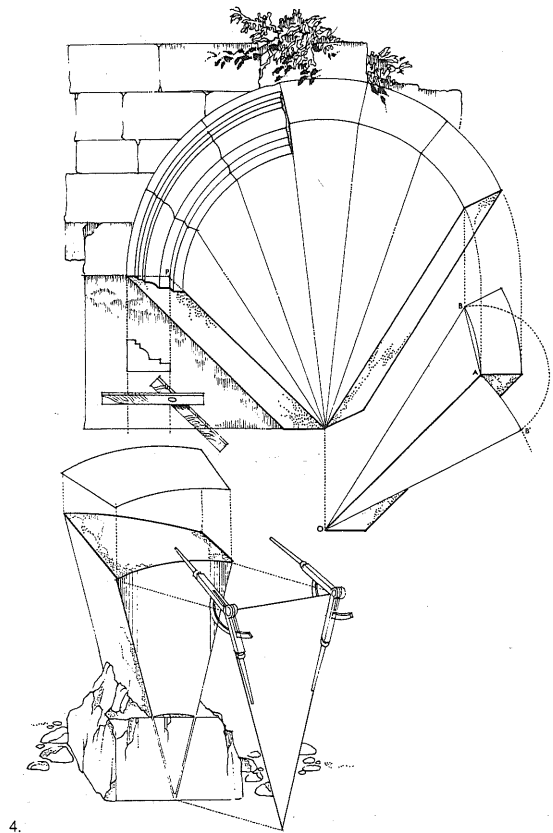
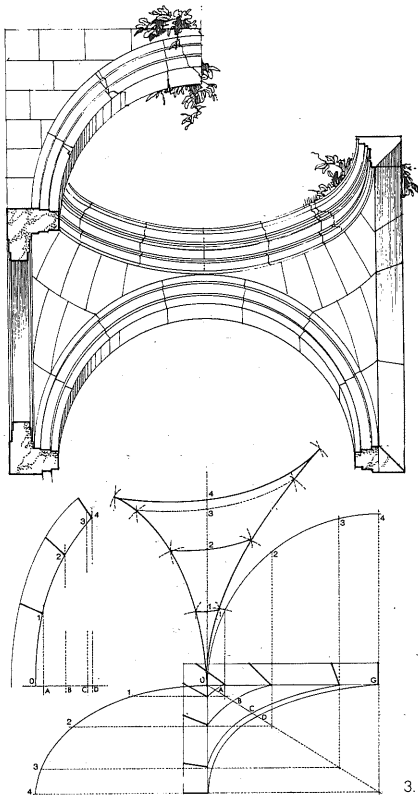


1. Traza de patrones para la talla de bóvedas de media naranja.
2. Desarrollos cónicos del dovelaje de una esfera.
3. Traza de una pechina para bóveda de planta oval.
4. Traza de patrones de una trompa cuadrada.



La construcción de bóvedas pétreas es uno de los capítulos de la historia de la construcción que, por lo ingenioso de sus métodos, constituye una de las más apasionantes técnicas constructivas del pasado. Sin embargo, la estereotomía, como ciencia que posibilita la ejecución de superficies en piedra, permanece, hoy día, oculta bajo el velo del más absoluto desconocimiento, tal es así que en la actualidad nos resulta imposible encontrar una explicación constructiva a buena parte de nuestro patrimonio arquitectónico.

Este olvido de la estereotomía tiene sus razones innegables. En primer lugar, hemos de hacer referencia al perpetuo silencio que desde antiguo protegió una de las técnicas constructivas más misteriosas y celosamente guardadas¹. Sin duda, este silencio estaba destinado a perpetuar uno de los gremios de más antigua tradición medieval, siendo precisamente el peso de esta tradición causante de que, con la llegada del Renacimiento, los manuscritos de estereotomía que de esta época se conservan, no fueron recogidos por el espíritu divulgador e ilustrado del siglo XVI, permaneciendo, con ello, en los círculos más restringidos de los profesionales ligados a la cantería².

En segundo lugar, hemos de mencionar el gran vacío que para la estereotomía supuso la incorporación de nuestro país a la cultura del Barroco. En la práctica de la construcción, el siglo XVI, como en tantas otras cosas, implica una renovación completa del substrato técnico que había animado la construcción española en los siglos pasados. La albañilería, técnica milenaria en nuestro país, sabrá defenderse mejor ante los condicionantes económicos, rapidez de ejecución y dúctiles efectismos que los nuevos tiempos imponen, enterrando para siempre cinco siglos de práctica constructiva basada en la labra de la piedra.

En un intento de establecer las coordenadas fundamentales en las que se desenvuelve la cantería, es forzoso recordar el que el siglo XVI fuese una época donde la construcción en piedra alcanza su máximo desarrollo. Y ello es así, paradójicamente, aún cuando el Renacimiento como hecho cultural que tiene sus orígenes en Italia, tiene en este país una forma de interpretarse, desde el punto de vista de la construcción, radicalmente distinta al que se produce en nuestro país. El clasicismo italiano está

construido sustancialmente en albañilería, dejando el uso de la piedra a los revestimientos y aplacado de fachadas³. El uso de la cantería en nuestro Renacimiento se explica, sin duda, apelando nuevamente a las tradiciones medievales a las que hemos hecho mención con anterioridad. La fascinación por el edificio construido en piedra fue conformando a lo largo de la Edad Media una sensibilidad que se prolonga más allá del cambio cultural y formal que el Renacimiento comporta.

Esta observación que acabamos de efectuar sobre los aspectos generales de la construcción renacentista nos va a permitir adentrarnos en una de las cualidades más notables de la estereotomía y, con ello, redefinir la cantería como arte de principios radicalmente distintos de los que mantiene la albañilería. Así pues, si tuviéramos que definir una peculiaridad fundamental del arte de la cantería sería precisamente su cualidad dimensional. Obsérvese en tal sentido que en albañilería el ladrillo resulta ser un elemento pequeño en relación a la superficie a edificar y por tanto puede ser una pieza indiferenciada; en cantería, por el contrario, las dovelas resultan ser elementos de considerables dimensiones y por ende obligan a que cada una de ellas esté perfectamente diseñada y cortada al objeto de que unas con otras encajen perfectamente.

Esta cualidad dimensional nos permitirá valorar en su justo término la calidad de la obra de cantería, incluso nos permitirá establecer diferencias cualitativas entre la cantería medieval y renacentista ya que el mayor o menor tamaño de la pieza que se use como dovela determina el que la obra esté conceptualmente más próxima a la albañilería que a la cantería. En tal sentido, baste pensar que una reducción oportuna de las dovelas eliminaría la necesidad de su diseño previo, convirtiéndolas en elementos indiferenciados similares al ladrillo.

La contraposición entre la albañilería y cantería explica a su vez algunos aspectos de la tratadística de los siglos XVI y XVII, ya que, si bien la inquietud fundamental de los tratados de construcción de nuestro Renacimiento se centra primordialmente en el desarrollo de los procesos geométricos que permitan definir dimensionalmente cada dovela, los tratados del Barroco dedicarán amplios capítulos al estudio de todo tipo de morteros⁴. Es de

The stereotomy of the sphere

The construction of stone vaults is one of the chapters in the History of Construction which, due to the resourcefulness of its methods, represents one of the most exciting construction techniques employed in the Past. However, stereotomy, as a science which makes it possible to execute surfaces in stone, remains, nowadays, hidden under a veil of the most absolute ignorance. This is so much the case that at present it is impossible for us to provide a constructive explanation to a good portion of our architectonic patrimony.

This veil of ignorance surrounding Stereotomy has its very clear reasons. In the first place, we have to make reference to the *perpetual silence* which has protected one of the most mysterious and carefully guarded construction techniques since antiquity¹. Without a doubt this silence was intended to perpetuate one of the guilds of the oldest medieval tradition. In fact, it was precisely the weight of this tradition which was the reason why, with the arrival of the Renaissance, that the manuscripts on Stereotomy which were conserved from that period, were not collected by the revealing and enlightened spirit of the 16th century. To the contrary, they remained in the more

restricted circles of the professionals who were involved in the hewing of stones².

In the second place, we have to mention the great vacuum which our country's incorporation into the Baroque culture meant to Stereotomy. The construction practice of the 16th century, as in many other things, implied a complete renovation of the technical sub-stratum which had influenced Spanish construction in the previous centuries. Brick-laying, a millenary technique in our country, was able to defend itself better against the economic conditionings, the speed of execution and ductile sensualisms which the new times imposed, thus burying forever five centuries of construction practice based on the carving of the stone.

In an effort to establish the fundamental coordinates in which the art of stone hewing was developed, it is necessary to remember that the 16th century was a period in which stone construction reached the height of its development. And this is true, oddly enough, even when the Renaissance as a cultural event having its origins in Italy, had one form of interpretation in that country, from the construction point of view, which differed radically from what was taking place in our country. Italian Classicism

was constructed substantially by brick-laying, leaving the use of the stone for the covering and plating of façades³. The use of stone hewing in our Renaissance is explained, without a doubt, by appealing once again to the medieval traditions to which we have already made mention. The fascination with a building constructed out of stone was shaping throughout the Middle Ages a sensitivity which was prolonged beyond the cultural and formal changes which the Renaissance introduced.

This observation which we have just made on the general aspects of the Renaissance construction allows us to delve more deeply into one of the most outstanding qualities of stereotomy and by doing so, we can redefine the hewing of stone as an art of radically different principles to those which brick laying maintained. Thus, if we had to define a fundamental peculiarity of the art of stone hewing, it would be precisely its dimensional quality. It should be noted in this sense that in brick laying, the brick turns out to be a small element in relation with the surface area to be constructed and therefore, it can be one undifferentiated piece. In the hewing of stone, on the other hand, the voussoirs turn out to be elements of considerable size and consequently, they make it necessary for each one of them

notar al respecto cómo la aspiración de la obra de cantería es la de conseguir la estabilidad mediante una macla continua de toda la fábrica, en la cual las lechadas de mortero entre dovelas tienen un papel secundario como meras juntas de asiento, mientras que en albañilería los morteros cobran, como material de agarre, un importante cometido en la sustentación de la obra y de ahí la necesidad de determinar sus dosificaciones. Así pues, la estereotomía desarrolla su esfuerzo investigador durante el siglo XVI en el estudio de los cálculos geométricos que le permitan acotar debidamente cada dovela, generando con ello el establecimiento de las bases de lo que hoy constituye una ciencia específica: la geometría descriptiva⁵.

La definición geométrica de la cúpula

Para comprender el alcance que el Renacimiento imprime a la estereotomía medieval, comencemos por analizar la traza de dovelas de uno de los elementos que, junto al arco de medio punto, constituyen los arquetipos de la arquitectura clásica: las cúpulas esféricas. En este tipo de bóvedas, las dovelas se disponen en hiladas que forman círculos concéntricos alrededor del eje vertical. Aun cuando el diseño y reparto en dovelas de una bóveda de media naranja resulta ser una tarea sencilla, no lo es tanto la definición de dimensiones de una sola de dichas dovelas. Convendrá al respecto imaginarse en el espacio una de estas piezas para comprobar que resulta ser un prisma trapezoidal extraordinariamente complejo, ya que la cara interna debe estar tallada con la concavidad interior de la cúpula; también su cara superior resulta ser cóncava, mientras que la inferior es convexa al objeto de adaptarse respectivamente a las hiladas superiores e inferiores. Por último, las caras laterales son planas, pero oportunamente orientadas hacia el centro de la bóveda. (Fig. 12).

Con la mentalidad cartesiana con que hoy día nos enfrentamos al problema de la transmisión de datos de los distintos componentes de la arquitectura, se hace difícil imaginar a través de qué tipos de plantas, alzados y secciones acotadas se podrían determinar las dimensiones de cada dovela. Es de advertir que en un reparto de dovelas en hiladas horizontales, debido a que el radio de curvatura de cada una de ellas va disminuyendo en la

medida en que se encuentran más próximas a la clave, las dimensiones de las dovelas de cada hilada son diferentes y, por tanto, será preciso resolver una por una tantas dovelas distintas como hiladas tenga la bóveda.

Para resolver el problema de la transmisión de datos, el maestro cantero habrá de usar patrones de las caras de cada dovela. Podrá ser necesario sacar más o menos patrones para proceder a su talla, pero, concretamente en el caso de la cúpula en media naranja, basta con un sólo patrón, aquel que define la proyección plana de su cara interior. El problema que se plantea es, por tanto, un problema de índole geométrica: se trata de hallar las dimensiones de una porción trapezoidal de la superficie de una esfera.

A través de los dibujos del manuscrito de Alonso de Vandevira podemos acercarnos al proceso geométrico que los arquitectos del XVI usaban para calcular el patrón de la cara de intradós de las diversas dovelas que componían una bóveda (Fig. 1) con tal finalidad se trazará un plano que pase por los cuatro vértices de una de las dovelas, por ejemplo la de la primera hilada. Este plano, obviamente inclinado respecto al eje vertical de la bóveda, tiene con éste un punto de intersección; desde este punto de corte se le abate, con la ayuda de un compás, trazando dos arcos de círculo que pasen por el extremo superior e inferior de la dovela, bastará con llevar sobre uno de estos arcos la dimensión de la junta por el lecho inferior de la dovela y, por el punto así obtenido, trazar una recta hasta el vértice en el eje vertical; con ello queda perfectamente delimitado el patrón plano de la cara de intradós de todas las dovelas que se encuentran situadas en esta primera hilada. Este proceso habrá de repetirse por cada una de las hiladas en que se haya dividido la cúpula.

La construcción geométrica que acabamos de exponer resulta particularmente interesante, ya que sobre ella se fundamenta toda la estereotomía renacentista de las superficies esféricas y, por tanto, permite comprender la tracería de patrones del complejo repertorio de bóvedas que el Renacimiento desarrolla en nuestro país. También, a través de las trazas que acabamos de exponer, va a ser posible adentrarnos en alguna de las peculiares deudas que la estereotomía del XVI tiene contraídas con la

to be perfectly designed and cut, so that they fit together with one another perfectly.

This dimensional quality allows us to evaluate the quality of the hewn stone work in its just proportion, and it even makes it possible for us to establish qualitative differences between medieval and Renaissance stone hewing. The larger or smaller size of the piece which is used for the voussoir, determines whether the work is conceptually closer to bricklaying or to stone hewing. In this sense, it is enough to think that an appropriate reduction in the voussoirs would eliminate the need for their prior design, converting them into undifferentiated elements, similar to the brick.

The counter-position between brick laying and stone hewing explains in turn some aspects of the writings of the 16th and 17th centuries, for, if the fundamental concern of the construction treatises of our Renaissance centered mostly around the development of the geometric processes which made it possible to dimensionally define each voussoir, the Baroque treatises dedicated extensive chapters to the study of all kinds of mortars⁴. It should be noted in relation with this point how the goal of stone hewing work was that of achieving stability by means of a

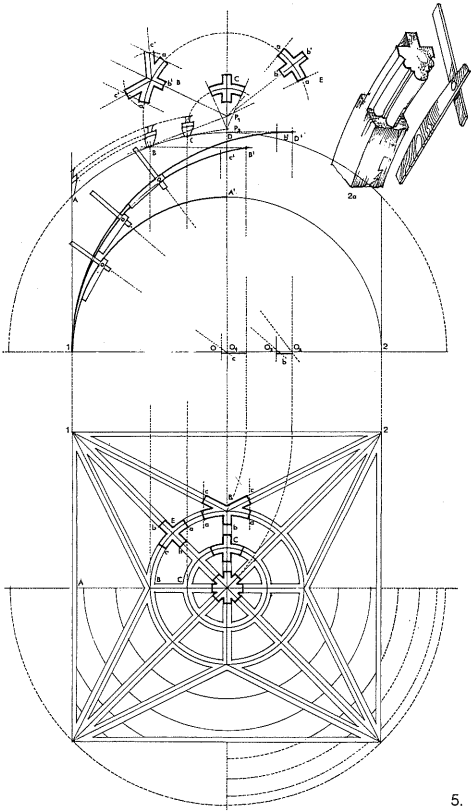
continuous macla of the entire construction, in which the mortar pastes set between the voussoirs played a secondary role as mere bed joints, while in the brick laying work, the mortars, as a gripping material, took on an important mission in supporting the over-all work. It thus became necessary to determine the correct dosages and proportions. Consequently, Stereotomy dedicated its investigating efforts during the 16th century to the study of geometric calculations which made it possible to duly define each voussoir, and by doing so, establish the bases which today constitute a specific science: Descriptive Geometry⁵.

The Geometric Definition of the Dome

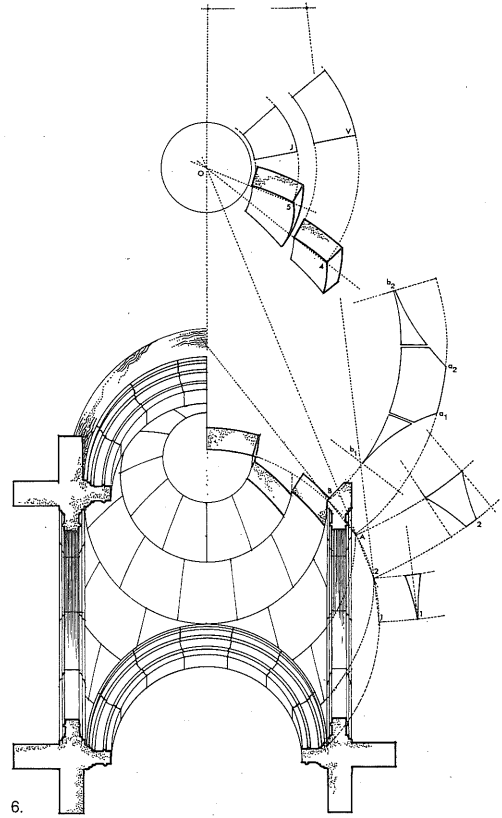
In order to understand the scope which the Renaissance impressed upon medieval stereotomy, we must begin by analyzing the lay-out of the voussoirs of one of the elements which, together with the half-point arch, constitute the archetypes of classic architecture: the spherical domes. In this kind of vault, the voussoirs are arranged in rows which form concentric circles around the verticle axis. Even when the design and distribution of the voussoirs of a conch dome turn out to be a simple task, this

is not the case for the definition of dimensions of just one of these voussoirs. It would be advisable in this sense to imagine one of these pieces in the space in order to discover that it is a trapezoidal prism of extraordinary complexity, for the internal surface must be carved with the interior concavity of the dome. In addition, its upper surface must be concave, while the lower one is convex, so that it is adapted to the upper and lower rows respectively. And finally, the lateral sides are flat, but are duly oriented towards the center of the vault (Fig. 12).

With the Cartesian mentality used today to face problem of data transmission from the different components of architecture, it becomes difficult to imagine through what types of ground plans, upright projections and dimensioned sections, we could determine the dimensions of each voussoir. It should be pointed out that in a distribution of voussoirs in horizontal rows, due to the fact that the curvature radius of each one of them is decreasing in the measure that it approaches the keystone, the dimensions of the voussoirs of each row are different and, therefore, it would be necessary to resolve as many different voussoirs one by one, as there are rows in the vault.



5.



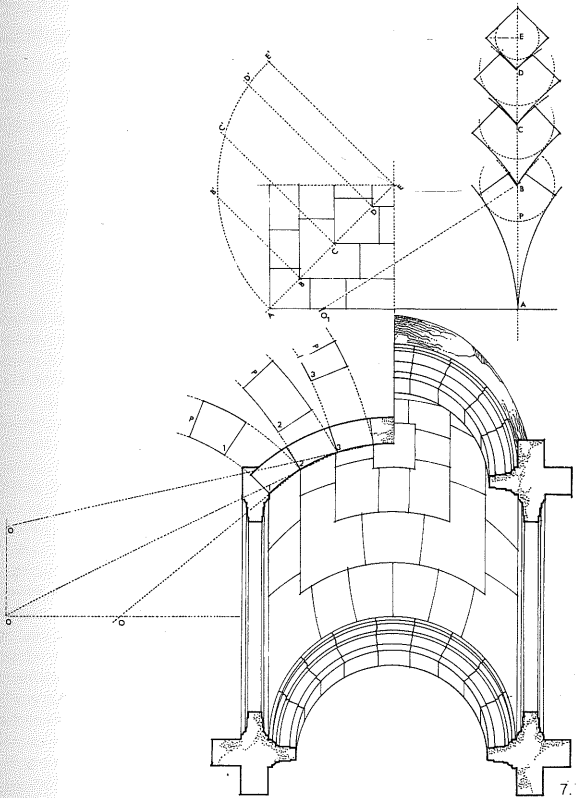
6.

5. Cálculo de curvaturas de nervios en una bóveda de cinco claves.

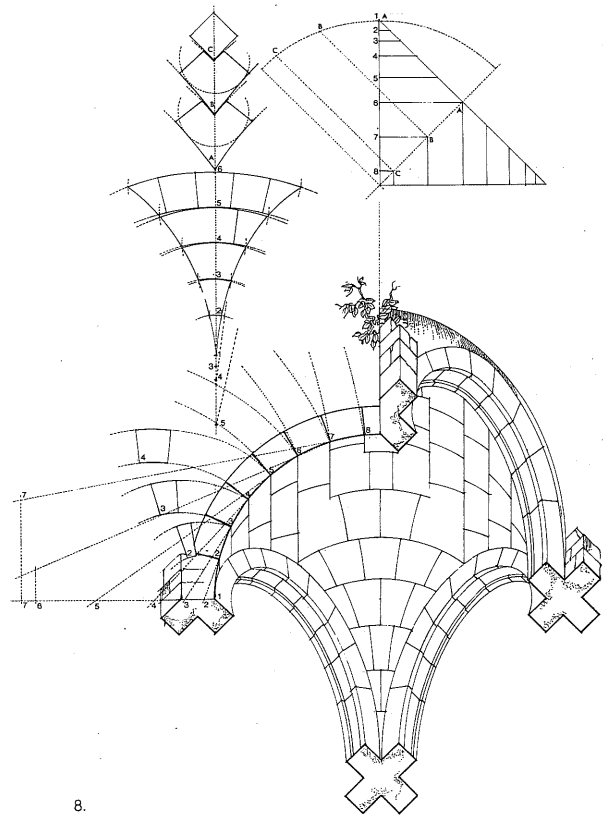
6. Traza de patrones de bóveda vaída por hiladas redondas.

7. Traza de patrones de bóveda vaída por hiladas cuadradas.

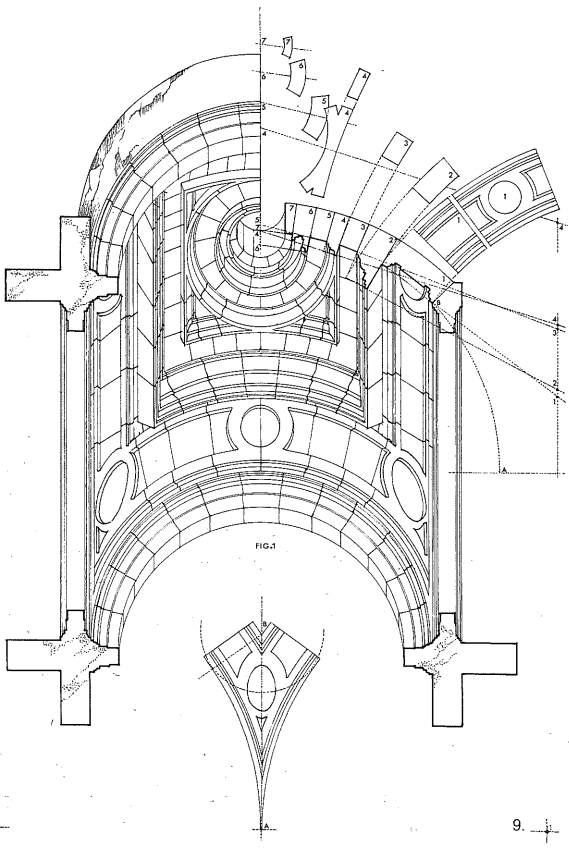
8. Traza de patrones de una bóveda por hiladas diagonales.



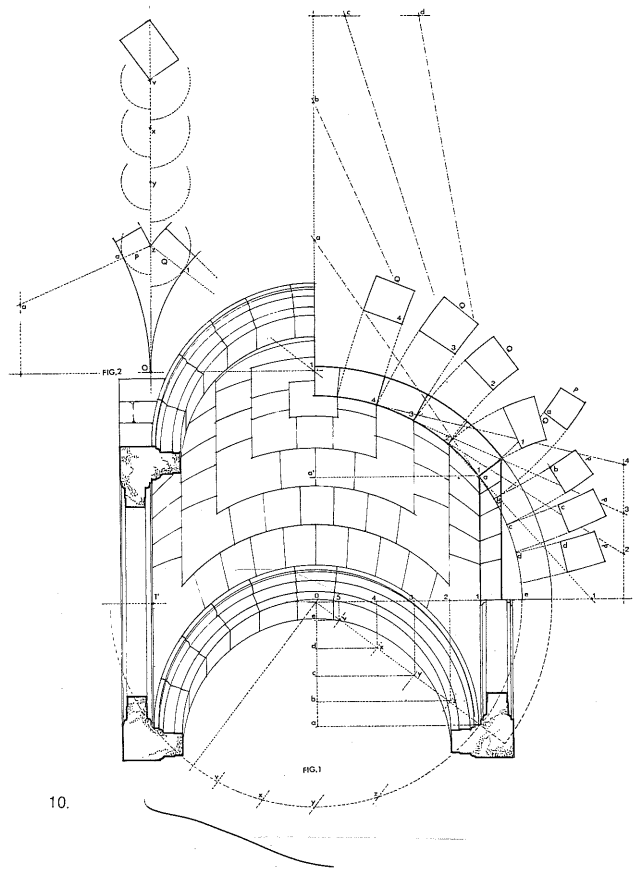
7.



8.



9.

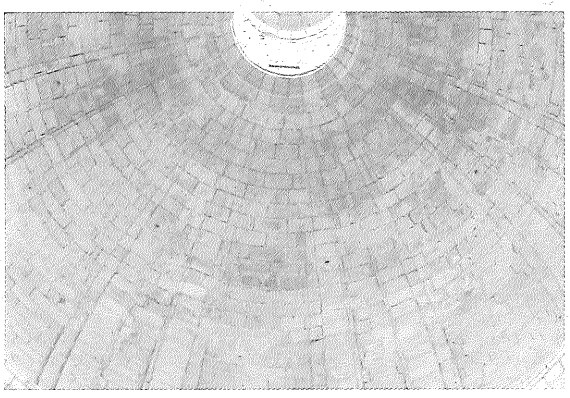


10.

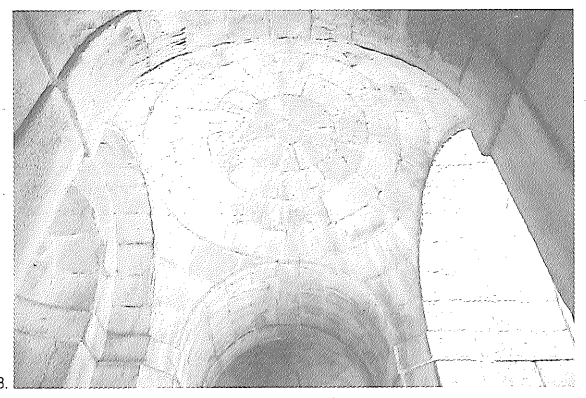


11.

- 9. Despiece de dovelas y cálculo de patrones sobre bóveda decorada de hiladas mixtas.
- 10. Cálculo de patrones de bóveda por hiladas cuadradas de planta rectangular.
- 11. Tres tipos de bóvedas vaídas. Catedral de Jaén.
- 12. Cúpula sobre el crucero de El Escorial.
- 13. Bóveda vaída por hiladas redondas. El Escorial.



12.



13.

cantería medieval. Obsérvese al respecto que esta construcción geométrica se ha efectuado solamente en una dovela por cada hilada; si se llevara al extremo, equivaldría en realidad a trazar una superficie cónica inscrita a cada hilada (Fig. 2). Desarrollando cada una de las superficies cónicas se obtendrían, impresas sobre su superficie extendida, las proyecciones de todas las dovelas.

El desarrollo de superficies cónicas es, curiosamente, una operación geométrica bien conocida desde los más remotos tiempos de la Edad Media, ya que a través de ella era posible determinar las dimensiones de las caras de intradós de las dovelas necesarias para construir una trompa y, por tanto, estos patrones resultaban imprescindibles para proceder a su talla (Fig. 4). Las trompas constituyeron, en épocas medievales, un elemento estructural eficaz para reconducir las cargas de los cimborrios ochavados hacia la estructura de planta cuadrada de los cruceros. Sin embargo, la paulatina sustitución de los arcaicos cimborrios por las bóvedas esféricas generaban un enlace extremadamente complejo entre la trompa y el perímetro circular de la imposta de la cúpula. Este enlace venía obligado a resolverse mediante dos pequeños triángulos esféricos —en realidad dos pechinas— situados a ambos lados de la trompa. Con el tiempo, el Renacimiento fue abandonado este complejo sistema, simplificándolo notablemente, al resolverlo con una sola pechina extendida entre los arcos de sustentación de la bóveda (Fig. 3). Pese al abandono de las trompas, resulta interesante comprobar cómo la estereotomía de las superficies esféricas, paradigmáticas en la arquitectura clásica, hunde sus raíces en antiguas tradiciones medievales a las que anteriormente, y por otros motivos, hemos hecho referencia.

El baibel

Una vez obtenidos los patrones, resta por desvelar cómo llevar a cabo el corte de cada dovela. Para facilitar la labor de talla será preciso fabricarse un ingenioso instrumento: el baibel (Fig. 1). Se trata de una escuadra de dos brazos fijos por su vértice; uno de ellos se debe cortar con la misma curvatura que la bóveda, mientras que el otro, recto, ha de colocarse en posición del radio. La figura 4 puede orientarnos sobre la forma en que el baibel

debe moverse y, con ello, orientar al cantero sobre las partes que debe ir descantillando. Se trata, pues, de calcar en primer lugar el patrón de la dovela, dibujando a tamaño natural, sobre una de las caras del prisma contenedor. A continuación, se procederá a pasar el baibel colocado en posición horizontal, de arriba a abajo, girando el ángulo del instrumento a lo largo de la línea lateral del patrón. Este movimiento origina el derrame lateral de una cara; invirtiendo ahora la posición del baibel se obtendrá el derrame de la otra cara. Luego, se colocará en posición vertical y, atentos siempre a que el ángulo del instrumento se mantenga fiel a las siluetas curvas de la parte superior e inferior del patrón, se moverá imprimiéndole un giro entre los planos de las dos caras laterales, con lo que irán apareciendo las caras respectivamente cóncavas y convexas de la parte superior e inferior de la dovela así como la concavidad esférica del interior de la misma (Fig. 2).

El baibel resulta ser de nuevo un instrumento del pasado medieval. En tal sentido, conviene señalar que merced a los baibeles fue posible la talla de las dovelas lineales destinadas a la construcción de complicadas bóvedas ojivales, haciendo factible la talla de las precisas curvaturas de sus arcos (Fig. 5). El baibel en el Renacimiento alcanzará la plenitud de sus posibilidades al permitir la talla de elementos superficiales.

Como se ha podido comprobar en el párrafo anterior, el tallaje de dovelas requiere que los patrones se hayan dibujado previamente a tamaño natural. De este hecho, aparentemente trivial, se derivan algunas observaciones interesantes. Pensemos al respecto que la traza de patrones es una operación que en principio habrá de realizarla el arquitecto sobre el tablero de dibujo, obviamente a una escala reducida; por tanto, queda por efectuar un cambio de escala de los patrones obtenidos para que éstos puedan ser válidos para la talla. Esta operación ha de llevarse a cabo redibujando nuevamente, a tamaño natural, las trazas que el arquitecto propone si se quiere eliminar riesgos de consecuencias desastrosas derivados de posibles errores. Por tanto, hemos de imaginar la obra renacentista acompañada de gigantescos dibujos realizados sobre el pavimento o paredes del propio edificio en construcción, avalando, con ello, la definición que

In order to resolve the problem of transmission of data, the master stone mason will have to use patterns for the sides of each voussoir. It could become necessary to draw up a number of patterns in order to proceed with the carving but more specifically in the case of the conch dome, one pattern is enough, that which would define the flat projection of the interior surface. The problem which is presented, then, is one of a geometric nature: it is a matter of finding the dimensions of the trapezoidal portion of the surface area of a sphere.

From the drawings contained in Alonso de Vendelvira's manuscript, we can approach the geometric process that the 16th century architects used in order to calculate the pattern of the intrados side of the different voussoirs which made up a vault (Fig. 1). With this aim, a plan was drawn up which passed through the four vertices of one of the voussoirs, for example, the one found on the first row. This plan, obviously inclined in relation with the vertical axis of the vault, has an intersection point with this axis. From this cutting point, a perpendicular is dropped with the aid of a compass, tracing two circular arcs which pass through the upper and lower ends of the voussoir. It would be sufficient to place over one of these arcs, the dimension of the

jointing by the lower bed of the voussoir and, from the point obtained thusly, trace a straight line to the vertex of the vertical axis. In this way, the flat pattern of the intrados side is perfectly defined for all the voussoirs which are located in this first row. This process would have to be repeated for each one of the rows in which the dome has been divided.

The geometric construction which we have just expressed is particularly interesting, for it is the basis on which all Renaissance stereotomy of spherical surfaces is based and therefore, it makes it possible to understand the design of the patterns of the complex repertoire of vaults which the Renaissance developed in our country. In addition, from the layouts which we have just discussed, it is possible to delve more deeply into some of the peculiar debts which the 16th century stereotomy owed to medieval stone hewing. We should take note in relation with this point that this geometric construction has been carried out for only one voussoir of each row. If it were carried out at the end, it would be equivalent in reality to tracing a conical surface inscribed at each row (Fig. 2). By developing each one of the conical surfaces, we would obtain, imprinted on the extended surface area, the projections for all the voussoirs.

The development of conical surfaces is oddly enough, a well known geometric operation since the most remote times of the Middle Ages, for this procedure made it possible to determine the dimensions of the intrados sides of the voussoirs necessary for constructing a pendentive. Therefore, these patterns turned out to be absolutely necessary in order to proceed with the carving (Fig. 4). In medieval epochs, the pendentives constituted an effective structural element for extending the loads of the octagonal domes in the direction of the square structure of the transepts. However, the gradual replacement of the archaic domes with the spherical vaults generated an extremely complex linking between the pendentive and the circular perimeter of the impost of the dome. This linking was made necessary when two small spherical triangles were used—in reality, two pendentives—located on either side of the main pendentive. In time, the Renaissance gradually abandoned this complex system, by simplifying it considerably, and resolving the matter with a single pendentive extended between the support arcs of the vault (Fig. 3). Despite the abandoning of the pendentives, it turns out to be interesting to see how the stereotomy of the spherical surfaces, paradigmatic in Classic architecture,

Benito Bails da al arcaico nombre de arte de la montea como "el dibuxo que se hace de una bóveda de tamaño natural en una pared o suelo para tomar las medidas y formas de sus diferentes partes"⁶.

La autonomía del dovelaje

Una vez aclarados los aspectos fundamentales concernientes a la talla de las cúpulas en media naranja, el campo de elementos arquitectónicos que queda a nuestro alcance resulta extraordinario. Entre ellos nos detendremos especialmente en el de las bóvedas vaídas. A través de ellas será posible observar algunas particularidades de gran interés que permitirán al maestro cantero introducir variables de extraordinario efecto en el diseño de sus bóvedas.

Entre las bóvedas vaídas la más frecuente es aquella en la cual las hiladas de dovelas se disponen horizontalmente formando círculos alrededor del eje vertical (Fig. 13). El diseño de sus patrones, a la luz de lo expuesto anteriormente, no reviste dificultad; bastará con desarrollar superficies cónicas de vértices situados sobre el eje vertical; el problema de los ingletes que este tipo de bóvedas forman entre los arcos de sustentación es fácil de resolver, toda vez que las medidas de las juntas afectadas pueden tomarse directamente de un sencillo dibujo en planta de la bóveda y trasladarse con exactitud a los patrones (Fig. 6).

Sin embargo, esta no es la única disposición del dovelaje de una bóveda vaída, y así sería posible que las sucesivas hiladas de dovelas fueron formando cuadrados concéntricos hacia la clave de la bóveda. En realidad, para que ello suceda, lo que realmente se está haciendo es colocar las hiladas de dovelas en círculos alrededor de los ejes horizontales que unen los centros de los arcos (Figs. 7 y 17). Esta es la razón por la que para obtener los patrones de sus dovelas, ha de procederse como de costumbre salvo que esta vez los vértices de los conos que han de servir para el desarrollo de las sucesivas hiladas han de buscarse sobre el eje horizontal.

Por último, sería factible hacer girar las dovelas alrededor de los ejes diagonales de la planta, sin que por ello variara sustancialmente la forma en que han de sacarse sus patrones que

pasarían, ahora, a desarrollarse sobre las diagonales. El dibujo de las hiladas de dovelas, sobre la superficie redonda de la bóveda, pasa a formar cuadrados girados 45° respecto a la planta de la misma, provocando un nacimiento en abanico de las dovelas a partir del plano de impostas (Figs. 8 y 14). Es de advertir cómo el uso del baibel a la hora de proceder a la talla de estas bóvedas es idéntico para los tres casos expuestos. En realidad, si se mantuvieran iguales las dimensiones de las plantas e idéntico reparto por hiladas, los mismos patrones y el mismo baibel podrían servir para tallar los tres tipos de bóvedas, lo único que cambiaría sería la forma en que van a colocarse las dovelas.

Estas variaciones y las combinaciones que entre ellas puedan darse añaden nuevas posibilidades expresivas a los diseños decorativos de las bóvedas, y en tal sentido resulta sumamente interesante examinar nuevamente las bóvedas de la catedral de Jaén (Fig. 11). Esta catedral, aunque terminada en fechas muy posteriores a la muerte de Andrés de Vandelvira⁷ conserva hasta el final buena parte del espíritu constructivo que siempre presidió la obra de este arquitecto y, así, resulta asombroso contemplar el habilidoso juego que el dovelaje dibuja alternativamente en cada una de las bóvedas que la cubren.

El diseño de la decoración

El ejemplo de la catedral de Jaén resulta especialmente adecuado para comprender las posibilidades expresivas que el arte de cubrir bóvedas en piedra fue capaz de alcanzar. No obstante, podría profundizarse aún más por esta vía, distinguiendo dos tipos de diseños decorativos. En primer lugar, podrían citarse todos aquellos en que, como en el caso de las bóvedas de Jaén, el diseño de la decoración es susceptible de adaptarse a un posible reparto de las hiladas del dovelaje. En segundo lugar, estarían todas aquellas bóvedas cuya decoración hace imposible adaptarlas a un posible despiece de hiladas. Ejemplo de la primera posibilidad sería el representado en la figura 9. Se trata de una bóveda mixta, ya que, en la clave, las distintas bandas decorativas describen círculos alrededor del eje vertical, mientras que, llegado a un punto, la decoración comienza a describir cuadrados concéntricos —en realidad, como sabemos, círculos

had its roots buried deeply in old, medieval traditions, to which we have already made reference for other reasons.

The Bevel

Once the patterns have been obtained, the next step is to reveal how the cutting of each voussoir was achieved. In order to facilitate the carving work, it was necessary to manufacture a very clever instrument: the bevel (Fig. 1). It is a square with two fixed extensions joined together at their vertex; one of them must be cut with the same curvature as the vault, while the other, which is straight, has to be placed in the position of the radius. Figure 4 can orient us as to the way in which the bevel must move and, so, orient the stone mason as to the parts which must be chipped off. It is a matter, then, of tracing the pattern of the voussoir in the first place, by drawing it in its natural size, on one of the sides of the container prism. Then, the worker must proceed to *pass* the bevel, placed in a horizontal position, from top to bottom, turning the angle of the instrument throughout the lateral line of the pattern. This movement causes the lateral splay of one side. By inverting now the position of the bevel, the splay of the other side is obtained. Then, it is placed in a vertical position and, with great care in order to keep the angle of the instrument true to the curved silhouettes of the

upper and lower parts of the pattern, it is moved and rotated between the planes of the two lateral sides. This will make the sides come out concave and convex respectively on the upper and lower part of the voussoir, and will also produce the spherical concavity of the inside of the voussoir (Fig. 2).

The bevel turns out to be once again an instrument of the medieval past. In this sense, it should be pointed out that thanks to the bevels, the carving of the linear voussoirs intended for the construction of complicated ogival vaults was made possible and the carving of the precise curvature of its arches was also facilitated (Fig. 5). The bevel in the Renaissance would reach the height of its possibilities when it made possible the carving of superficial elements.

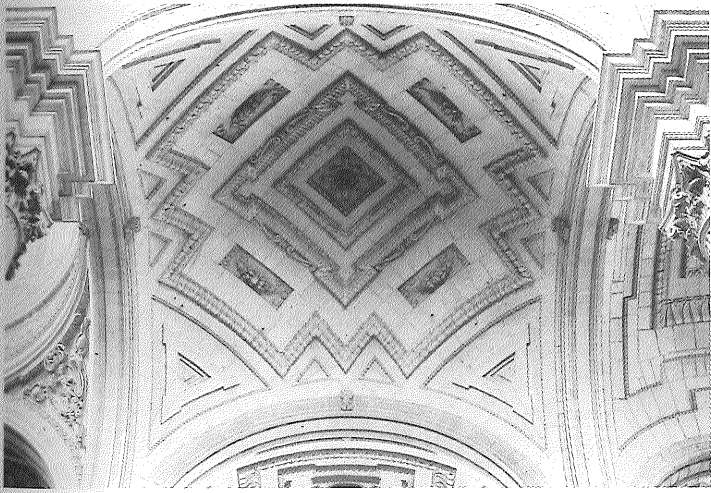
As we have shown in the previous paragraph, the carving of the voussoirs required that the patterns first be sketched in their natural size. From this fact, which might at first appear to be trivial, some interesting observations can be derived. We think that the tracing of the patterns is an operation which in principle would have to be done by the architect on a drawing board, obviously in a reduced scale. Therefore, a change in the scale of the patterns obtained must be made so that they can be valid for the carving. This

operation has to be done by re-sketching once again but in real size, the designs which the architect has proposed, if the builders wish to avoid any risks of disastrous consequences derived from a possible error. Consequently, we have to imagine the Renaissance work accompanied by gigantic drawings made on the pavement or walls of the very building under construction. This supports the definition which B. Bails gives to the archaic name of the art of the working drawing as "the drawing which is made of a life size vault on a wall or floor in order to take the measurements and shapes of its different parts"⁸.

The Autonomy of the Voussoirs

Once the fundamental aspects concerning the carving of the conch domes have been clarified, the field of architectonic elements which remains within our scope turns out to be extraordinary. From among them, we will pay special attention to the truncated vaults. From these vaults, it will be possible to notice some unique characteristics of great interest which would permit the master stone mason to introduce variables of extraordinary effect on the design of his vaults.

Among the truncated vaults, the most frequent one is that in which the rows of voussoirs are arranged horizontally, to



14.

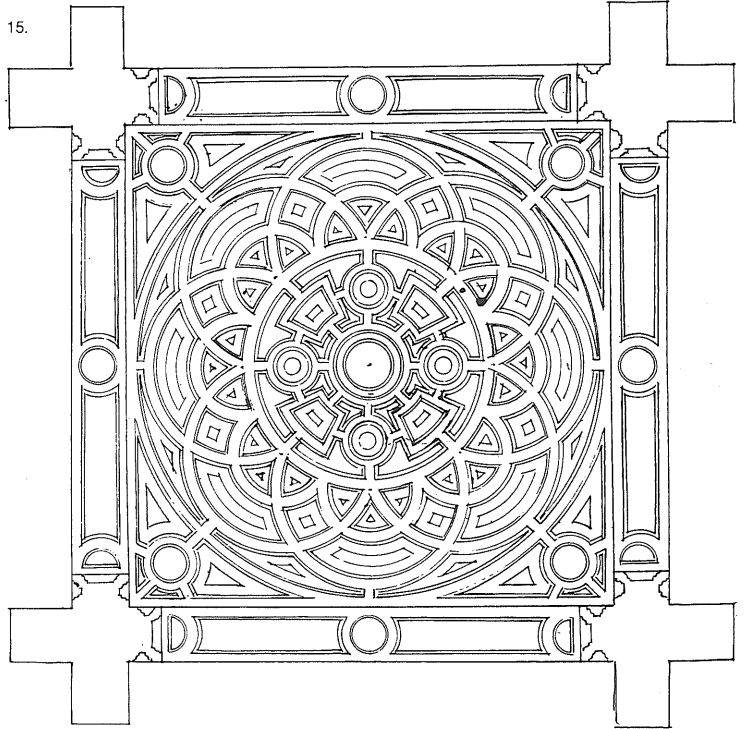
14. Bóveda cuadrada de la Catedral de Jaén.

Dibujos 15 y 16.

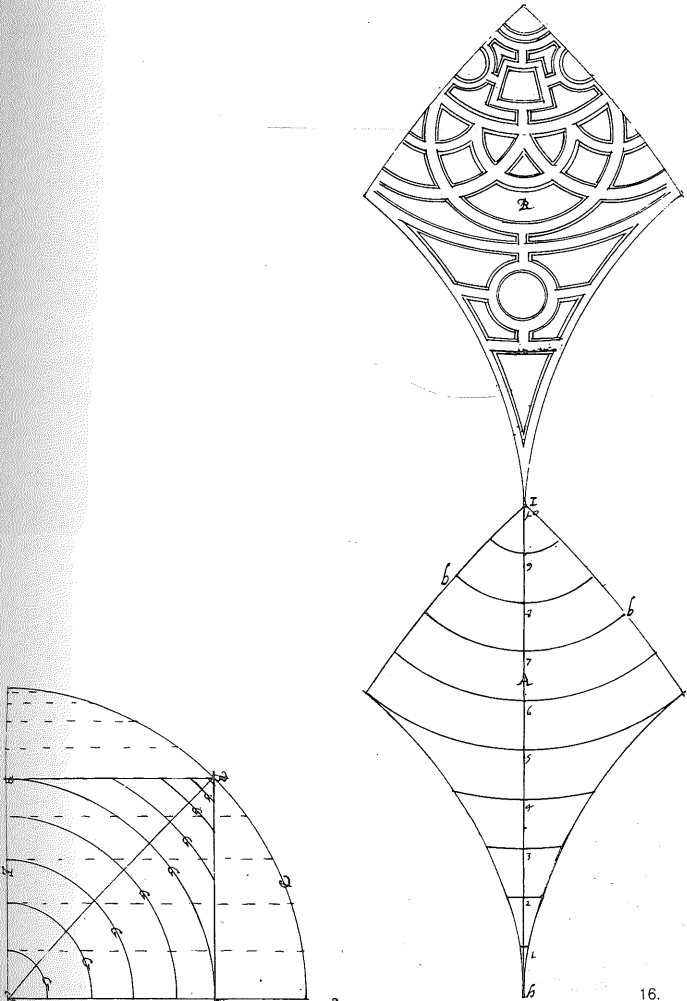
esta bóveda cuadrada y entera y de lo de entender cada su parte y por que
 en sus facetas se confunde de que abranca se figura A. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura B. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura C. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura D. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura E. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura F. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura G. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura H. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura I. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura J. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura K. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura L. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura M. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura N. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura O. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura P. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura Q. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura R. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura S. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura T. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura U. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura V. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura W. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura X. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura Y. que de muestra la guada
 por que esta bóveda entera se figura Z. que de muestra la guada

15 y 16. Dibujos del manuscrito de A. de Vandelvira.

17. Bóveda váida por hiladas cuadradas. Iglesia parroquial de Huelva. A. de Vandelvira.



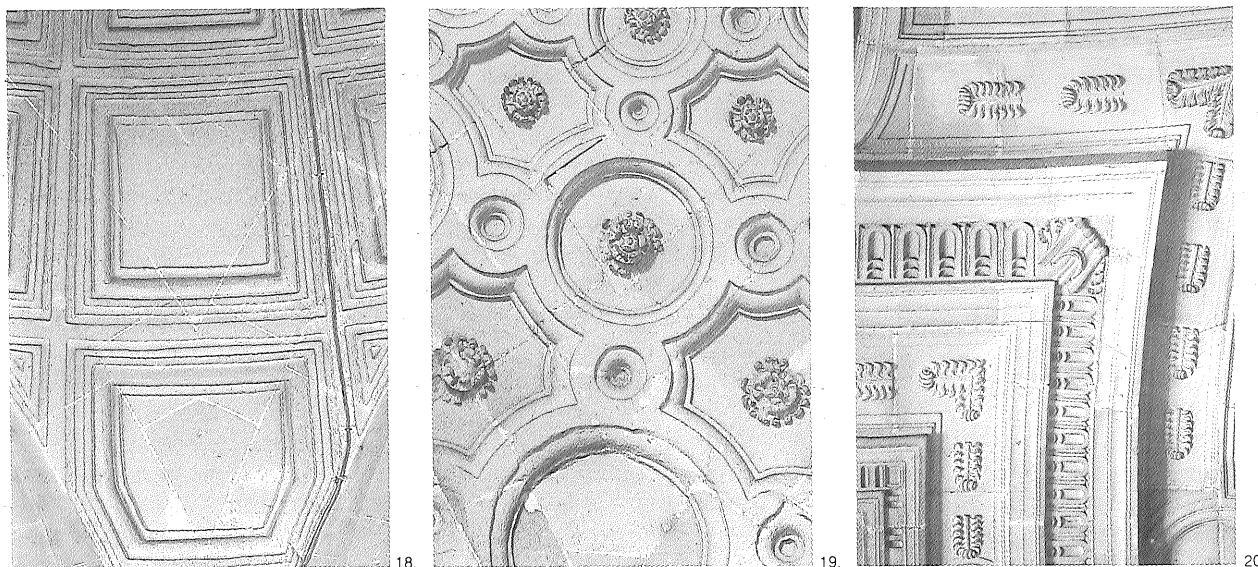
15.



16.



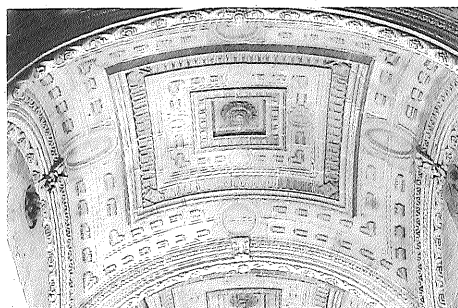
17.



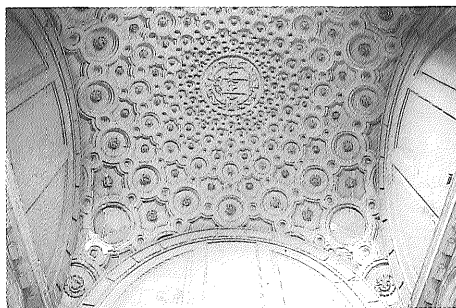
18, 19, 22 y 23. Real Casa Lonja de Sevilla, Diversas bóvedas de la galería alta.

20. Enlace entre hiladas mostrando sus diferentes dimensiones en las bóvedas de la sacristía de El Salvador de Ubeda.

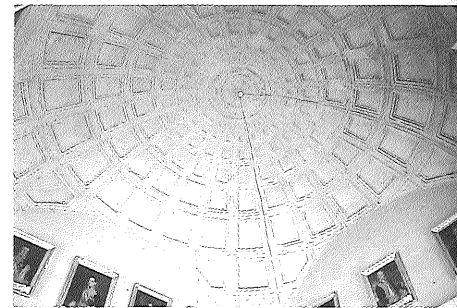
21. Bóveda por hiladas cuadradas decorada en la sacristía de El Salvador de Ubeda.



21.



22.



23.

form circles around the vertical axis. The design of its patterns, in view of what we have already pointed out, does not involve any great difficulty. It would be sufficient to develop conical surfaces of vertices located on the vertical axis. The problem of the mitre joints which this type of vault forms between the support arches is easy to resolve, as long as the measurements of the affected joints can be taken directly from a simple drawing of the vault and then transferred with precision to the patterns (Fig. 6).

However, this is not the only arrangement of the voussoirs of a truncated vault, and thus it would be possible that the successive rows of voussoirs were forming concentric squares towards the keystone of the vault. In reality, in order for this to happen, what must really be done is the placement of the rows of voussoirs in a circle the horizontal axes which join the centers of the arches (Figs. 7 and 17). This is the reason why, in order to obtain the patterns of its voussoirs, it is necessary to proceed as is customary except that this time the vertices of the cones which have to serve for the development of the successive rows have to be found on the horizontal axis.

And finally, it would be feasible to make the voussoirs turn around the diagonal axes of the plan, without having to substantially vary the manner in which the patterns must be

made, which would now be developed on the diagonals. The drawing of the rows of voussoirs on the round surface are of the vault would now form squares turned at 45° angles in relation with the plan of the same. This would cause the creation of voussoirs in the form of a fan starting from the plan of impostes (Fig. 8). It should be pointed out how the use of the bevel at the time of caring these vaults is identical in the three cases put forth. In reality, if the dimensions of the plans are kept the same and the rows distributed in an identical manner, the same patterns and the same bevel could be used to carve the three types of vaults. The only thing that would change would be the way in which the voussoirs are going to be placed.

These variations and the combinations which can be given between them add new expressive possibilities to the decorative designs of the vaults and in this sense, it would prove very interesting to examine once again the vaults of the Cathedral of Jaén (Fig. 11). This Cathedral, though it was finished some time after the death of Andrés de Vandelvira⁷, conserved until the end a good part of the constructive spirit which has always been present in this architect's work. Thusly, it is surprising to see the skilled manner in which the voussoirs are drawn in an alternative manner on each one of the vaults which cover it.

The Design of the Decoration

The example of the Cathedral of Jaén is especially appropriate for understanding the expressive possibilities which the art of covering vaults in stone was capable of attaining. However, we could delve deeper in this direction, by distinguishing two types of decorative designs. In the first place, we could mention all those in which, as in the case of the vaults of Jaén, the design of the decoration is susceptible to being adapted to a possible distribution of the rows of the voussoirs. The second example would include all of those vaults whose decoration made it impossible to adapt them to a possible breakdown of rows. An example of the first possibility would be that represented in Figure 9. It is a question of a mixed vault, for in the keystone, the different decorative bands describe circles around the vertical axis, until the point where the decoration begins to describe concentric squares—in reality, as we know, circles around horizontal axes—which join the centers of the arches together. These vaults require a fragmentation according to rows coinciding with each one of the decorative bands and its patterns will have to be obtained according to the rotational axis of each row. Thus, the rounded ones are obtained with the aid of the vertical axis, while the square ones are taken from the appropriate conical developments of the vertices located on the horizontal.

alrededor de los ejes horizontales— que unen los centros de los arcos. Estas bóvedas requieren una fragmentación por hiladas coincidentes con cada una de las bandas decorativas y sus patrones habrán de obtenerse según el eje de giro de cada hilada. Así pues, las redondas se sacarán con ayuda del eje vertical, mientras que las cuadradas se sacarán a partir de los oportunos desarrollos cónicos de vértices situados sobre los ejes horizontales.

Podría compararse el ejemplo anteriormente expuesto con una de las conocidas bóvedas que Andrés de Vandelvira construyera en la Sacristía del Salvador de Ubeda, de factura muy similar a la anteriormente expuesta (Fig. 21). Ciertamente es que la bóveda de Vandelvira es de traza homogénea, es decir, se trata de un reparto por hiladas cuadradas en toda su superficie, pero su dificultad se deriva de una particularidad aparentemente inocente, cual es el hecho de que la planta de esta bóveda sea rectangular. Ello obliga a que, siendo forzoso conservar el mismo número de hiladas en una y otra dirección, las hiladas paralelas al lado menor de la bóveda han de ser más anchas que aquellas que se mantienen paralelas al lado más largo del rectángulo de la planta; una observación atenta de la bóveda revela inmediatamente este detalle (Fig. 20). Así pues, el tracista se verá obligado, a la hora de resolver esta bóveda, a sacar dos juegos de patrones, uno para las dovelas colocadas en las hiladas paralelas al eje mayor y otro para aquellas hiladas que discurren paralelas al eje menor muestra una bóveda de planta rectangular resuelta por hiladas cuadradas en la cual se han sacado las dos familias de patrones al objeto de apreciar en toda su magnitud la meticulosidad de este proceso.

En segundo lugar, hemos de detenernos en todos aquellos diseños decorativos que por su complejidad resulta difícil, si no imposible, hacerlos coincidir con alguno de los despieces de hiladas anteriormente expuestos. El propio Alonso de Vandelvira nos mostrará cómo construir este tipo de bóvedas (Figs. 15 y 16). Consiste, como puede apreciarse en los dibujos en efectuar una extensión por puntos de un cuarto de dicha bóveda. La propia ejecución de este dibujo nos da la fragmentación de patrones por hiladas, bastará con construir sobre él la parte de la decora-

ción que le corresponda para obtener, una vez troceado convenientemente, uno por uno los patrones de todas las dovelas con la porción exacta del dibujo decorativo que les afecte.

Por último, quedarían por precisar algunos aspectos concernientes a la talla propiamente dicha del conjunto de la bóveda. En términos generales, se podrían seguir pautas similares a las expuestas con anterioridad (Fig. 24) si bien el trabajo ahora debe alcanzar una precisión extraordinaria, ya que las dovelas habrán de tallarse con toda la decoración para, posteriormente, efectuar un montaje del conjunto. También sería factible construir la bóveda con su intradós liso y a continuación proceder a *calcar* el dibujo, extendiendo los patrones sobre la superficie de la misma, tras lo cual, con una técnica de bajorrelieve, se procedería a resaltar el diseño decorativo.

Resulta difícil establecer por cuál de estos procedimientos fueron llevadas a cabo las extraordinarias bóvedas de la galería alta del Archivo de Indias de Sevilla. A pesar de lo cual constituyen un magnífico ejemplo que refleja como pocos la puesta en práctica de esta segunda variante para llevar a cabo la implantación de la decoración sobre la superficie de una bóveda (Figs. 18, 19, 22 y 23). En este edificio el virtuosismo de Minjares⁸ llega hasta el extremo de efectuar los despieces de las bóvedas huyendo de un posible acuerdo con el diseño decorativo, incluso en aquellas en que ello hubiera sido posible. Sin duda alguna, estas bóvedas nos están hablando de una cantería extremadamente refinada en la cual la precisión y racionalización de un trabajo realizado en taller se encuentra ya a años luz de un simple trabajo de desbastado de dovelas.

Los anteriores ejemplos de Jaén y Sevilla ilustran con extraordinaria delicadeza el juego entre la forma y el soporte constructivo. Las posibilidades expresivas de ambas opciones podrán en ocasiones ser coincidentes en sus fines, pero, también es verdad, que la propia divergencia de intereses constituye ahora como entonces un sujeto con intrínsecas cualidades que en ocasiones cobra una imperiosa necesidad de expresarse. Las manieristas bóvedas sevillanas nos hablan ya de estos sutiles eclecticismos.

The previously discussed example could be compared to one of the known vaults which Andrés de Vandelvira constructed in the Sacristy of the Church of El Salvador in Ubeda, which was of very similar lines to the one discussed (Fig. 15). It is true that Vandelvira's vault is of homogeneous design, that is, it was a matter of a distribution according to square rows throughout the entire surface, but its difficulty is derived from an apparently innocent peculiarity, which was the fact that the plan of this vault was rectangular. As it was obligatory to conserve the same number of rows in both directions, it was necessary to make the rows which were parallel to the smaller side of the vault wider than those which were parallel to the longer side of the rectangle of the plan. A careful observation of the vault immediately reveals this aspect (Fig. 20). Thus, the designer found himself obliged, when resolving this vault, to produce two sets of patterns, one for the voussoirs placed in the rows parallel to the longer axis and another for those rows which extended parallel to the shorter axis. Figure 10 shows a vault of a rectangular lay-out, resolved by square rows in which two families of patterns have been made in order to appreciate the meticulousness of this process in all its magnitude.

In the second place, we have to study all of those decorative designs which, due to their complexity, turn out

to be difficult, if not impossible to make them coincide with one of the breakdowns of rows already discussed. Alonso de Vandelvira himself showed us how to construct this kind of vault (See Fig. 15 and 16). It consists, as we can see in the drawings, of making an extension of points along one-fourth of said vault. The execution itself of this drawing gives us the fragmentation of patterns according to the rows. Then, it would be enough to construct upon it, that portion of the decoration which corresponds. Once it has been broken down, we would obtain, one by one, the patterns of all the voussoirs with the exact portion of the decorative drawings which affect them.

And finally, certain aspects pertaining to the carving itself of the whole of the vault would have to be established. In general terms, similar rules could be followed to those which we have put forth above (Fig. 24). However, the work must now reach an extraordinary precision, for the voussoirs will have to be carved with all the decoration in order to then carry out an assembly of the whole. It would also be possible to construct the vault with a smooth intrados and then proceed to trace the drawing, extending the patterns on the surface area of the same, after which, with a bas-relief technique, the decorative design would then be emphasized.

It is difficult to establish which of these procedures was

used to carry out the extraordinary vaults of the high gallery of the Archives of the Indies in Seville. This is indeed a magnificent example which reflects as few do the setting into practice of this second variation in order to carry out the introduction of the decoration on the surface area of a vault (Fig. 18, 19, 22 and 23). In this building, Minjares' virtuosity⁸ reaches the extreme of carrying out the breakdowns of the vaults, by avoiding reaching any kind of a possible agreement with the decorative design, even in those cases in which it would have been possible to do so. Without any doubt, these vaults are telling us about an extremely refined stone hewing in which the precision and rationalization of a task carried out in the workshops was light years away from the simple work of rough-hewing of the voussoirs.

The previous examples of Jaén and Seville illustrate with extraordinary care the relationship between the form and the constructive support. The expressive possibilities of both options could on occasions be coincidental in their ends, but, it is also true, that the very divergence of interests, constitutes nowadays as then, a subject with intrinsic qualities which on occasions takes on an imperative need to express itself. The Mannerist vaults of Seville tell us of these subtle eclecticisms.

José Carlos Palacios Gonzalo

Notas

1. Véase B. Bails: *Arquitectura Civil*, 1783. Ed. Fac. 1987, con estudio crítico de Pedro Navascués. Edit. del Colegio Oficial de Aparejadores de Murcia.

2. El único tratado de estereotomía que logra editarse es de Philibert de L'Orme. *Architecture*, París, 1567. En nuestro país, por el contrario, los manuscritos que se conservan jamás llegaron a traspasar la barrera de la edición. No obstante, constituyen la más amplia aportación bibliográfica europea sobre este tema. Véase Alonso de Vandelvira: *Libro de las trazas...*; Ed. Fac. G. Barbé: *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*, Albacete, 1977; P. Navascués: *Libro de Arquitectura*, de Hernán Ruiz el Joven, Madrid, 1974; Ginés Martínez de Aranda: *Cerramientos y trazas de montea*, Ed. Fac. mismo título con introducción de A. Bonet, Biblioteca CEHOPU, Madrid, 1986.

3. Gómez Moreno, Manuel: *Aguilas del Renacimiento español*, Instituto Diego Velázquez, C.S.I.C., 1941, 2ª ed. Xarait, 1983.

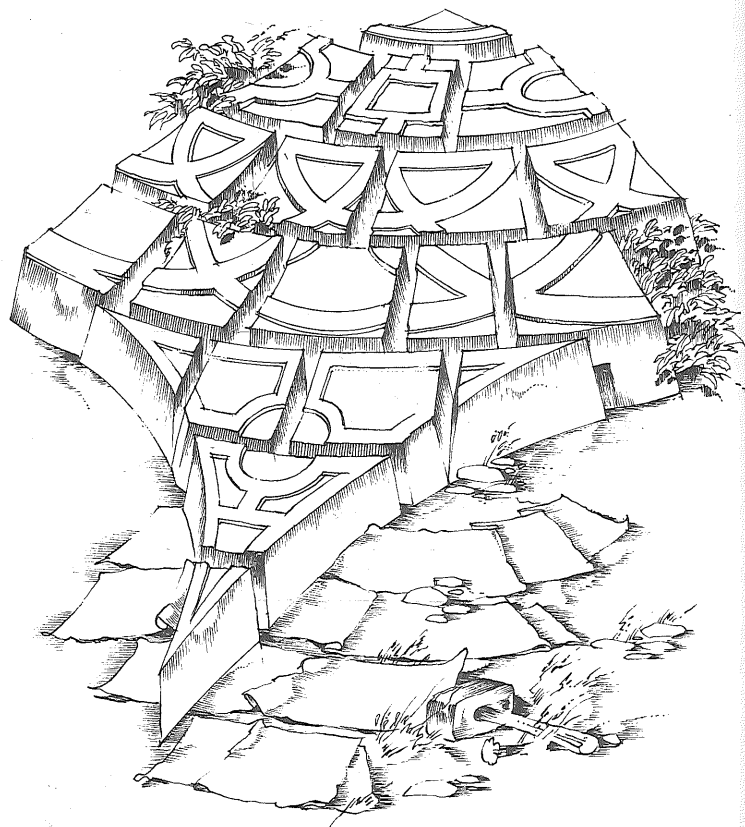
4. Véase al respecto los dos tratados de más amplia difusión en el Barroco en nuestro país: Fray Lorenzo San Nicolás: *Arte y uso de la arquitectura*, 1633. Rieger, Chetrien: *Elementos de toda Arquitectura civil*, Madrid, 1763, Ed. Fac. Colegio de Arquitectos T. de Zaragoza.

5. El auge que la cantería tomó en España provocó, seguramente, que fuera en este país donde la geometría descriptiva encuentra sus puntos de partida, al menos en la parte concerniente al sistema diédrico de proyección.

6. B. Bails: *Diccionario de Arquitectura Civil*, 1802, Madrid. La misma nota es recogida por A. Bonet Correa en su presentación al libro de Ginés Martínez de Aranda.

7. Sobre la intervención de A. de Vandelvira en la catedral de Jaén, véase Chueca, Fernando: *Andrés de Vandelvira, Arquitecto*, Jaén, Instituto de Estudios Jienenses, Excm. Diputación de Jaén, 1971.

8. El Archivo de Indias, antigua Lonja, se construyó entre 1582 y 1598 bajo las trazas de J. de Herrera, siendo Juan de Minjares quien corrió a cargo de la construcción del edificio. Véase *Ars Hispaniae*, Tomo XI, *Arquitectura del siglo XVI* por Chueca, Fernando, pg. 377. Recientes estudios de Alberto Humanes atribuyen la construcción de las bóvedas a Miguel de Zumárraga bajo diseños del propio Alonso de Vandelvira. Véase: *De la Real Casa Lonja de Sevilla al Archivo General de Indias*, publicado en La América Española en la época de Carlos III, Ministerio de Cultura, 1985.



NOTES

1. See B. Bails: *Arquitectura Civil*, 1783. Ed. Fac. 1987 with a critical study by Pedro Navascués. Edited by the Colegio Oficial de Aparejadores de Murcia.

2. The only treatise on Stereotomy which manages to get edited is by Philibert de l'Orme; *Architecture*, Paris 1567. In our country, to the contrary, the manuscripts which are conserved, never managed to cross the publication barrier. However, they constitute the most extensive contribution of European bibliography on this subject. See Alonso de Vandelvira's *Libro de las trazas*; Ed. Fac. G. Barbé: *Tratado de Arquitectura de Alonso de Vandelvira*, Albacete, 1977; P. Navascués, *Libro de Arquitectura de Hernán Ruiz el Joven*, Madrid, 1974; Ginés Martínez de Aranda: *Cerramientos y trazas de montea*, Ed. Fac., the same title

with an introduction by A. Bonet, Biblioteca CEHOPU, Madrid, 1986.

3. Gómez Moreno, Manuel: *Aguilas del Renacimiento español*, Instituto Diego Velázquez, C.S.I.C. 1941, 2nd edition Xarait, 1983.

4. See in relation with this point the two treatises of the most widespread circulation on the Baroque style in our country: Fray Lorenzo San Nicolás: *Arte y uso de la Arquitectura*, 1633. Rieger, Chetrien: *Elementos de de toda arquitectura civil*, Madrid, 1763, Ed. Fac. Colegio de Arquitectos, T. de Zaragoza, 1986.

5. The boom of stone hewing in Spain was surely the reason why it was in this country that Descriptive Geometry found its roots, at least in the part concerning the dihedral system of projection.

6. B. Bails: *Diccionario de Arquitectura civil*, 1802, Madrid. The same note is reflected by A. Bonet Correa in

his introduction to the book by Ginés Martínez de Aranda.

7. On the intervention of A. de Vandelvira in the Cathedral of Jaén, see Chueca, Fernando: *Andrés de Vandelvira, Arquitecto*, Jaén, Instituto de Estudios Jienenses, Excm. Diputación de Jaén, 1971.

8. The Archives of the Indies, the former *Lonja* was constructed between 1582 and 1598 in accordance with the designs of J. de Herrera and Juan de Minjares who took charge of the construction of the building. See *Ars Hispaniae*, Volume XI *Arquitectura del siglo XVI* by Chueca, Fernando, p. 377. Recent studies by Alberto Humanes attribute the construction of the vaults to Miguel de Zumárraga in accordance with designs by Alonso de Vandelvira himself. See: *De la Real Casa Lonja de Sevilla al Archivo General de Indias*, published in La América Española, in the epoch of Carlos III, Ministry of Culture, 1985.

