',4', es la plantilla de los paramentos de todas las piedras del tercer anillo. De forma sencilla y análoga tendríamos las plantillas de paramentos de los anillos restantes, que serian iguales a la obtenida si la subdivisión de hiladas en alzado fuese uniforme.

b) Las plantillas de los lechos

Los lechos están contenidos en superficies cónicas invertidas, con vértice en O y directriz horizontal circular situada en los paralelos que representan las juntas interiores y exteriores de la cúpula. El lecho 1º es una corona circular definida interiormente por la circunferencia ABCD y exteriormente por la EFGH, tratándose, en este caso particular, de superficies planas.

Obtendremos, a modo de ejemplo, los lechos de una piedra de la cúpula (la identificada en su paramento por 1'-2'-3'-4'). Previamente tenemos que determinar, en proyección horizontal, las divisiones del anillo al que pertenece la piedra ejemplo; en este caso 14 particiones. ($360^\circ/14=25,71^\circ$). Se ha dibujado en proyección horizontal todas las piedras del anillo. Por lógica constructiva los demás anillos también deben estar divididos en 14 particiones y las juntas de los paramentos deben estar contrapeadas para evitar su coincidencia. Para no dificultar la lectura de la proyección horizontal no se han dibujado las divisiones de los anillos restantes. El lecho inferior, 1-2-5-6 de esta piedra ejemplo pertenece al lecho 3º y el superior, 3-4-7-8, al lecho 4º.

El lecho 3º, 1-2-5-6, pertenece a una superficie cónica de vértice O y directriz la circunferencia horizontal de centro W y radio w'1'. Para la obtención del lecho 3º dibujaremos el desarrollo de la superficie lateral de este cono, que es un sector circular en el que estarán contenidos dos arcos, uno de radio o'1' (radio interior de la bóveda), sobre el que estarán situados los puntos 1-5; y otro de radio o'2' (radio exterior de la bóveda), sobre el que estarán situados los puntos 2-6. Sobre el arco de radio menor fijaremos los puntos 1-5, sabiendo que la distancia entre ellos la podemos tomar de la proyección horizontal, por tratarse de un paralelo de la esfera. Sobre el arco de radio mayor fijaremos los puntos 2-6, sabiendo que la distancia entre ellos la podemos tomar de la proyección horizontal.

El lecho 4º, 3-4-7-8, pertenece a una superficie cónica de vértice O y directriz la circunferencia horizontal de centro X y radio x'3'. Para la obtención del lecho 4º dibujaremos los dos arcos de radios, o'3' y o'4'. Sobre el arco de radio menor fijaremos los puntos 3-7 sabiendo que la distancia entre ellos la podemos tomar de la proyección horizontal. Sobre el arco de radio mayor fijaremos los puntos 4-8, de igual forma.

En esta construcción geométrica estamos basándonos en el desarrollo de una superficie cónica, y para fijar los puntos 1-2-5-6 inscribimos una pirámide en dicha superficie lo que nos permite tomar, directamente las distancias 1-5 y 2-6 de la planta. Esta construcción geométrica, habitual en los tratados de arquitectura, contiene el **error cuerda-arco**, que consiste en tomar la magnitud de la cuerda en vez de la longitud del arco, que sería la correcta. De esta forma el tamaño de la plantilla es ligeramente menor del que sería exacto, y este error es admisible en cúpulas de tamaño grande donde la subdivisión en un número mayor de hiladas supone una diferencia menor entre cuerda y arco; además los tratadistas mencionan que el error es subsanado por la utilización del mortero en las juntas. Esta plantilla de lechos se ajustará perfectamente a las piedras, con la salvedad indicada por el "error cuerda-arco". Podríamos obtener fácilmente la construcción gráfica exacta, trabajando con los ángulos que abarcan éstas cuerdas y buscando que la longitud del arco en planta coincida con la longitud del arco en el desarrollo.

c) La plantilla de la concavidad

Corresponde a la cara interior de la bóveda. Para la piedra ejemplo, la concavidad está definida por los puntos 1-3-5-7. La concavidad 1-3-5-7 pertenece a la superficie cónica de vértice Y, y di-

rectriz la circunferencia horizontal de centro W y radio $w'1'$. Para la obtención de la concavidad dibujaremos el desarrollo de la superficie lateral de este cono, que es un sector circular en el que estarán contenidos dos arcos: uno de radio $y'3'$, sobre el que estarán situados los puntos 3-7; y otro de radio $y'1'$, sobre el que estarán situados los puntos 1-5. Sobre el arco de radio menor fijaremos los puntos 3-7 sabiendo que la distancia entre ellos la podemos tomar de la proyección horizontal, por tratarse de un paralelo de la esfera. Sobre el arco de radio mayor fijaremos los puntos 1-5, tomados de la proyección horizontal. Las distancias 3-7 y 1-5 incurrir en el “error cuerda-arco”.

Esta plantilla de concavidad no ajustará en todo su contorno con la piedra, sólo los tramos 3-7 y 1-5 (arcos de circunferencia) encajarán perfectamente, sin embargo 1-3 es la cuerda de un arco de circunferencia de radio igual al interior de la bóveda; y lo mismo ocurre con 5-7.

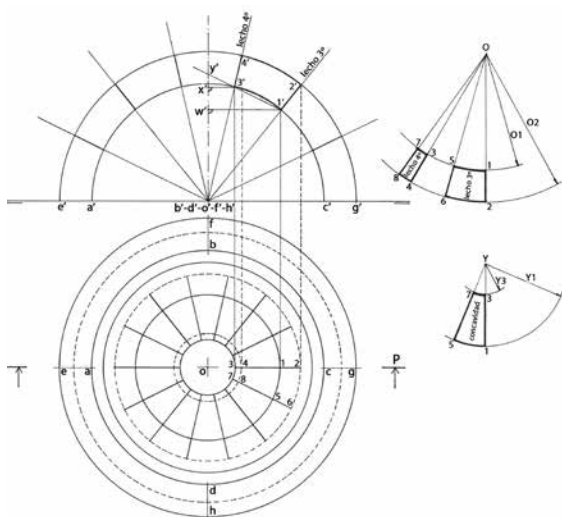


Fig. 7. Obtención de las plantillas: paramentos, lechos y concavidad. (Elaboración propia)

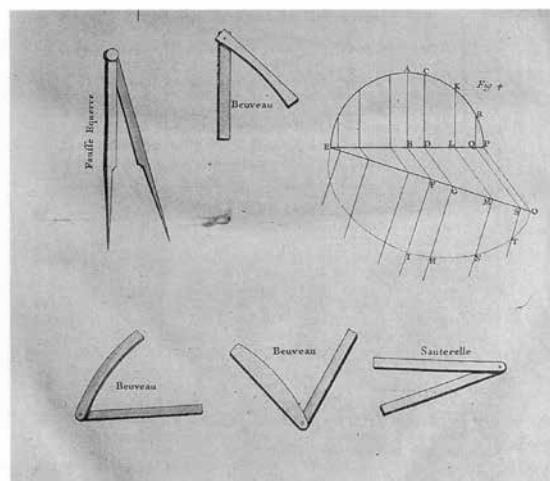


Fig. 138. Salarregla según De la Rue (*Traité de la Coupe des pierres*).

Fig. 8. Instrumentos de talla. Extraído de (La Rue, 1728, fol. 16v)

Como puede deducirse de los párrafos anteriores, la labra de las dovelas requiere la obtención previa de los patrones a escala natural. El proceso de diseño se iniciaría por el maestro o arquitecto en el tablero de dibujo, y posteriormente es preciso realizar un cambio de escala. Este cambio de escala no es una simple ampliación del patrón obtenido en el tablero por cualquiera de los métodos gráficos posibles, sino que exige redibujarse todo el diseño realizado en el tablero pero ahora a escala natural, si se quiere eliminar el riesgo de cualquier posible error. Por tanto toda construcción renacentista iría acompañada de gran cantidad de dibujos de monte efectuados en amplios lugares despejados: paramentos verticales ya contruidos o pavimentos de grandes salas.

2.5. El instrumento de control de labra: el baivel

Una vez obtenidos los patrones, es preciso desvelar como se ejecuta el corte de cada dovela. Para ello será necesario fabricarse un ingenioso instrumento: el baivel (Fig. 8). El baivel es una especie de escuadra, con frecuencia rígida, con una rama recta y otra curva cóncava o convexa

que se adaptan a encuentros como los que se producen entre la concavidad y los lechos, o entre la concavidad y los paramentos, actuando como generatriz de ambas superficies.

Utilizando el baivel la talla de las dovelas se simplifica. La curvatura de la concavidad del intradós es igual en todas direcciones y por tanto la rama convexa del baivel colocado ortogonalmente sobre la superficie de la concavidad debe ajustar perfectamente. Por otra parte, las cuatro superficies perimetrales de la dovela, es decir los lechos y paramentos, son superficies generadas por el movimiento de un radio de la esfera, siguiendo paralelos en el caso de los lechos cónicos y meridianos en el caso de los paramentos. Por tanto el baivel debe poder ajustarse por todas las caras de la dovela.

2.6. *Métodos de labra aplicables*

- a) Método por plantas y baivel. Este método también se le ha denominado por plantas al justo, por paneles, por baivel, método moderno, o método directo. El término plantas significa plantillas o patrones, que ya hemos descrito como se obtienen. Consiste en la talla sucesiva de las facetas de la piedra, sin escuadría previa. A partir de la primera cara, que suele ser la del intradós, cuyo contorno se señala con una plantilla sobre la superficie labrada, se talla una cara contigua, guardando el ángulo diedro que forman, lo que se comprueba con el baivel, y después otra y así sucesivamente. Las dimensiones del bloque contenedor se estiman con aproximación. Del diseño previo –montea- se toman las verdaderas magnitudes de los perímetros de las caras y los ángulos entre ellas. Este método es asimilable al recurso gráfico de los desarrollos, pues extienden la superficie del cuerpo mostrando sus caras en verdadera magnitud.
- b) Método por escuadría. No es el método mayoritariamente utilizado y de todos los tratadistas sólo De la Rue se ocupa de explicar detenidamente todo el proceso, como puede verse más adelante.

3. **Cómo se recoge la cúpula semiesférica en los tratados de arquitectura**

Pretendemos realizar una lectura cronológica, crítica y comparativa respecto del tratamiento que los diversos tratados de arquitectura dan a la cúpula semiesférica, pretendiendo enfrenar las diversas soluciones y extrayendo de ello conclusiones sobre la idoneidad o flaquezas de las mismas. Es un tema espinoso dado que cualquier desliz en la interpretación de uno de los tratados nos llevaría inequívocamente a extraer conclusiones erróneas al compararlo con otros. Por otro lado prácticamente no hay perspectivas en estos tratados, porque no es muy necesaria la ilustración gráfica a quien ya conoce el repertorio cuyo despiece en piedra se está mostrando. Asumiendo de partida esta dificultad nos afanamos en esta tarea.

3.1. Alonso de Vandelvira, *Libro de Traças y cortes de piedra*, 1575-1580

Titulo LXXIV. Capilla redonda en vuelta redonda (Fig. 9). Vandelvira obtiene exclusivamente las plantillas de las concavidades, que denomina plantas de las hiladas, por el procedimiento ya comentado del desarrollo de la superficie cónica de revolución. Indica que estas plantillas las *cerrarás por do quisieres*, de tal manera que concurran en el punto G de la vertical, vértice de la superficie cónica. De esta forma la única precaución que debe seguirse es en la última plantilla de la dovela que cierre la hilada, pues ha de encajar en el hueco resultante de colocar las demás dovelas.

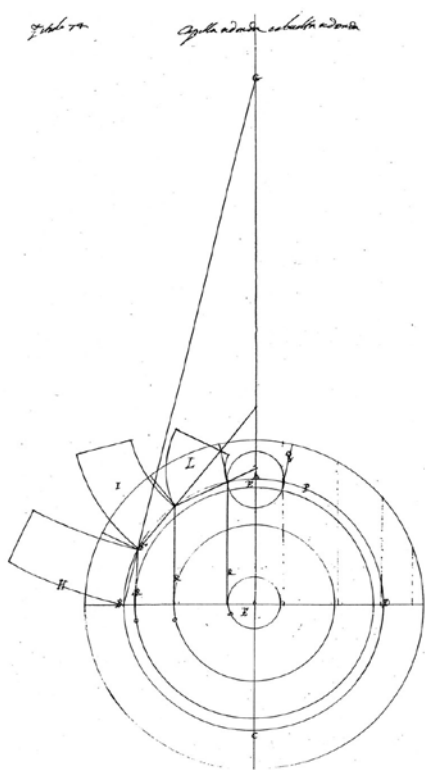


Fig. 9. Vandelvira. Titulo LXXIV. Capilla redonda. Extraído de (Vandelvira, 1575-1591, folio 61r)

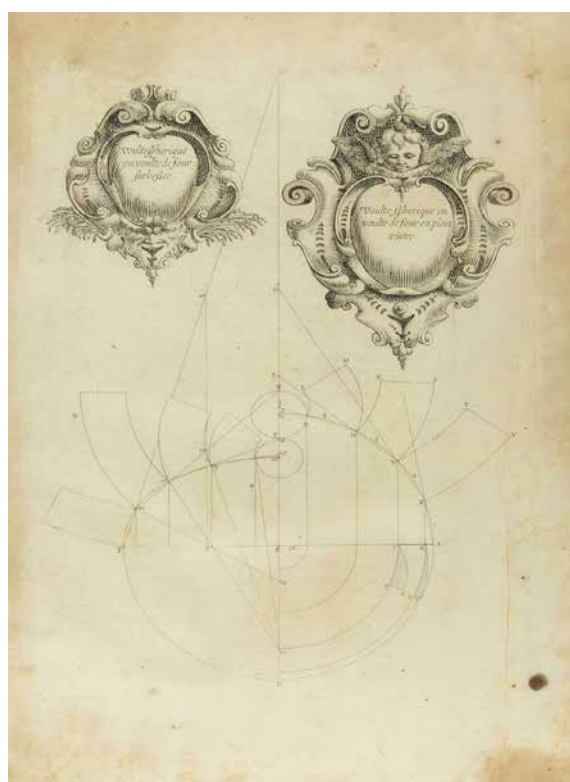


Fig. 10. Derand-. Bóveda semiesférica. Extraído de (Derand, 1643, fols. 192r y 194r)

3.2. François Derand, *L'Architecture des voûtes*, 1643

Capitulo X: "Bóveda semiesférica o de horno, de medio punto, por hiladas horizontales" (fol. 192r). (Fig. 10). Divide el cuarto de circunferencia del alzado en cuatro partes y media, de tal forma que la cúpula se compone de cuatro hiladas más la clave. Obtiene las plantillas de las concavidades, utilizando el recurso ya conocido de dibujar los desarrollos de los conos que contienen a las líneas de junta de dichas plantillas. En la mitad izquierda de la misma figura, repetida después en el fol. 194r, dibuja una bóveda rebajada, de perfil ovalado, no elíptico, compuesta por dos arcos de circunferencia.

3.3. Fray Lorenzo de San Nicolás. *Arte y Uso de Architectura*, (1ª parte 1633)

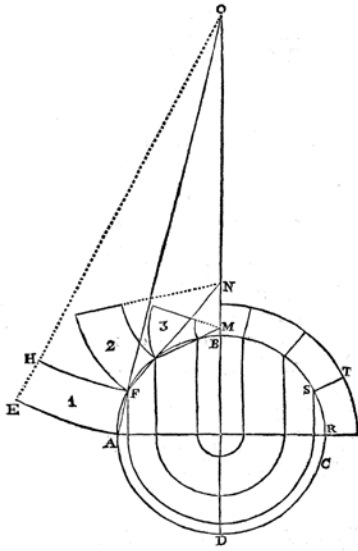


Fig. 11. Fray Lorenzo de San Nicolás. Media naranja. Extraído de (San Nicolás, 1633, p. 129)

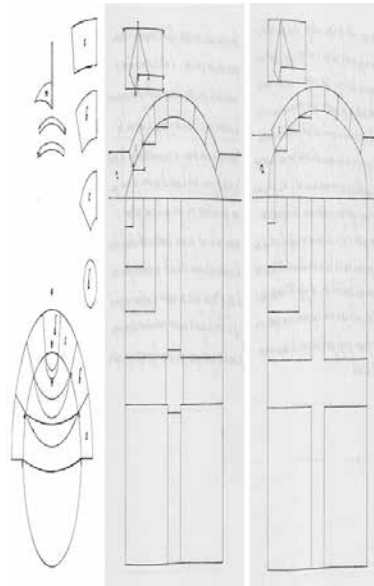


Fig. 12. Joseph Gelabert. La 'volta de torra radona'. Extraído de (Gelabert, 1653, fol. 38, p.91)

Capitulo XLIX: “Trata de la disposición y orden de hacer la media naranja”.(Fig. 11). Especifica que se puede hacer de tres formas: de medio punto, rebajada o prolongada. Y analiza las peculiaridades dependiendo del material utilizado para su construcción, según sea tabicada de yeso, de rosca de ladrillo, o de cantería. El comentario escrito que San Nicolás realiza de esta figura, es difícil de comprender por el lenguaje utilizado, que se organiza y estructura de forma distinta a la actual. Describe claramente la obtención de las plantillas de los paramentos -plantilla SRT- sin embargo no justifica de forma comprensible la obtención del resto de las plantillas, así las plantillas numeradas con 1, 2 y 3 corresponderán a la concavidad, o superficie interior, esférica, en cada hilada, pero no describe la obtención de las plantillas de lechos y sobrelechos.

3.4. Joseph Gelabert. *De l'Art de Picapedrer*, 1653

La 'volta de torra radona'. (Fig. 12.). Coincide con la media naranja en capilla redonda de Vandelvira. Dibuja la planta circular y el alzado abatido sobre la planta. En el texto del tratado explica cómo se obtienen las plantillas de las concavidades. Sin decirlo expresamente dibuja los desarrollos de superficies cónicas sobre los que se ajustaran los bordes de estas plantillas.

3.5. Jean Baptiste de la Rue, *Traité de la coupe des pierres*, 1728

'Voute spherique ou Cû de Four en plein cintre', imagen en la plancha XXVII y la siguiente. (Fig. 13 y 14). En el capitulo V de su tratado, analiza esta cúpula que es una semiesférica por

hiladas horizontales redondas. Obtiene las dovelas por escuadría, para una dovela de la primera hilada. Consigue la piedra envolvente, sacando de la planta y del alzado las dimensiones de la piedra. Esta piedra tiene dos caras planas horizontales, otras dos también planas verticales situadas sobre los planos meridianos convergentes en el eje de la cúpula; una superficie cilíndrica de revolución de radio igual al del paralelo de la junta superior de la primera hilada; y finalmente el extradós que está simplemente desbastado en una superficie cilíndrica paralela a la interior.

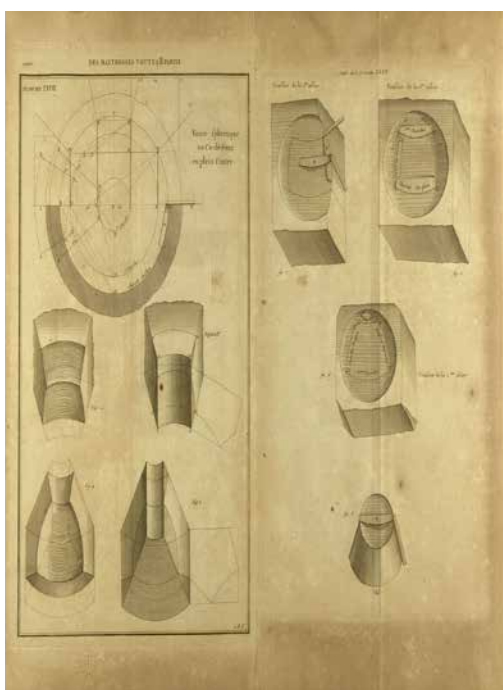


Fig. 13. La Rue. Dibujo de la plantilla sobre la concavidad. Extraído de (La Rue, 1728, fol. 58v)

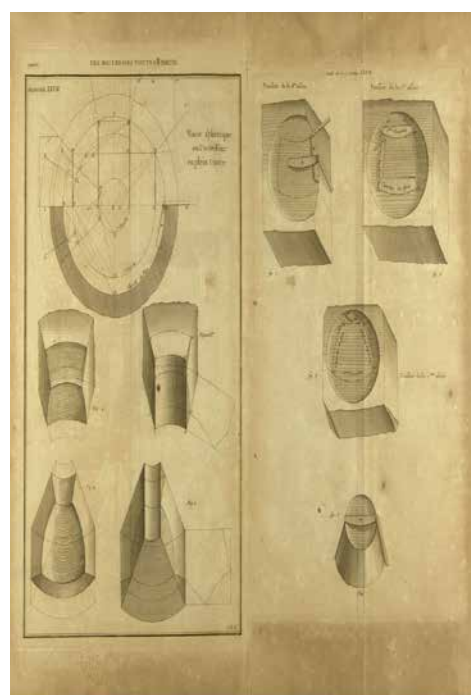


Fig. 14. La Rue. Cúpula por escuadría. Extraído de (. La Rue, 1728, fol. 58v)

3.6. *Guarino Guarini, Architettura civile del padre D. Guarino Guarini, Opera postuma dedicata a sua Sacre Reale Maesta, 1737*

Modo de distribuir una semiesfera en múltiples superficies anulares (tav. XL. figs. 1,2 y 3). (Fig. 15). En el tratado IV, Dell'Ortografia gettata, capitolo V trata del modo de 'extender' sobre un plano una superficie esférica seccionada de círculos paralelos. Se trata en definitiva de obtener desarrollos aproximados de la superficie esférica que serán útiles para la obtención de las plantillas de concavidades que utilizarán los canteros. Realiza una explicación minuciosa de la figura para obtener el desarrollo de un cuarto de esfera, indicando que sería extensible a una semiesfera o a la esfera completa. Sin indicarlo expresamente, realiza el desarrollo de superficies anulares comprendidas entre paralelos de la superficie esférica. Estos paralelos los sitúa sobre superficies cónicas de revolución, de las cuales obtiene su desarrollo.

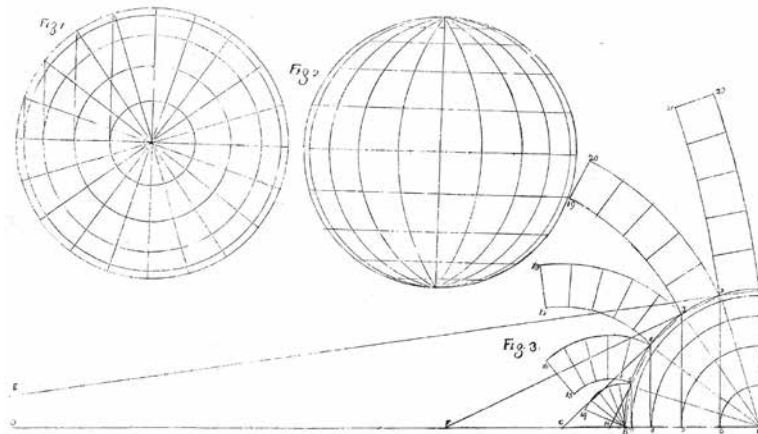


Fig. 15. Guarino Guarini. Esfera, desarrollo. Extraído de (Guarini, 1737, tav XL, figs 1, 2, y 3)

3.7. Amédée-François Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et du bois pour la construction des voûtes... ou traité de stéréotomie... 1737-1739*

En el tomo II, capítulo VII, PROBLEMA XVI se ocupa de la construcción de bóvedas esféricas por dovelas en anillos horizontales o verticales. Relaciona dos formas adecuadas (Fig. 16 y Fig. 17) para construir las bóvedas esféricas, por dovelas en anillos horizontales, explicadas paso a paso, que la extensión del presente documento nos impide recoger.

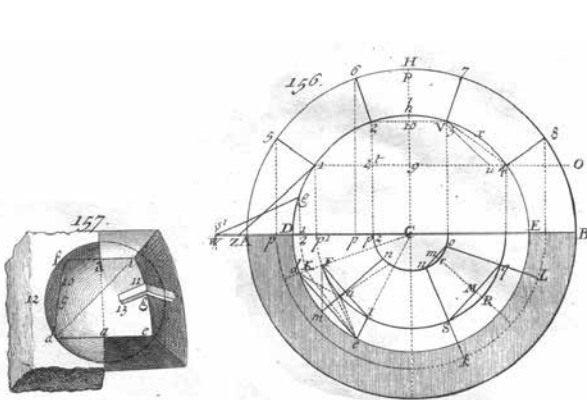


Fig. 16. Frézier. Plantilla de la concavidad. Extraído de (Frézier, 1738-1739, tomo II, plancha 53, figs. 156-157)

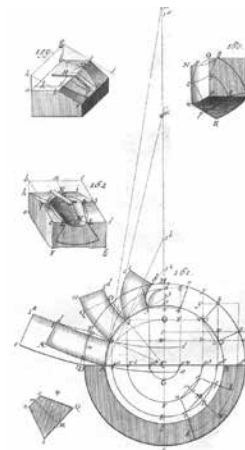


Fig. 17. Frézier. Obtención plantillas. Extraído de (Frézier, 1738-1739, tomo II, plancha 53, figs. 159-162)

3.8. Simonin. *Traité élémentaire de la coupe des pierres ou Art de trait, 1792*

De la bóveda esférica (Fig. 18), dibuja, en perfecta correspondencia diédrica, la mitad de la planta y el alzado seccionado. Subdivide el alzado en 5 partes, lo que supone 2 hiladas + clave; y la planta en 8 piezas. Obtiene las plantillas de los lechos de forma aproximada dibujando para ello el desarrollo de un huso de la superficie, comprendido entre dos meridianos

adyacentes. Resulta sorprendente que no utilice superficies cónicas, construcción utilizada de forma habitual por todos los tratadistas anteriores. Completa la lámina con la axonometría de las dovelas de la bóveda resultando muy clarificador el grafismo utilizado: un rayado igual para las superficies que están en contacto. El corte de dovelas que presenta sugiere un volumen exterior cilíndrico escalonado.

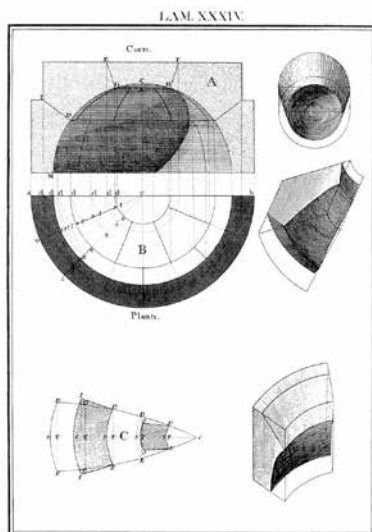


Fig. 18. Simonin. Bóveda esférica.
Extraído de (Simonin, 1792, lám. XXXIV)

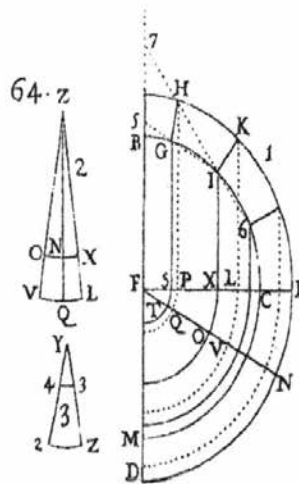


Fig. 19. Tosca. Plantillas de concavidades.
Extraído de (Tosca, 1707-1715, fig. 64)

3.9. Tomás Vicente Tosca, *Compendio Mathematico*, 1707-1715

Proposición VI. Problema: Describir una media naranja, ó bóveda emispherica, cuya clave sea el único polo de sus piedras. (Fig 64 del tratado). (Fig. 19). Dibuja un cuarto de planta y la mitad del alzado, ambos yuxtapuestos, en un alarde de economía de medios gráficos, que limita la construcción a lo estrictamente necesario. Subdivide el alzado en 3 hiladas y clave, y de lo dibujado se entrevé que divide cada hilada en 12 dovelas (3 dovelas por cuadrante). En la planta dibuja con línea vista las juntas aparentes del intradós y en discontinua las del extradós, de lo que se deduce que se trata de una planta cenital de la cúpula (mirada desde abajo). En construcciones anexas numeradas con 2 y 3 dibuja las plantillas de concavidades de la 2ª y 3ª hiladas, respectivamente.

4. Conclusiones

Los canteros y profesionales encargados del tallado de las piedras precisaban de una formación práctica adquirida durante prolongados periodos de aprendizaje a pie de obra, tras los que eran considerados personas aventajadas en la materia. Sólo ellos eran capaces de interpretar los tratados de arquitectura que recogían el diseño y tallado de las bóvedas. Es fácil

entender en la actualidad que estos profesionales eran considerados personas de valía a los que era necesario encargar la construcción de las edificaciones relevantes de la época.

Es preciso incidir en la dificultad de entendimiento de los tratados pues sus dibujos están cargados de códigos particulares, basados en construcciones gráficas no normalizadas y explicados de modo incompleto en el texto escrito. Los autores de los tratados presuponen que el lector es una persona formada en la materia, lo que les exime de dar explicaciones que suponen obvias. Esto ha sido constatado hasta el punto que en los tratados de los que se ha realizado un análisis más exhaustivo hemos tenido que confeccionar nuestras propias figuras, basadas en las del tratado y trabajar sobre ellas con métodos gráficos actuales, en una auténtica labor de traducción gráfica.

La utilización, en la actualidad, de programas de dibujo asistido por ordenador permite modelar gráficamente la cúpula y las dovelas que la componen para visualizar con facilidad la espacialidad de ésta bóveda, tal y como se ha mostrado. También el manejo de esta herramienta exige de un aprendizaje prolongado y arduo hasta convertirse en una “persona aventajada” en la materia. La utilización de estas herramientas infográficas ayuda a comprender un arte, el de la Estereotomía, un tanto desconocido por su dificultad de entendimiento. El uso de impresoras 3D permite la “construcción” material de estas cúpulas, acercando aún más la comprensión espacial de estas apasionantes bóvedas y corroborando a modo de validación que el modelado realizado es correcto. Esto último abre un campo de estudio de interés significativo.

5. Referencias bibliográficas

- [1] Calvo, J., Alonso, M. A., Rabasa, E. & López, A. (2005). *Cantería renacentista en la catedral de Murcia*. Murcia: C.O.A. de Murcia.
- [2] Derand, F. (1643). *L'Architecture des Voûtes, ou l'Art des traits et coupe des voûtes*. Paris: Sebastien Cramoisy.
- [3] Frézier, A. F. (1738-1739). *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et du bois pour la construction des voûtes... ou traité de stéréotomie a l'usage de l'architecture*. Tomo 2. Paris: Charles-Antoine Jombert,
- [4] Gelabert, J. (1653). *De l'art de picapedrer*. Manuscrito. (facsimil en Palma de Mallorca: Diputación Provincial de Baleares, Instituto de Estudios Baleáricos, 1977).
- [5] Guarini, G. (1737). Turín: Mairesse. (facsimil en Milán: edizione il Polifilo, 1968).
- [6] La Rue, J. B. de (1728). *Traité de la coupe des pierres, ou par une methode facile & abregée, l'on peut aisément se perfectioner en cette Science*. Paris: l'Imprimerie Royale.
- [7] Palacios, J. C. (1987). La estereotomía de la esfera. *Arquitectura*, (267), pp. 54-65.
- [8] Rabasa, E. (2000). *Forma y construcción en piedra: de la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*. Madrid: Akal.
- [9] San Nicolás, F. L. de (1633). *Arte y Uso de Arquitectura, 1ª parte*. Madrid. (reed. *Arte y uso de Arquitectura, con el primer Libro de Euclides traducido en Castellano, Primera parte*. Madrid: Plácido Barco López, 1796).

- [10] Simonin, (1792). *Traité élémentaire de la coupe des pierres ou Art de trait*. Paris: Jonbert. (ed. cast.: *Tratado elemental de los cortes de cantería o arte de la montea*, traducida por Fausto Martínez de la Torre; y José Asensio Torres, Madrid, imprenta de la viuda de Josef García, 1795, facsímil en Zaragoza: C.O.A. de Aragón, Delegación de Zaragoza, 1994).
- [11] Tosca, T. V. (1707-1715). *Compendio Mathematico...IX vols.*, Valencia: Antonio Bordazar. (ed. *Compendio Mathematico, en que se contienen todas las materias más principales de las Ciencias que tratan de la cantidad. Tomo V. Que comprehende Arquitectura civil, Montea y Cantería, Arquitectura Militar. Pirotechnia, y Artillería*, Madrid: imprenta de Antonio Marín, 1727, facsímil en Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2000).
- [12] Vandelvira, A. de (1575-1591). *Libro de Traças y cortes de piedra*. Manuscrito. (facsímil en Geneviève Barbé-Coquelin de Lisle, *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*, Albacete: Caja de Ahorros Provincial, 1977, 2 vols.).