

“TRACING A SQUARE CONICAL VAULT” TOMÁS VICENTE TOSCA’S CANTILEVERED SQUINCHES

“TRAZAR UNA BÓVEDA CÓNICA CUADRADA” LA TROMPA VOLADA DE TOMÁS VICENTE TOSCA

Pablo Navarro Camallonga^a, Pablo Navarro Esteve^b

^a Instituto de Restauración de Patrimonio Arquitectónico, Universidad Politécnica de Valencia, España.
Pabnaca@arq.upv.es

^b Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Valencia, España.
Pnavarr@upv.es

Abstract

The squinches is a very versatile construction type in the field of stonework. It is defined in its most elementary case as the covering of a triangular area with a conical surface, but, nevertheless, there are an infinite number of variants increasing the complexity of the layout and its execution.

The studied case in this paper is the development of the layout of the "square conical vault" (actually, a cantilevered vault), in the treatise on stonework by Tomás Vicente Tosca, published in 1727. This author's work reflects the tradition of the local area (which comes mainly from the brilliant episode of the 15th century in Valencia), but it is also part of the pre-illustrated cultural trends of the time. The traces that appear are the result of combining ancient graphic habits with the development, to a certain extent, already scientific, of geometry and mathematics.

All this leads, in the case of the "conical-square vault", to the development of a fundamentally descriptive trace, result of a mentality that is more analytical than practical, but that does not manage to emancipate itself from the old building tradition, as this study makes evident, and also the detected graphic habits.

The research is also based on other examples of a documentary nature, such as the cantilevered domes of Vandelvira, Philibert de l'Orme, Gelabert, and on a built example; the squinch of the palace of the Generalitat de Valencia.

Keywords: Tardogothic; Vault; Cantilevered dome; Stonework

THE SQUINCH ON THE SPANISH STEREOTOMY

Within the ideology of the European stonemasonry, and particularly of the Hispanic one, the squinches are one of the basic types and with greater presence. Its origin is difficult to relate to a specific chronology (perhaps in the Byzantine or Roman period, or, for the stone masonry, the late medieval Armenian context) (López, Alonso, Calvo and Rabasa 2013, 555). In any case, this type has its origin in the resolution of square-planned dome spaces. This origin, on the construction point of view, will propitiate the variants that can be found.

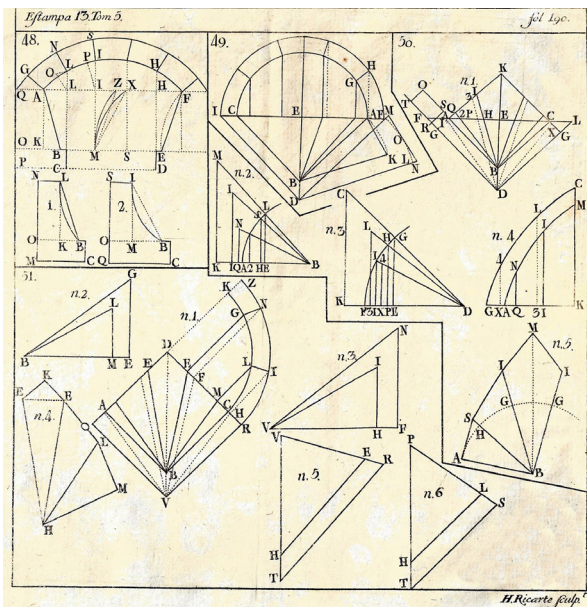


Fig. 01. Trace of the square conical vault, by Tosca (1727).

In construction terms, the transition from a square to a circular space is one of the most well known problems in historical construction, and affects brick and stone-cutting manufacturing alike (Palacios 2003, 23). We will focus, then, on the second case, and on those examples that follow established geometric patterns.

The two best known forms of passage between a square wall box and a circular tambour are the pendentive and the squinch (Figure 3). The pendentive consists of spherical surfaces, while the squinches are defined by cones. Also, we know that the pendentive solves the dome problem with precision, while the squinch only guarantees the transition to the octagon. In many primitive cases, on temple crosses, four

cantilevered domes are arranged forming an octagon, over which it is not difficult to cover with an approximately spherical shape. The construction experience, in these early cases, meant that, with hardly any geometric patterns, the construction itself solved the problems, often forming some inaccurate surfaces (figure 3).



Fig. 02. Squinch from the Palace of the Generalitat (Zaragoza).

The advantage of the squinch as an architectural type is the easier execution. While a strict pendentive requires carving spherical surfaces, the squinch can be easily devised by conceiving voussoirs as if it were an arch (Palacios 2003,

25). In fact, tracing the geometry of a squinch is easier than tracing a pendentive. Let us focus, then, on the Spanish stone-cutting, on the traces, and on the preserved manuscripts.

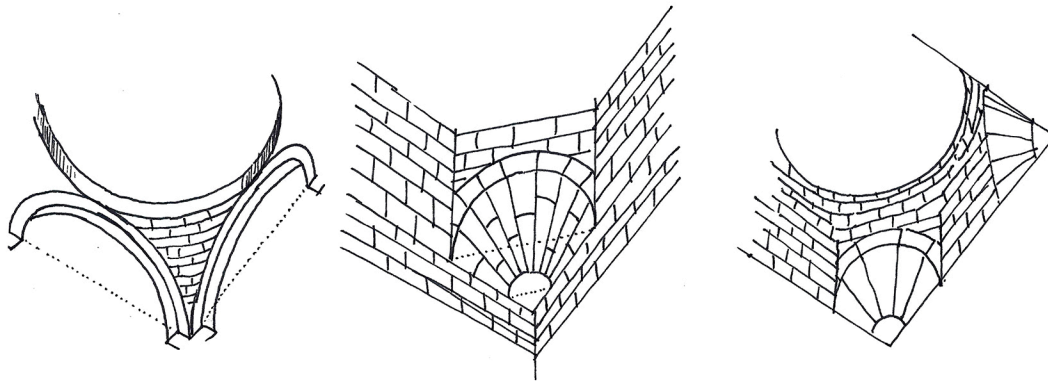


Fig. 03. Spatial articulation. Pendentive and squinch. Drawings by the author.

The squinch, as well as the treatises as a whole, appeared at the beginning of the 16th century. This was the moment when the old guild system began to undergo transformations and individual knowledge began to be universal¹.

The corpus of Spanish manuscripts and treaties, on the other hand, traces a whole tradition and an evolution, from the oldest examples (Hernán Ruiz ca. 1550) to the later ones (Tosca 1707-1715), already at the beginning of the so-called century of the Enlightenment. And throughout this whole, the tracing of squinches will be a recurrent feature, offering a range of examples and solutions (Rabasa 2000, 210).

SQUINCH LAYOUT AND ITS MAIN VARIANTS

Before focusing on the case of Tosca, it is convenient to briefly develop the tracing system of a French horn and its main variants, using examples from historical authors.

We will begin with Vandelvira (ca. 1600), perhaps the most representative author of the Hispanic tradition, and one of those who treat the issue of the squinch with greater extension. In fact, his manuscript preserved in the Library of the Escuela Técnica Superior de Madrid,

begins by developing the horns and their variants in great detail² (Vandelvira ca.1600, folios 7r-17v).

Vandelvira starts developing a simple squinch on right-angled walls. The author proposes to simply outline the plan, and to place the center and the arch that define the cone. Then, he divides the arch and places the joints on the plan. Once this simple process is done, the approximate development of a portion of the cone is obtained, finding the true dimension of the "triangular" face that defines one of the pieces (all equal). And finally, we obtain the angle ("saltarregla") between the intrados and the wall. In other words, the tracist obtains the basic cutting patterns that a stonemason needs to be able to execute the piece, not worrying on developing theoretical nature questions (figure 4)³.

The first of the complex variants is the oblique or deviated squinch. We would also recall those examples of squinches whose cantilevered edges are outward or inward. That is to say, the squinch cone does not end in a straight vertical wall, but in a curved or mixtilinear surface

¹ We should remark that this is not the moment when the trace of the horn is invented, but that of the first examples preserved in Spain on paper.

² They are cited in the manuscript as pendentives, but for lexical purposes of the article they are squinches, that is, conical.

³ We should remark that this is not the moment when the trace of the horn is invented, but that of the first examples preserved in Spain on paper.

outwards or inwards, which complicates the layout considerably. In fact, the author, by drawing simple templates to carve pieces, solves

(maybe unconsciously) complex geometrical intersections between conical and extruded (cylindrical) surfaces (figure 5).

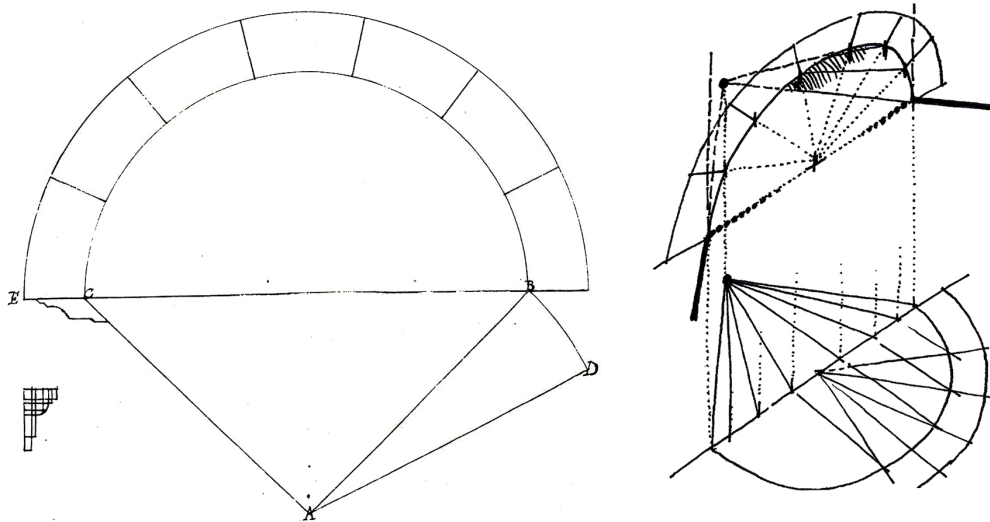


Fig. 04. Trace diagram of a simple conical squinch. Trace of Vandelvira (ca. 1600), and drawings by the author.

In addition to these examples, we should mention a paradigmatic case, by Philibert de l'Orme (1567, 89-98): the squinch with an irregular perimeter. In this case, the intersection of the cone with a vertically extruded shape is taken to an extreme (figure 5), but the goal of this case, as complex as it may seem, continues to be essentially practical, linked to construction proposes

THE MATHEMATICAL COMPENDIUM BY TOMAS VICENTE TOSCA

Before focusing on the particular tracing of the squinch by Tomas Vicente Tosca, we should briefly contextualize this author. He was born in Valencia in 1651, was ordained a priest in the congregation of San Felipe Neri in 1678, and belonged to the cultural current called the Novatores. This represents in Spain the influence of foreign authors such as Locke, Newton, Leibniz, and sets the basis for what will later be the illustration. This new scientism led the author to produce extensive and encyclopaedic works, such as *Compendium Philosophicum* (1754), or the *Compendio Matemático* (1707-1715), which is the object of study of the article (Fernández 2003, 13).

The complete title of this is *Compendio Matemático*, which contains all the main subjects of the sciences, that deal with quantity, and is composed of 9 volumes whose subject matter is varied, and not only architectural. However, Volume V is especially interesting: Civil Architecture, Stonework, Military Architecture, Pyrotechnics and Artillery⁴.

In this section of the *Compendium*, the author develops questions related to stonemasonry, typical of the Hispanic tradition, and focuses essentially on the resolution of geometric traces. Even so, in this brief compilation of problems, a significant difference can be seen compared to previous works. The difference is the focus of the text, which no longer seems to pose constructive problems, but rather approaches of a mathematical type.

The 15th treatise (the stonework part) begins by developing the arches in their different variants (arches and capials), continues with the squinches, with the vaults (spherical or groin), and ends by developing some stairs examples. All this, then, is structured in different

⁴ For this article, the edition used is the 1727 edition of Vicente Tosca's treatise.

propositions (numbered), that increase in difficulty.

Although the focus of the text is fundamentally theoretical, it is interesting to note the inference of some local models, i.e. Valencian ones. This is the case, in the vaults, of the quotation to the

dome of Valencia Cathedral, and although it does not name it, in the set of squinches, the analogy of a square conical vault with the squinch built in the courtyard of the Palace of the Generalidad of Valencia. This last case is discussed below.

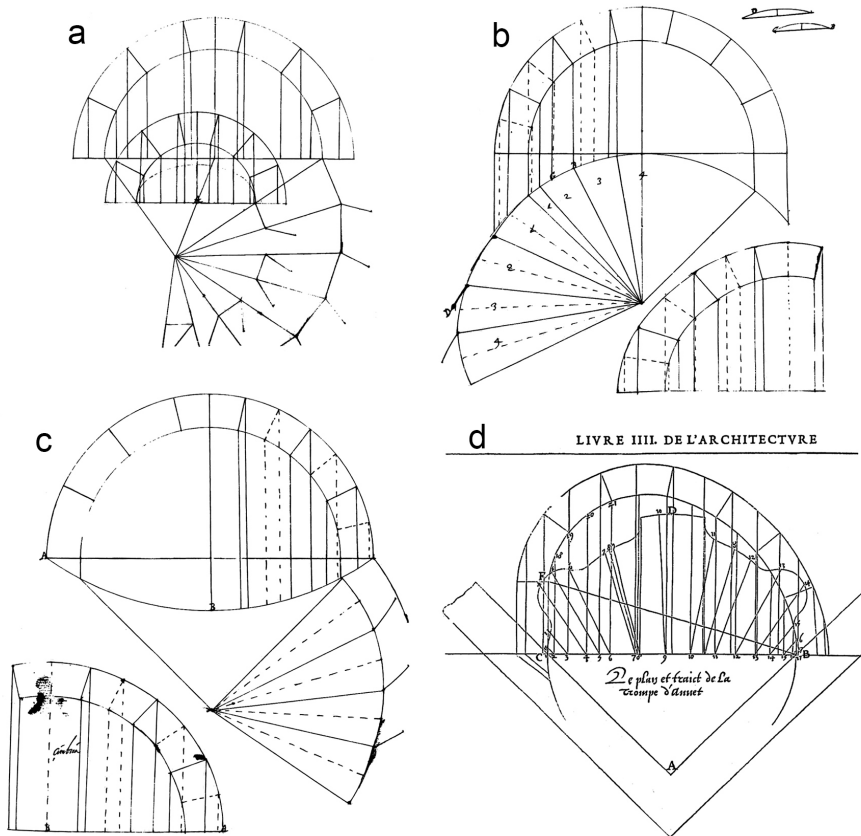


Fig. 05. Typological variations of squinches. a - oblique squinch (Vandelvira 1600), b - convex squinch (Vandelvira), c - concave squinch (Vandelvira), d - irregular squinch (de l'Orme 1567).

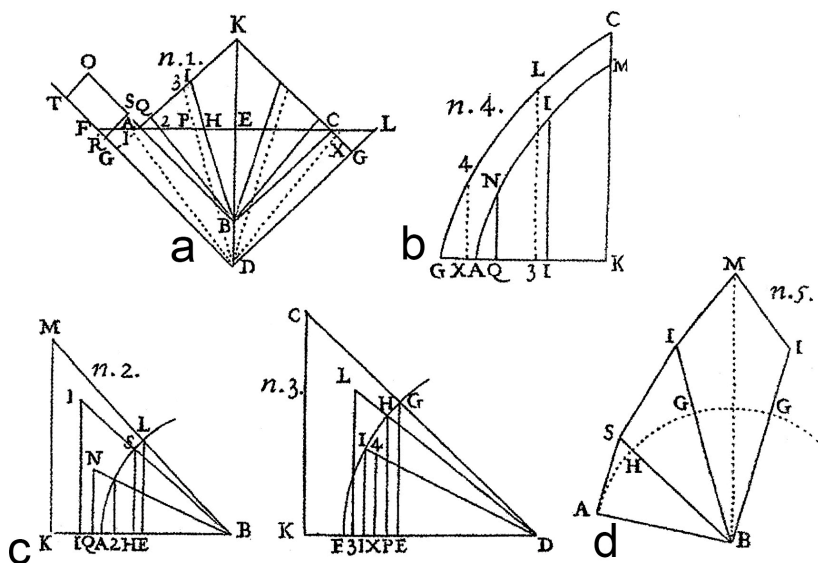


Fig. 06. Details of the square conical vault (Tosca 1727). a - plan, b - front of the horn, c - obtaining the inclinations, d - development of the surface of the intrados.

THE "SQUARE CONE VAULT"

Under the title of Proposition II (Tosca 1727, 185) Drawing a square conical vault, Tosca develops the layout of a conical squinch (a circular cone) in cantilever, with a square plan. ...The one we are now outlining has a square floor plan, and that is why we call it a square: it is very useful in many cases, because it can be used to load an angle of a construction ... The author, apart from the text, encloses a figure with a series of drawings (figures 1, 6), which should be exhibited together.

First of all, the author defines the plan of the squinch, its cantilever, and establishes a "virtual" plane at 45°, in which to place the directional arch of the cone. This arch is divided, and the joints are determined in the plan.

Then the author develops several questions in a complex way: The obtaining in real dimension of the fronts of the cantilevered part of the penditive, the inclination on the horizontal plane of the different joints, and finally the approximate development of the intrados of the cone in real magnitude, by pieces.

In other words, the proposed graphic resolution is analogous to that proposed in previous treaties, but with one exception: the text makes no reference to the constructive process. To illustrate this point, I quote the end of the proposition: *...to whom will be given the curved concavity with the truss rule, or ordinary baffle, cut according to the front of the fundamental arch* (Tosca 1727, 188). This is all that is said regarding the construction.

THE SQUINCH OF THE PALAU DE LA GENERALITAT

As mentioned above, the cantilevered squinch is a unique variation, which is not often seen. Even so, there are some interesting examples: the Philibert de l'Orme squinch built in Toulouse (Palaces 2003, 44), and the horn from the Palace of the Generalidad, from the first years of the 16th century, which, if it is not the oldest preserved example, is one of the earliest (Zaragozá, Marín y Navarro 2019, 19).

Its construction is documented in the year 1530, by the master mason Pere Real and the stonemason Joan Navarro. Moreover, it does not

only is cantilevered, but also supports a spiral staircase, about 15 meters high (made of brick) (figures 2, 7).

This case has been surveyed using laser scanner technology⁵, and has been carefully analyzed from a set of selected points of the resulting cloud (on the figures, in red). The conical geometry of the surface of the intrados, the plan of the walls at an angle, slightly more than 90°, and the apparent descent of the cantilevered part have been corroborated.

Then, a restitution of the layout has been made based on the gathered data, and following another nearby treaty source: the stonemasonry manuscript by Joseph Gelabert (1653). This work, written in Mallorca at a somewhat late date, includes numerous cases of the Aragonese tradition, and specifically proposes a squinch very similar to that one in Valencia: the Pitxina radona de tres peñades (page 108v, 109r) (Rabasa 2011, 294).

The trace is not different from other sources, except for the shape of the cantilevered element, bevelled, which is practically the same as in the Valencian case, and the similar (almost identical) (figure 8).

TRACING THE CANTILEVERED SQUINCH

Firstly, some basic metric questions have been analysed: the angle formed by the walls (not exactly straight), the shape of the floor plan, and the analysis of the upper joints in order to determine the settlement or movements of the work over the centuries, since it bears a high load. In fact, it has been proven that there is a descent of the squinch in its cantilevered part (about 17 cm), but it is difficult to specify if this occurred or not after the assembly of the squinch (figure 7).

The reconstruction of the layout, according to the different handwritten sources (and especially the works of Gelabert and Tosca), begins with the definition of the plan, and the directional arch of the cone. Then the cutting is established,

⁵ The device used was the P40 model, from Leica Geosystems, with an accuracy of 6 mm. Three different stationings were made, joining them by calculating minimum surfaces (in Leica's Cyclone program), and selecting the points corresponding to joints and edges.

the joints are placed, and the development of the surface of the intrados begins (figure 9).

If we are strict in following Gelabert's indications, the drawing of the bevelled shape of the squinch's peak is especially delicate, having to obtain the distance in true dimension from the centre of the bevel to the start of the cone.

Another peculiarity observed by Gelabert (not so in Tosca), is the simplification of some lines, which should be broken (or curved) in the course of the development, and are straight in the line. It is assumed that these simplifications are not correctable on the construction of the squinch itself.

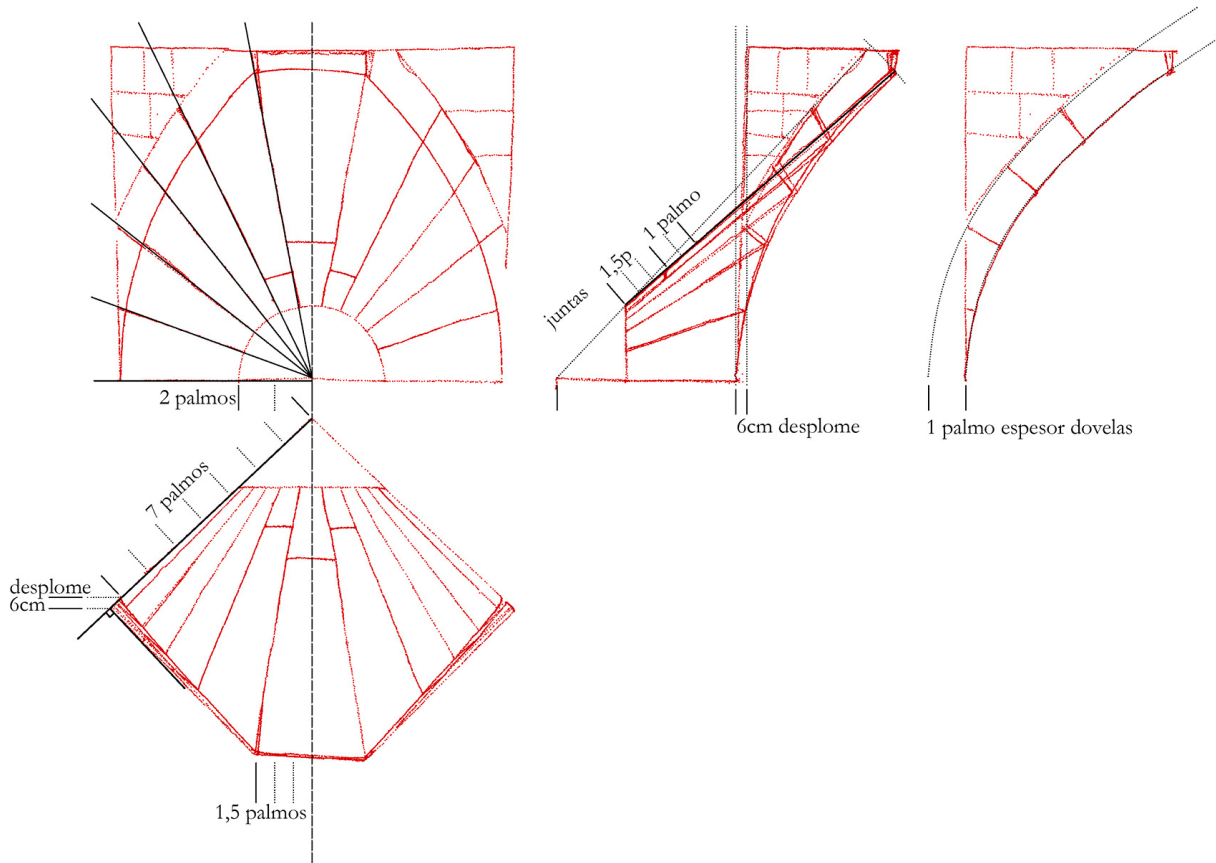


Fig. 07. Squinch of the palace of the Generalitat Valenciana. Survey by the authors.

SIZE AND CONSTRUCTION

We find very interesting to follow the indications given by Gelabert for carving the pieces that make up the squinch. This process necessarily begins with the lower pieces, those of the bases, whose templates and angles are taken from the tracing.

Once the bases have been made, each piece on top (as the squinch is closed) is carved taking measurements of the previous one, that is, the voussoir on which it will rest (figure 10). The last piece will be the keystone, which also has the shape of a bevel, and its shape will be finished in place, ensuring the continuity of the front of the squinch.

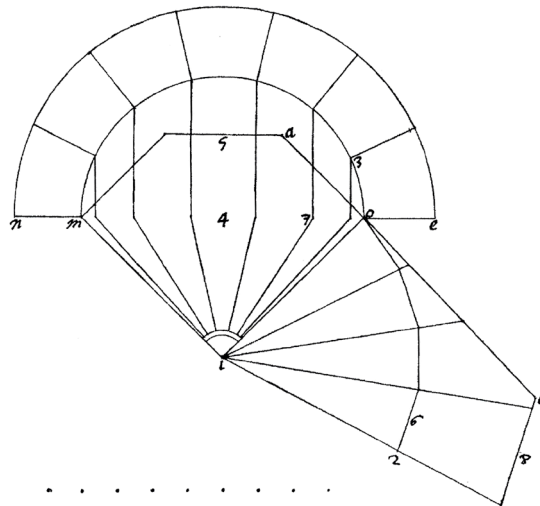


Fig. 08. Trace, by Gelabert (1653).

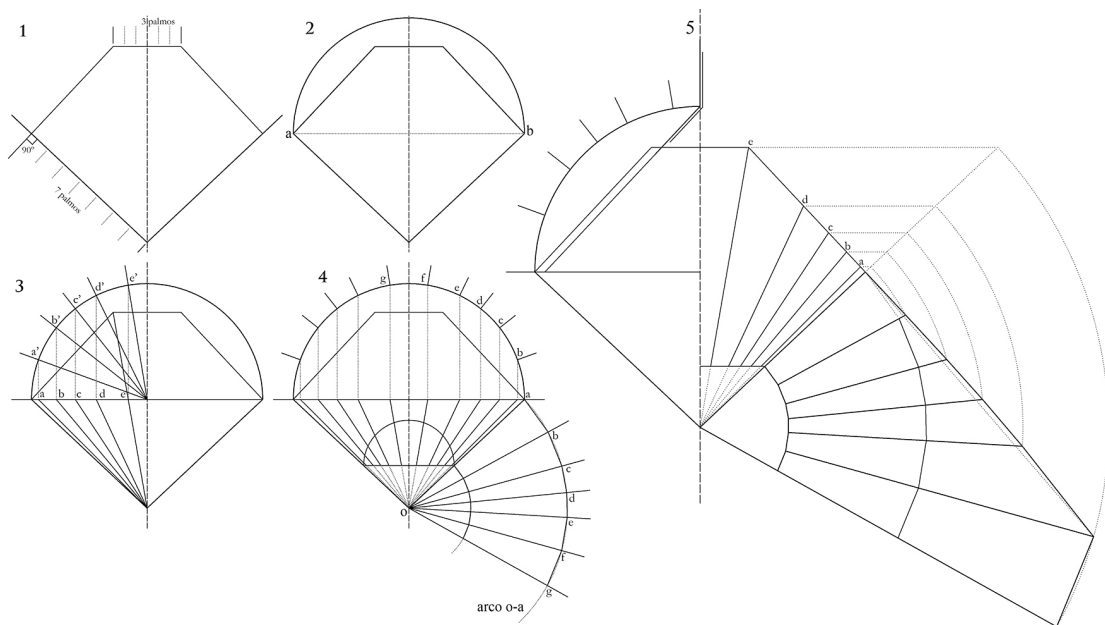


Fig. 09. Trace process. Drawings by the author.

We should also raise some questions that do not appear in the treaties, such as that of the formwork in the construction process. Nowadays we are used to thinking of the assembly of these works as a complex system of supports, but this surely did not take place. Most probably, the necessary formwork for the construction of the squinch was only an arch, semicircular, corresponding to the cone's guideline. The rest of the parts could easily be fastened during assembly with some auxiliary supports.

TOSCA'S APPROACH AS A SCIENTIFIC PRACTICE

We can now affirm that the Valencia squinch is a model that fits well with the manuscripts and treaties. It can also be said that the indications given by the treatists, especially Gelabert, are useful for practical use. On the other hand, it is clear that a geometrical trace must be drawn up to provide a solution to the architectural problem. Without this graphic approach, however succinct it may be, it is impossible to materialise a case of such complexity.

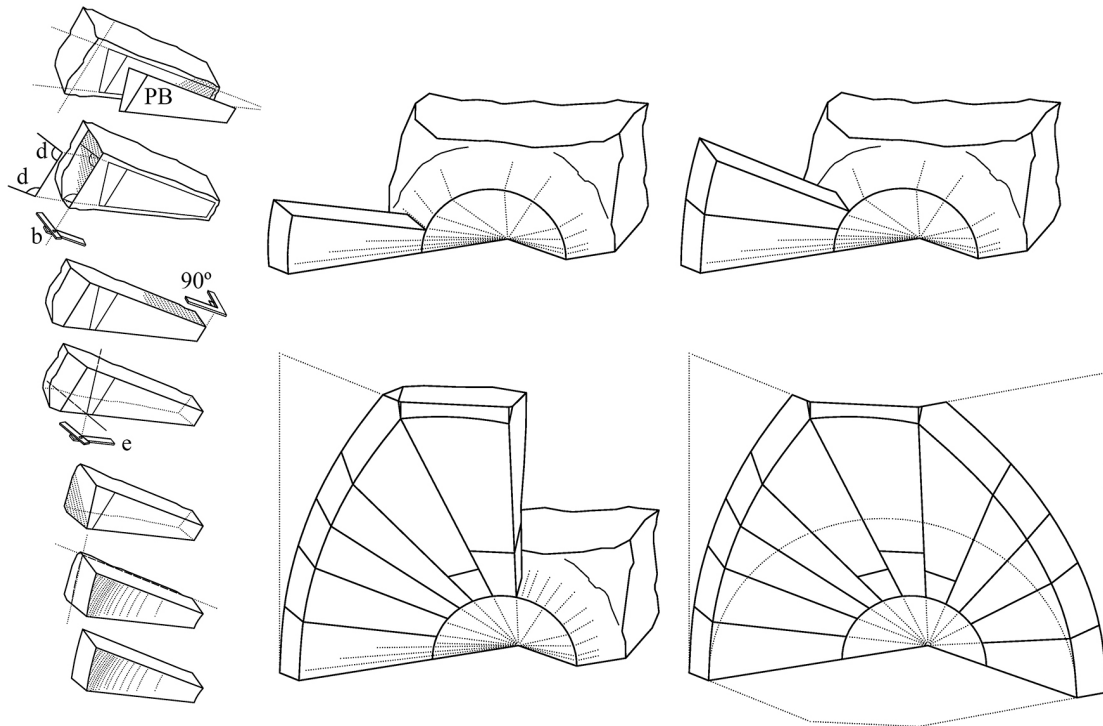


Fig. 10. Stereotomic process. Drawings by the author.

However, returning to Tosca, it is worth putting some relevant questions on the table: In general terms, the graphic part (perhaps the one most closely linked to tradition itself) is clearly in line with architectural needs. But the same does not happen with the supporting text, which rarely refers to the processes of carving and construction, and which rather seems to describe a mathematical problem.

In other words, Tosca's treatise seeks to justify or convert the art of the tracist into a kind of regulated science. The approach, moreover, is not particular to this author, nor does it belong to the local or national tradition, but can be detected in other contemporary authors, such as Guarino Guarini (*Euclides Adauctus*, 1671) (Bianchini 2008, 17), who also raises cases from the stoneworking tradition (possibly Hispanic) from an almost strictly mathematical point of view. Furthermore, there is a circumstance that should be highlighted in this article, and that is the fact that Tosca refers to the squinch as a conical vault, and Guarini, in a contemporary

way, is talking in his works about vaults that are sometimes composed of conical forms.

CONCLUSION

The main conclusion to be highlighted in this paper is the double and joint connection of Tosca's work with the building tradition, and with the pre-illustrated scientific world. This means that a compendium of traces, typical of a 16th-18th century Tracist master, wants to be justified or supported by a theoretical discourse of a rigorously mathematical nature. This, moreover, is not a local fact, but rather one that is typical of the Europe of that time.

On the other hand, the article emphasizes the importance of the horn of the Palace of the Generality of Valencia, which, because of its execution, stereotomic boast, structural and early chronology, must be considered one of the key pieces in the stereotomy, at least Hispanic. And, in fact, it is probably one of the pieces on which Tosca based itself to develop the layout shown here.

REFERENCES

- Bianchini, C. 2008. *La scienza della rappresentazione nella concezione di Guarino Guarini. Roma*. Gangemi editore.
- Fernández, M. 2003. *Introducción a los Tratados XIV y XV del Compendio Matemático del Padre Tosca*. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gelabert, J. 1653. *Vertaderas traças del Art de picapedrer* (manuscrito). Biblioteca del Consell Insular de Mallorca. C141.
- López Mozo, A; Alonso, M; Calvo, J; Rabasa, E. 2013. *Sobre la construcción de pechinas de cantería. El caso de Armenia*. Congreso Nacional de historia de la construcción. Madrid, 9-12 de octubre de 2013. Madrid: Instituto Juan de Herrera. Pp 555 – 564.
- Palacios, J.C. 2003. *Trazas y cortes de cantería del renacimiento español*. Madrid. Ed. Mulinallera.
- Rabasa Díaz, Enrique. 2011b. *El manuscrito de cantería de Joseph Gelabert*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.
- Rabasa, E. 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del Siglo XIX*. Akal Textos de Arquitectura.
- Ruiz, H. ca. 1550. *Libro de arquitectura* (manuscrito) Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. PID/463110.
- Tosca, V. 1727. *Compendio Mathematico. Tomo V. Tratado XIV de la architectura civil. Tratado XV de la montea y cortes de cantería*. Valencia.
- Vandelvira, A. ca 1600. *Libro de traças de cortes de piedras* (manuscrito). Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Raros/31.
- Zaragozá, A. Marín, R. Navarro, P. 2019. *Juegos matemáticos en el palacio de la Generalitat Valenciana*. Valencia. Generalitat Valenciana.

How to cite this article: Navarro Camallonga, P., Navarro Esteve, P, 2020. “«Tracing a Square Conical Vault» Tomás Vicente Tosca’s Cantilevered Squinches”, EGE Revista de Expresión Gráfica en la Arquitectura, N°12, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp 4-17.
<https://doi.org/10.4995/ege.2020.14071>

“TRAZAR UNA BÓVEDA CÓNICA CUADRADA”. LA TROMPA VOLADA DE TOMÁS VICENTE TOSCA

LA TROMPA EN LA ESTEREOTOMÍA ESPAÑOLA

Dentro del ideario de la cantería europea, y especialmente de la hispánica, la trompa es uno de los tipos básicos y de mayor presencia. Su origen es difícil encuadrarlo en una cronología concreta (quizás en el periodo bizantino, romano, o, para la cantería, el contexto armenio altomedieval) (López, Alonso, Calvo y Rabasa 2013, 555). En cualquier caso, el tipo tiene su razón de ser en la resolución de espacios cupulados de planta cuadrada. Este origen, desde el punto de vista constructivo, irá propiciando las variantes que se pueden encontrar.

En términos constructivos, la transición de un espacio cuadrangular a uno circular es uno de los problemas más conocidos en la construcción histórica, y afecta por igual a fábricas de ladrillo y cantería (Palacios 2003, 23). Nos centraremos, pues, en el segundo caso, y en aquellos ejemplos que obedecen a patrones geométricos establecidos.

Las dos formas más conocidas de paso entre una caja muraria cuadrada y un tambor circular son la pechina y la trompa (figura 3). La pechina consiste en disponer superficies esféricas, mientras que la trompa se define a través de conos. Es conocido, además, el problema de que la pechina resuelve el problema cupular con exactitud, mientras que la trompa solo garantiza la transición al octógono. En numerosos casos primitivos, sobre cruceros de templos, se disponen cuatro trompas conformando un octógono, sobre el que no es difícil cubrirlo de forma aproximadamente esférica. La experiencia constructiva, en estos casos tempranos, hacía, que, sin apenas patrones geométricos, la propia construcción resolviera los problemas, a menudo, conformando algunas superficies inexactas (figura 3).

La ventaja de la trompa como tipo arquitectónico se debe a que es más fácil de ejecutar. Mientras que una pechina estricta requiere tallar superficies esféricas, la trompa puede idearse fácilmente concibiendo dovelas como si de un arco se tratara (Palacios 2003, 25). De hecho, trazar la geometría de una trompa es más fácil que trazar una pechina. Centremos, pues, la atención en la cantería española, en las trazas, y en los manuscritos conservados.

La trompa, al igual que los tratados en su conjunto, hace aparición a principios del S XVI. Es el momento en el que el antiguo sistema gremial comienza a sufrir transformaciones y el saber particular comienza a ser universal⁶. El corpus de manuscritos y tratados españoles, por su parte, traza toda una tradición

⁶ Conviene subrayar que este no es el momento en el que la traza de la trompa se inventa, sino el de los primeros ejemplos conservados en España sobre el papel.

propia y una evolución, desde los casos más antiguos (Hernán Ruiz ca. 1550) hasta los más tardíos (Tosca 1707-1715), ya en los albores del llamado siglo de las Luces. Y en todo este conjunto la traza de trompas será una constante, y ofrecerá todo un abanico de casos y diversas soluciones (Rabasa 2000, 210).

EL TRAZADO DE LA TROMPA Y SUS VARIANTES PRINCIPALES

Conviene, antes de centrarnos en el caso de Tosca, desarrollar brevemente el sistema de trazado de una trompa y sus variantes principales, recurriendo a ejemplos de autores históricos.

Comenzaremos por Vandelvira (ca. 1600), el autor quizá más representativo de la tradición hispánica, y uno de los que tratan la cuestión de las trompas con mayor extensión. De hecho, su manuscrito conservado en la Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Madrid, comienza desarrollando las trompas y sus variantes con gran detalle⁷ (Vandelvira ca.1600, folios 7r-17v).

Comienza Vandelvira desarrollando una trompa sencilla sobre muros en ángulo recto. El autor propone trazar la planta sin más, y situar el centro y el arco que definen el cono. Seguidamente despieza el arco, y sitúa las juntas sobre la planta. Hecho este simple proceso, se obtiene el desarrollo aproximado de una porción de cono, hallando la verdadera magnitud de la cara “triangular” que define una de las piezas (todas iguales). Y finalmente, se obtiene el ángulo (“saltarregla”) entre el intradós y el muro. Es decir, el tracista obtiene los patrones de corte básicos que necesita un cantero para poder ejecutar la pieza, y no se preocupa por desarrollar cuestiones de carácter teórico (figura 4).

La primera de las variantes complejas es la trompa oblicua o en esviaje, aparentemente muy similar a la primera, pero mucho más elaborada en su trazado, pues cada pieza requiere hallar plantillas de intradós y ángulos o saltarreglas, todos diferentes entre sí (figura 5).

Otros casos de interés son los de trompas cuyo límite volado es saliente o entrante. Es decir, el cono de la trompa no termina en un muro vertical recto, sino en una superficie curvada o mixtilínea hacia fuera o hacia dentro, lo que complica el trazado notablemente. Tanto es así que el autor, obteniendo el trazado de simples plantillas para tallar piezas, da solución (no se sabe hasta qué punto con consciencia) a complejas intersecciones geométricas entre superficies cónicas y extruidas (cilíndricas) (figura 5).

⁷ Que aparecen citadas en el manuscrito como pechinas, pero a efectos léxicos del artículo son trompas, es decir, cónicas.

Además de estos ejemplos, conviene citar un caso paradigmático, de Philibert de l'Orme (1567, 89-98): la trompa de perímetro irregular. En este se lleva al extremo la intersección del cono con una forma extruida verticalmente (figura 5), pero el propósito del estos caso, por complejo que pueda parecer, continúa siendo esencialmente práctico, y destinado a la construcción.

EL COMPENDIO MATHEMATICO DE TOMAS VICENTE TOSCA

Antes de adentrarnos en la traza concreta de trompa por Tomas Vicente Tosca, conviene contextualizar brevemente el autor. Nació en Valencia en 1651, se ordenó sacerdote en la congregación de San Felipe Neri en 1678, y perteneció a la corriente cultural llamada de los Novatores. Esta representa en España el influjo de autores extranjeros como Locke, Newton, Leibniz, y sienta las bases de lo que posteriormente será la ilustración. Este nuevo cientifismo, llevará al autor a la producción de obras extensas y enciclopédicas, como *Compendium Philosophicum* (1754), o el *Compendio Matemático* (1707-1715), en la que se encuentra el objeto de estudio del artículo (Fernández 2003, 13).

El título completo de esta es *Compendio Matemático*, en que se contienen todas las materias más principales de las ciencias, que tratan de la cantidad, y se compone de 9 tomos cuya temática es variada, y no únicamente arquitectónica. No obstante, interesa especialmente el Tomo V: Arquitectura Civil, Monte y Cantería, Arquitectura Militar, Pirotecnia o Artillería⁸.

En esta sección del *Compendio*, el autor desarrolla cuestiones relativas a la cantería, propias de la tradición hispánica, y se centra esencialmente en la resolución de trazas geométricas. Aun así, en esta breve recopilación de problemas se aprecia una diferencia significativa con respecto a las obras anteriores. La diferencia es el enfoque del texto, que ya no parece plantear problemas constructivos, sino planteamientos de tipo matemático.

El tratado XV (la parte de cantería) comienza desarrollando los arcos en sus diferentes variantes (arcos y capialzados), continua con las trompas, con las bóvedas (esféricas o de arista), y termina desarrollando algunos casos de escaleras. Todo esto, pues, se estructura en diversas proposiciones (numeradas), que van en aumento de dificultad.

Aunque el enfoque del texto es fundamentalmente teórico, es interesante observar, la inferencia de algunos modelos locales, es decir, valencianos. Es el caso, en las bóvedas, de la cita al cimborrio de la

Catedral de Valencia, y aunque no lo nombra, en el grupo de las trompas, la analogía de bóveda cónica cuadrada con la trompa construida en el patio del Palacio de la Generalidad de Valencia. De este último caso hablamos a continuación.

LA "BÓVEDA CÓNICA CUADRADA"

Bajo el título de Proposición II (Tosca 1727, 185) Trazar una Boveda conica quadrada, Tosca desarrolla el trazado de una trompa cónica (un cono circular) en voladizo, de planta cuadrada. ...La que aora delineamos tiene por planta vn quadrado, y por effo llamamos quadrada: es de grande vtilidad en muchos cafos, por que fobre ella fe puede cargar vn angulo de vna fabrica. El autor a parte del texto, adjunta una figura con una serie de dibujos (figuras 1, 6), que conviene exponer de manera conjunta.

En primer lugar, el autor define la planta de la trompa, su voladizo, y establece un plano "virtual" a 45°, en el que colocar el arco directriz del cono. Este arco se despieza, y se determinan las juntas en la planta. Acto seguido el autor desarrolla de forma compleja varias cuestiones: La obtención en verdadera magnitud de los frentes de la parte volada de la pechina, la inclinación sobre el plano horizontal de las diferentes juntas, y por último el desarrollo aproximado del intradós del cono en verdadera magnitud, por piezas.

Es decir, la resolución gráfica propuesta es análoga a la planteada en tratados anteriores, pero con una salvedad: *En el texto no se hace referencia a penas, al proceso constructivo. Por ilustrar esta cuestión, cito el final de la proposición: à quienes fe darà la concavidad curva con la regla cercha, ò baivel ordinario, cortado fegun la frente del arco fundamental* (Tosca 1727, 188). Es todo lo que se dice relativo a la construcción.

LA TROMPA DEL PALAU DE LA GENERALITAT

Como se ha comentado, la trompa volada es una variante singular, que no es frecuente verla construida. Aun así, existen algunos ejemplos de interés: la trompa de Philibert de l'Orme contruida en Toulouse (Palacios 2003, 44), y la trompa del Palacio de la Generalidad, de los primeros años del S XVI, que, si no es el ejemplo más antiguo conservado, es uno de los más tempranos (Zaragozá, Marín y Navarro 2019, 19). Su construcción está documentada el año 1530, a cargo del maestro Pere Real y el albañil Joan Navarro. Además, esta no vuela Únicamente, sino que sustenta de manera exclusiva una escalera de caracol, de unos 15 metros de altura (de ladrillo) (figuras 2, 7).

Este caso se ha levantado mediante tecnología escáner láser⁹, y se ha analizado detenidamente a

⁸ Para el presente artículo la edición utilizada del tratado de Vicente Tosca es la de 1727.

⁹ El aparato utilizado ha sido el modelo P40, de la casa Leica Geosystems, cuya exactitud es de 6mm, realizado 3

partir de un conjunto de puntos seleccionados de la nube resultante (sobre las figuras, en rojo). Se ha corroborado la geometría cónica de la superficie de intradós, la planta de los muros en ángulo, ligeramente superior a 90°, y el aparente descenso de la parte volada.

A continuación, se ha realizado una restitución de la traza a partir de la toma de datos, y atendiendo a otra fuente tratadística cercana: el manuscrito de cantería de Joseph Gelabert (1653). Esta obra, escrita en Mallorca en fecha algo tardía, recoge numerosos casos de tradición aragonesa, y plantea concretamente una trompa muy similar a la de Valencia: la *Pitxina radona de tres peñades* (pag. 108v, 109r) (Rabasa 2011, 294). La traza no dista mucho de otras fuentes, salvo por la forma del voladizo, biselado, que es prácticamente la misma que la del caso valenciano, y la parecida (casi idéntica) disposición de juntas (figura 8).

TRAZADO DE LA TROMPA EN VOLADIZO

Primeramente, se han analizado algunas cuestiones métricas básicas: el ángulo que forman los muros (no exactamente recto), la forma de la planta, y el análisis de las juntas superiores para poder determinar el asiento o los movimientos de la obra a lo largo de los siglos, puesto que soporta una elevada carga. De hecho, se ha comprobado que hay un descenso de la trompa en su parte volada (unos 17 cm), pero es difícil de precisar si este ocurrió o no después del montaje de la trompa (figura 7).

La restitución del trazado, según las diferentes fuentes manuscritas (y especialmente las obras de Gelabert y Tosca), comienza por la definición de la planta, y del arco directriz del cono. Seguidamente se establece el despiece, se sitúan las juntas, y se comienza el desarrollo de la superficie de intradós (figura 9).

Si somos estrictos a la hora de seguir las indicaciones de Gelabert, es especialmente delicado el dibujo de la forma biselada del pico de la trompa, teniendo que obtener la distancia en verdadera magnitud desde el centro del bisel hasta el inicio del cono. Otra de las peculiaridades que se observa en Gelabert (no ocurre lo mismo en Tosca), es la simplificación de algunas líneas, que en el desarrollo deberían de ser quebradas (o curvas), y en la traza se muestran rectas. Se supone que estas simplificaciones no son corregibles sobre la propia construcción de la trompa.

estacionamientos, uniéndolos mediante cálculo de mínimos cuadrados (en el programa Cyclone, de Leica), y seleccionando los puntos correspondientes a juntas y aristas.

TALLA Y CONSTRUCCIÓN

Resulta de gran interés seguir las indicaciones que da Gelabert para la talla de las piezas que componen la trompa. Este proceso comienza necesariamente por las piezas inferiores, las de los arranques, cuyas plantillas y ángulos se toman de la traza. Ejecutados los arranques, cada pieza por encima (conforme se cierra la trompa) se talla tomando medidas de la anterior, es decir, de la dovela en la que se va apoyará (figura 10). La última pieza será la clave, que además presenta la forma de bisel, y su forma se finalizará colocada, garantizando la continuidad del frente de la trompa.

Conviene plantear también algunas cuestiones que no aparecen en los tratados, como la del cimbrado en el proceso constructivo. Hoy en día estamos acostumbrados a pensar en el montaje de estas obras como un complejo sistema de apeos, pero esto seguramente no tenía lugar. Lo más probable es que la cimbra necesaria para la construcción de la trompa fuese únicamente un arco, semicircular, correspondiente a la directriz del cono. El resto de piezas, fácilmente se podrían sujetar durante el montaje con algún puntal auxiliar.

EL PLANTEAMIENTO DE TOSCA COMO PRÁCTICA CIENTÍFICA

Con esto, podemos afirmar que la trompa de Valencia es un caso que se ajusta bien a los manuscritos y tratados. También se puede afirmar que las indicaciones que dan los tratadistas, especialmente Gelabert, son de utilidad para la puesta en práctica. Y queda patente, por otro lado, la necesidad de elaborar una traza geométrica para dar solución al problema arquitectónico. Sin este planteamiento gráfico, por muy breve que sea, es imposible poder materializar un caso de tal complejidad.

No obstante, volviendo a Tosca, conviene poner sobre la mesa algunas cuestiones relevantes: En líneas generales, la parte gráfica (quizá la más ligada a la propia tradición) se ajusta con claridad a las necesidades arquitectónicas. Pero no ocurre lo mismo con el texto de apoyo, que rara vez hace referencia a los procesos de talla y construcción, y que más bien parece describir un problema matemático.

Es decir, el tratado de Tosca busca justificar o convertir el arte del tracista en una suerte de ciencia reglada. El planteamiento, además, no es particular del autor, ni propio de la tradición local o nacional, sino que se detecta en otros autores contemporáneos, como Guarino Guarini (Euclides Adauctus, 1671) (Bianchini 2008, 17), que también plantea casos provenientes de la tradición de cantería (es posible que hispánica) desde un punto de vista casi estrictamente matemático. Y, además, ocurre una circunstancia que conviene poner en relieve en este

artículo, y es el hecho de que Tosca se refiere a la trompa como una bóveda cónica, y Guarini de manera contemporánea, está hablando en sus obras de bóvedas compuestas en ocasiones por formas cónicas.

CONCLUSIÓN

La principal conclusión que conviene subrayar en esta exposición es la puesta en relación, doble y conjunta, de la obra de Tosca con la tradición constructiva, y con el mundo cientifista preilustrado. Esto provoca que un compendio de trazas, propio de un maestro tracista de los siglos XVI-XVIII, se quiera justificar o

apoyar en un discurso teórico de carácter rigurosamente matemático. Lo cual, además no es ningún hecho local, sino propio de la Europa del momento.

Por otro lado, el artículo pone en relieve la importancia de la trompa del Palacio de la Generalidad de Valencia, que, por su ejecución, alarde estereotómico, estructural y cronología temprana, debe considerarse una de las piezas clave en la estereotomía, por lo menos hispánica. Y, de hecho, es probablemente una de las piezas en las que Tosca se basa para desarrollar la traza que aquí se expone.