



MODULACIÓN, TIPOLOGÍA DE TRAMAS Y AJUSTE A LOS LÍMITES EN LA METROLOGÍA ARQUITECTÓNICA CLÁSICA

MODULATION, TYPOLOGY OF FRAMES AND ADJUSTMENT TO THE LIMITS IN THE CLASSIC ARCHITECTURAL METROLOGY

Francisco Roldán



A partir de los resultados obtenidos en el estudio gráfico del trazado del edificio del Cuarto Real de Santo Domingo de Granada, España (Roldán 2011), se abre un ingente campo de trabajo sobre el estudio y análisis del posible uso del sistema de doble escala en la arquitectura antigua.

Planteamos, en un primer estadio, caracterizar las peculiaridades del sistema con objeto de profundizar en su investigación para poder dilucidar el conocimiento, que no ha sido preservado, aprovechando las implicaciones gráficas y de representación que demanda el esquema metroológico detectado, la variedad tipológica que presentan sus tramas modulares, y el ajuste a los límites de cada diseño.

Mediante iconos tan sencillos como una escuadra se justifican todas las tramas, tanto estáticas como dinámicas, que modulan el edificio. El ajuste por aproximación permite una enorme versatilidad de diseño y soluciona además aspectos técnicos.

Palabras clave: Modulación; proporción; metrología; historia de la arquitectura; construcción

The results obtained in the graphic analysis of the modulation of the Cuarto Real de Santo Domingo building in Granada, Spain, (Roldán 2011) have provided new insights to further researches on the possible use of double-scale in ancient architecture.

We propose the characterization of the singularities of the system in order to be able to elucidate the knowledge which has not been preserved, taking advantage of the implications and graphic representation required by the metrological scheme identified, the variety of typologies that are presented in their modular frames, as well as the adjustment to each design limits.

By means of icons as simple as a half square all frames both static and dynamic which modulate ancient buildings can be justified. The adjustment approach allows a wide versatility of design and resolves some technical aspects.

Keywords: Modulation; proportion; metrology; architectural history; construction



1. Unidades clásicas de medidas de longitud.
2. Fotografía del interior del *Cuarto Real de Santo Domingo*.

1. Classic length units.
2. Interior view of *El Cuarto Real de Santo Domingo*.

Introducción

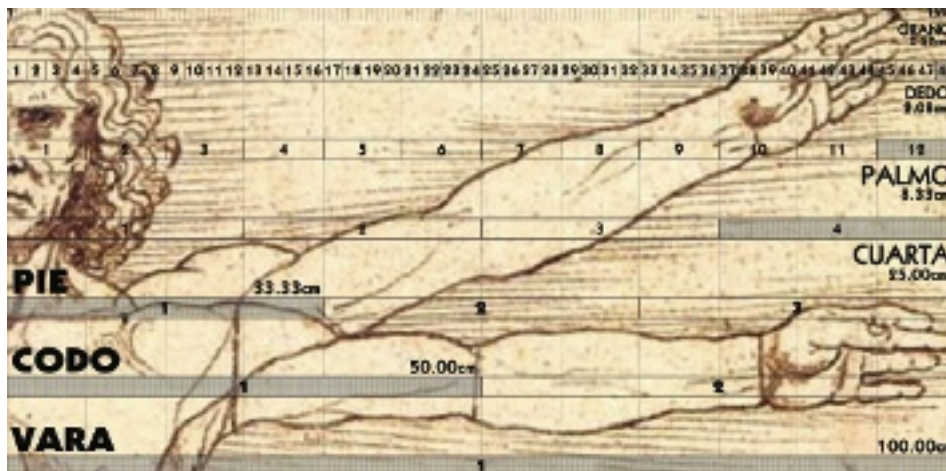
De los resultados del estudio gráfico de modulación y unidades métricas utilizados en el trazado del edificio del Cuarto Real de Santo Domingo de Granada, España (Roldán 2011), se deduce que el sistema clásico de medidas y proporciones se basaba en una doble escala: una base –la vulgar de unidades antropométricas– y otra mayor que es proporcional a la primera en razón de la raíz de dos $-\sqrt{2}-$.

La conocida como proporción sagrada no solo se utilizaba en el trazado de plantas, secciones, alzados, techos y detalles decorativos *ad quadratum* o “en cuadratura” (Ruiz de la Rosa 1996), sino que formaría parte del mismo sistema metrológico. Éste no sólo admitiría módulos de la serie duodecimal –las unidades clásicas de Vitrubio (Rodríguez Ruiz y Ortiz y Sanz 2007) (Fig. 1)–, sino que abarcaría también la serie pitagórica. Ambas escalas se pueden usar separadamente en tramas estáticas o mezclar en tramas dinámicas.

Mediante este sistema, y herramientas tan sencillas como una regla doble o la clásica escuadra, se pueden trazar correctamente los diseños *ad quadratum* en tramas dinámicas poligonales propias de la decoración con estrellas de 8 puntas (Nuere 1990), y además modular las dimensiones generales y el resto de motivos ornamentales.

El modelo de referencia

El Cuarto Real de Santo Domingo es un pequeño edificio del siglo XIII que constituye un espléndido ejemplo de arquitectura hispano-musulmana, y es un valioso referente para el desarrollo de los modelos arquitectónicos y decorativos nazaríes utilizados posteriormente en La Alhambra (Orihue-



1

la Uzal 1996). Su único espacio conservado (Fig. 2) cuenta con una rica decoración en techos y paredes, entre la que destaca el más antiguo artesonado con diseños de lazo apeinado de que se tenga constancia (Rodríguez Trobajo 2008), y los azulejos andalusíes más antiguos conservados (Alvaro Zamora 2007).

Introduction

From the results obtained through out the graphic study on modulation and metric units used in the layout of *El Cuarto Real de Santo Domingo* building at Granada, Spain (Roldán 2011), it is observed that the classical system of measures and ratios was based on a double scale: the basis –the common anthropometric units–; and a second which is proportional to the first as the square root of two $-\sqrt{2}-$.



2

3. Tipología de tramas.

3. Typology of frames.

The ratio known as sacred would have been used not only in the layout of floor plans, sections, elevations, ceilings and *ad quadratum* or quadrature decorative details (Ruiz de la Rosa 1996), but also it would form part of the Metrologic system itself. This would admit not only modules of duodecimal series –the classical units of Vitruvius (Rodríguez Ruiz and Ortiz y Sanz 2007) (Fig. 1)–, but it would cover the Pythagorean series as well. Both scales can be used separately in static frames or be mixed in dynamic frames.

Using this system, with tools as simple as a double-scale ruler or the classic half-square, we can correctly plot *ad quadratum* designs in polygonal dynamic frames characteristic of the decoration with 8-pointed stars (Nuere 1990). Furthermore we can modulate the overall dimensions and the rest of ornamental motifs.

The reference model

El Cuarto Real de Santo Domingo is a small building dated back to the XIII century that constitutes a splendid example of the Hispanic-Muslim architecture it is a valuable reference for the development of Nasrid architectural and decorative models used later in *La Alhambra* (Orihuela Uzal 1996). Its only surviving space (Fig. 2) includes richly decorated ceiling and walls, among which are highlighted as the oldest wooden coffering with *lacería* designs known (Rodríguez Trobajo 2008), as the oldest Andalusian tiles (Alvaro Zamora 2007).

The basis of measurement

To obtain accurate and reliable graphic results it is necessary to make a complete and proper graphical representation of the building, which should form the metric basis of reference throughout the whole process.

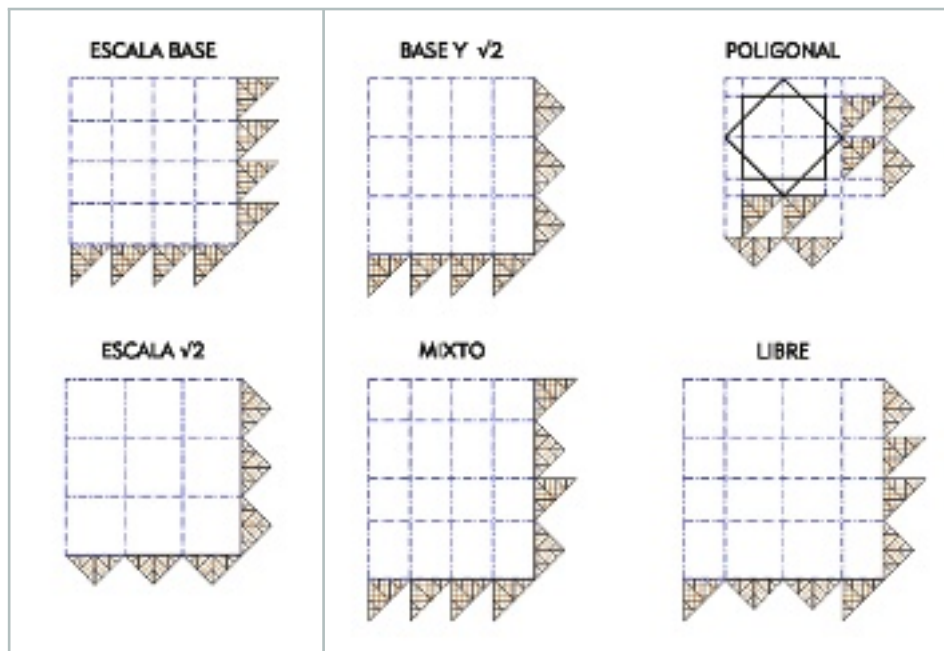
In this case a digital copy has been used in vectorial format of the exhaustive and detailed photogrammetric survey, performed by the School of Arabic Studies of the CSIC (Almagro and Orihuela Uzal 1997).

Computer-Aided Design

Graphic processes necessary for the accurate determination of the layouts intended could be greatly simplified with the use of Computer-Aided Design vectorial program –AutoCAD– since the affinity operations to perform are

TRAMAS ESTÁTICAS

TRAMAS DINÁMICAS



3

La base métrica

Para obtener unos resultados gráficos precisos y fiables es necesario partir de una correcta y completa representación gráfica del edificio, que debe constituir la base métrica de referencia en todo el proceso. Y sobrepuestas a ella se deben representar siempre las modulaciones deducidas.

En nuestro caso se ha utilizado una copia digital en formato vectorial del exhaustivo y detallado levantamiento fotogramétrico, realizado por la Escuela de Estudios Árabes del CSIC (Almagro y Orihuela Uzal 1997).

Diseño asistido por ordenador

Los procesos gráficos necesarios para la determinación precisa de los trazados que se pretenden obtener se simplifican enormemente con el uso de programas vectoriales de diseño asistido –AutoCAD–, puesto que las operaciones de afinidad a realizar se basan en sucesivos tanteos y sus correspondientes comprobaciones. Se elimina así la imprecisión en la determinación de puntos que presenta la mayoría de los estudios realizados mediante técnica

manual. Como apoyo se han utilizado también fotografías de elementos concretos orto proyectadas mediante software Adobe Photoshop.

Representación

Los resultados se expresan a base de escuadras de 45°, triángulos rectángulos isósceles cuyos catetos e hipotenusas permiten una representación gráfica intuitiva de las modulaciones dinámicas √2.

En ocasiones se acotan dimensiones parciales y totales, con expresión numérica de sus valores en función de la unidad de medida especificada. Contienen un solo término cuando el elemento se dimensiona estáticamente –solo catetos o hipotenusas de las escuadras–, o son binomios cuando se realiza dinámicamente.

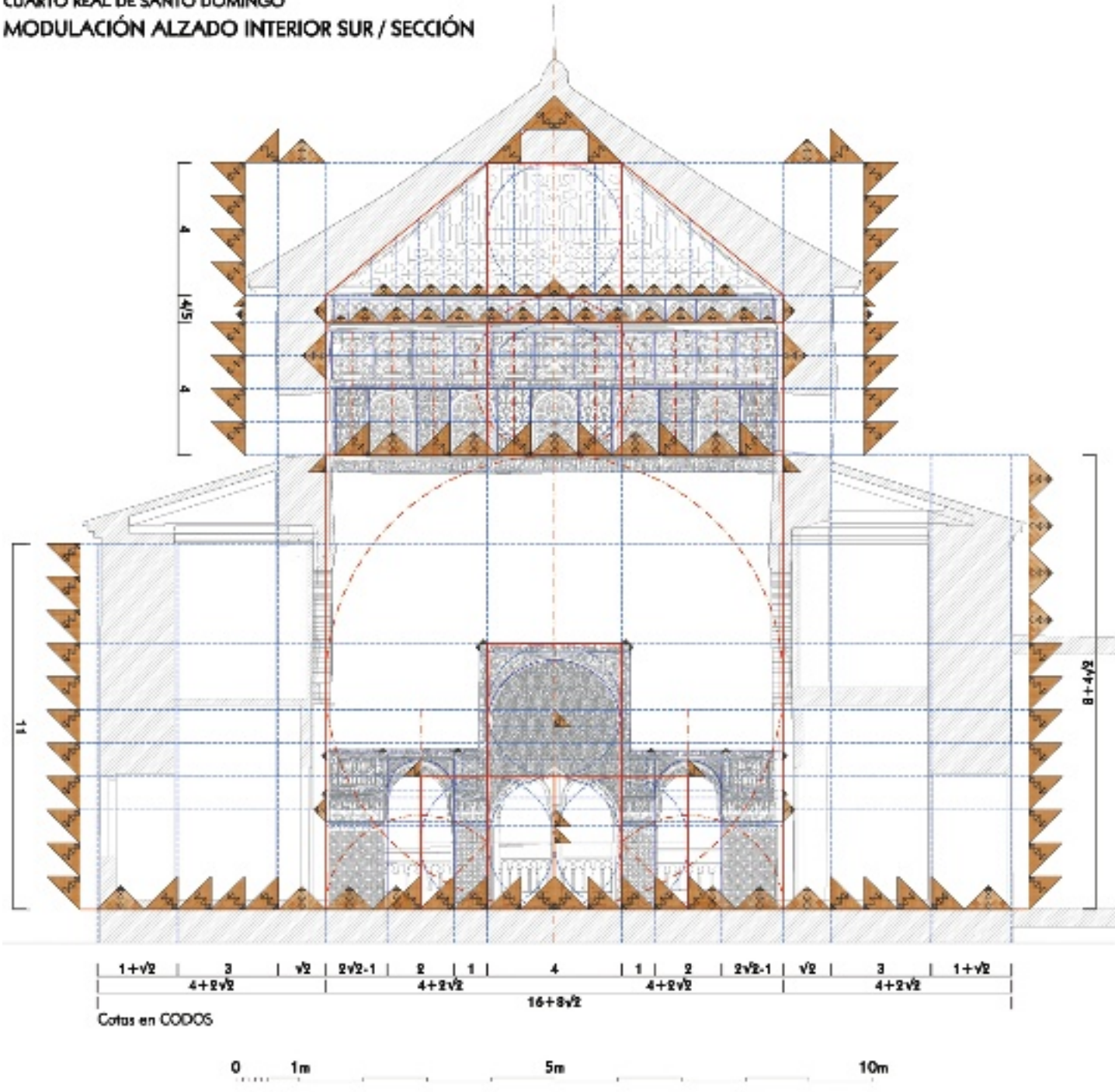
Tipología de tramas modulares y ajuste a los límites

Las adiciones de módulos y de motivos patrón generan tanto tramas estáticas o armónicas basadas en unidades de la escala base o de la √2, como tra-



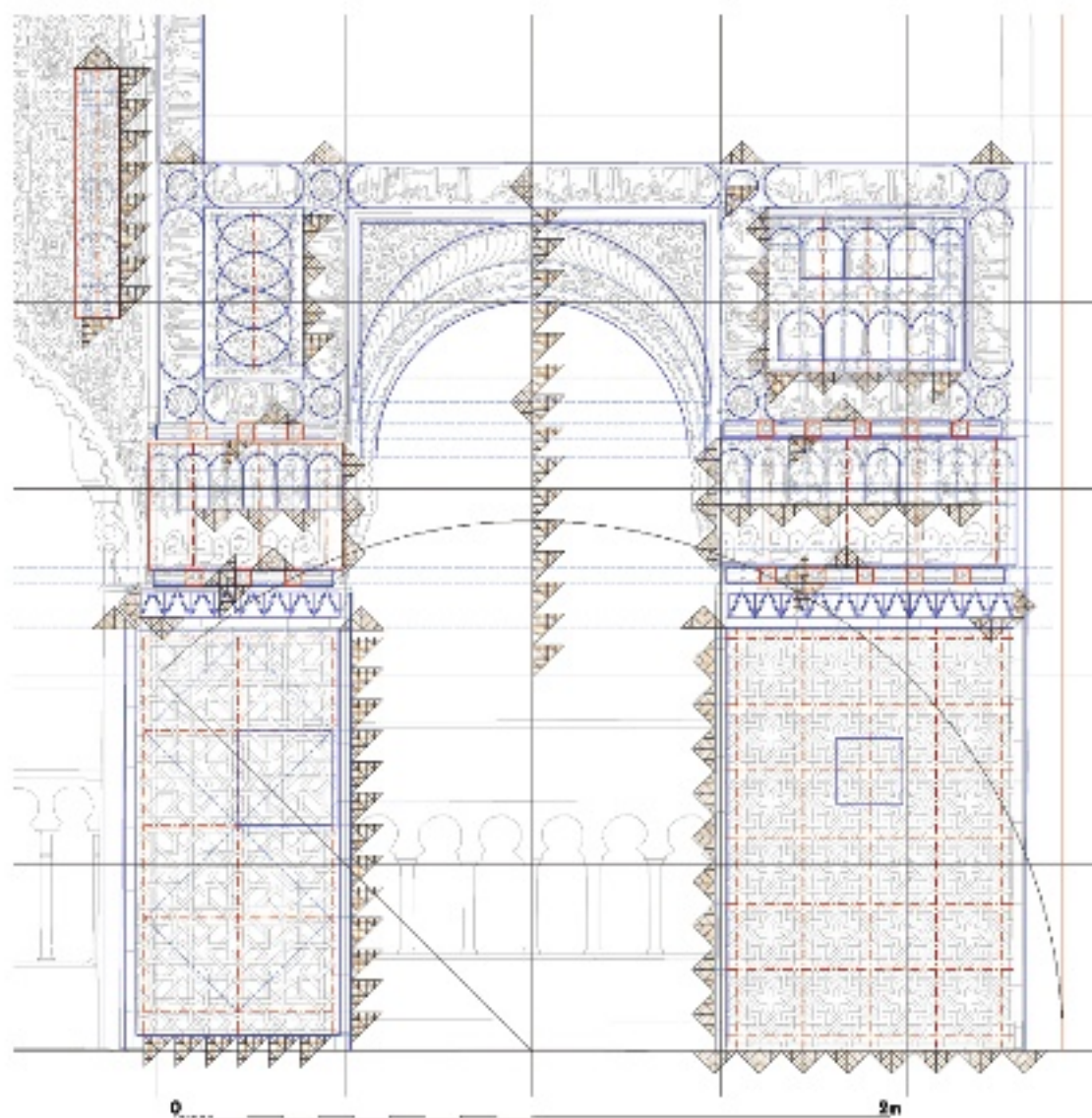
- 4. Modulación del alzado interior sur.
- 4. Modulation of the southern inner elevation.

CUARTO REAL DE SANTO DOMINGO
 MODULACIÓN ALZADO INTERIOR SUR / SECCIÓN

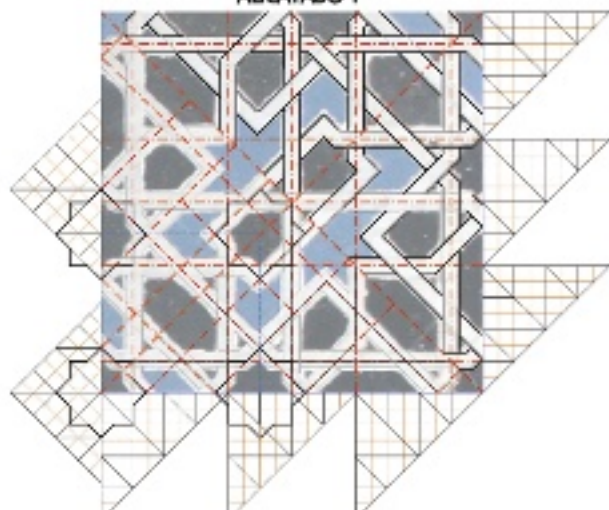


CUARTO REAL DE SANTO DOMINGO
MODULACIÓN ALZADO INTERIOR SUR / HUECO LATERAL

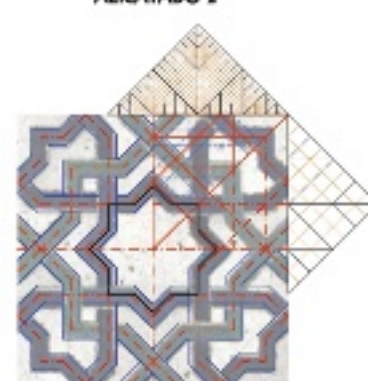
176



ALICATADO 1



ALICATADO 2



0 10 cm



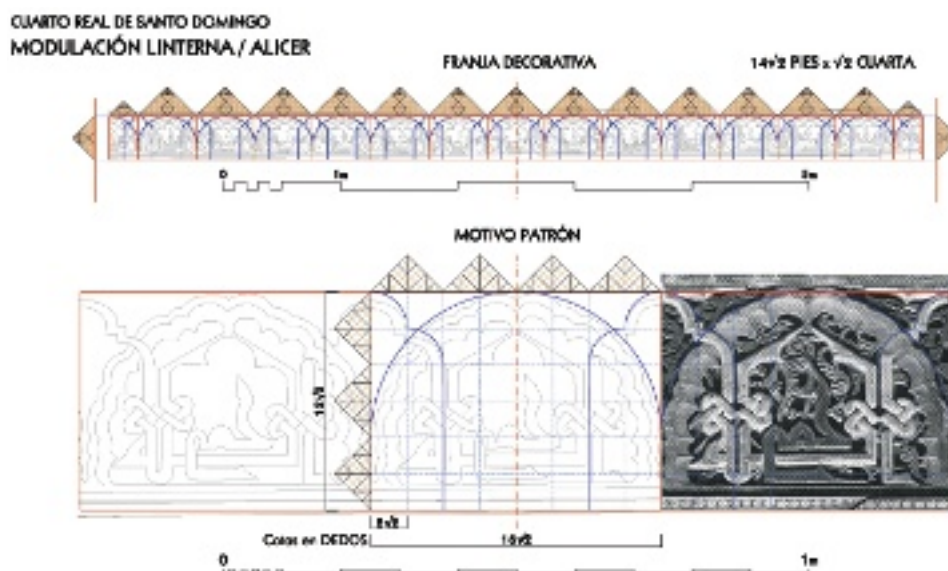
- 5. Modulación del hueco lateral.
- 5. Modulation of the lateral void.

- 6. Modulación de alicer.
- 8. Modulación de los machones.
- 6. Modulation of *Alicer*.
- 8. Modulation of the *Machones*.

mas dinámicas que combinan ambas escalas (Fig. 3).

Varias de las tramas dinámicas permiten agrupaciones en tramas estáticas, aunque éstas no admiten divisiones enteras en ninguna de las dos escalas.

Todas pueden ajustarse a cualquier límite exterior por aproximación propia e independiente. Ésta se realiza por defecto (extremos cóncavos) o por exceso (extremos convexos). La diferencia, compuesta por restos irracionales, se acumula en los recuadros limítrofes. También permite absorber y determina los espesores de los revestimientos. Así mismo facilitaría las holguras necesarias para el montaje de elementos prefabricados.



6

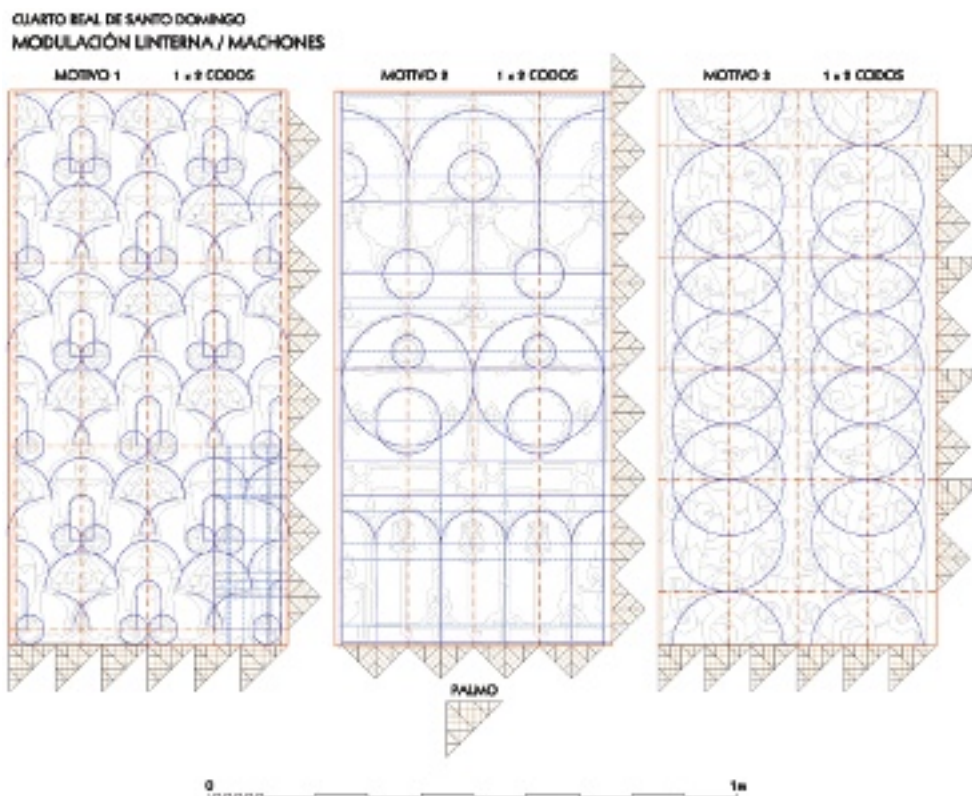
Tramas estáticas

Las tramas estáticas están basadas en cuadrículas regulares que admiten composiciones armónicas, y pueden ser definidas con la escala base o con la escala $\sqrt{2}$.

Trama estática base

En trama estática base se organizan las dimensiones generales de los huecos bajos del alzado principal. El hueco central del testero (Fig. 4) —o lugar del gobernante— tiene unas dimensiones de 4 codos de ancho por 4 de alto, al igual que el arco ciego superior. Los huecos laterales están separados del central 1 codo, tienen un ancho de 2 y una altura de 4 hasta la clave de sus arcos. Otras alturas de zócalos, impostas y arcos decorativos quedan determinadas con mitades de codo —o cuartas—.

El ajuste de las dimensiones ejecutadas de estos elementos respecto de la trama modulada se realiza por exceso para absorber los gruesos de revestimientos, que son mayores en el hueco central, con alicatados, que en los laterales.



8

based on successive trials and their corresponding verifications. This eliminates the uncertainty provoked by the determination of points that present the majority of studies performed by manual techniques. Photographs of specific elements, that are ortho-projected by Adobe Photoshop software, also have been used.

Representation

The results are expressed on the basis of half square rulers, right isosceles triangles whose edges allow intuitive graphical representation of the dynamic modulations $\sqrt{2}$. Sometimes, partial and total dimensions are bounded with numerical expression of their values in function of the specified measured unit. These contain a single term when the item is statically sized (only cathetus or hypotenuse of the triangle), or they are binomials when performed dynamically.

Typology of modular frames and adjustment to the limits

The sum of modules and pattern motives can generate both static and harmonic frames based on units of the basis scale or of the $\sqrt{2}$ scale as dynamic frames that combine both scales (Fig. 3). Several dynamic frames allow clusters in static frames, although these do not admit whole divisions in any of the two scales. All of these frames can be adjusted to any outer limit by proper and independent approach. This is done by default (concave extremes) or by excess (convex extremes). The difference is irrational remnants accumulate in the adjacent boxes. This allows for absorption and determines the thickness of the coatings, as well as facilitates the clearance necessary for the assembly of prefabricated elements.

Static frames

Static frames are based on regular square grids. Admitting harmonious compositions and that can be defined with the basis scale or with the $\sqrt{2}$ scale.

Basis static frame

The overall dimensions of the lower voids of the main elevation are organized on the basis of static frame. The central void of the headwall (Fig. 4) –or space of ruler– has dimensions of 4

9. Fotografía alicatado 2.

9 Photograph of tile 2.



9

Las dimensiones exteriores de los machones, o paños ciegos decorados existentes entre las ventanas de la linterna (Fig. 8), es de 1 codo de ancho por 2 de alto. Significativamente sus diseños interiores responden siempre a otro tipo de trama, que se ajustan por defecto a estas dimensiones exteriores.

Otros 2 codos presenta la altura de la linterna hasta el alicer, y sobre él se eleva el almizate con 4 codos de lado y de altura.

También el diseño de lazo geométrico del alicatado 1 del hueco lateral (Fig. 5) se desarrolla en base a un motivo patrón cuadrado de 3 palmos de lado, en donde se distribuyen armónicamente, en vertical y horizontal, dos calles centrales y dos medias laterales separadas por una entrecalle más ancha.

La decoración del arco central ciego consiste en un motivo patrón distribuido a tresbolillo sobre toda la superficie, cuya ornamentación interior responde a la escala estática base. No así las dimensiones del motivo patrón.

Trama estática $\sqrt{2}$

La existencia de la doble escala permite tramas en cuadrículas regulares moduladas con unidades de la escala sagrada $-\sqrt{2}-$, que son utilizadas siempre en los elementos decorativos que contienen epigrafía coránica.

Es el caso del alicer de la linterna –franja y motivo patrón– (Fig. 6). Se

trata de una tabla con decoración tallada de tema epigráfico cúfico encastrado en arcos lobulados.

El motivo patrón tiene un ancho de $\sqrt{2}$ pie y una altura de $\sqrt{2}$ cuarta –en proporción 3:2–. Las trazas de su decoración responden a una trama estática $\sqrt{2}$. Se repite el módulo completo 13 veces en cada alzado, más una mitad en cada extremo.

Por lo tanto se realiza otra aproximación por defecto de $14\sqrt{2}$ pie al ancho total de la sala, que es absorbido por un mayor espesor del revestimiento. Todas las franjas epigráficas disponen de un ancho de $\sqrt{2}$ de 1 palmo, excepto bajo las ventanas donde es más ancha ($\sqrt{2}$ de 6 dedos) (Fig. 7). Los caracteres de los textos parecen ajustarse a una cuadrícula estática de valor $\sqrt{2}$ de 1 dedo.

En el motivo 2 de los machones (Fig. 8) tanto la trama modular vertical como la horizontal se realiza en escala $\sqrt{2}$, por lo que se realiza aproximación en ambas direcciones.

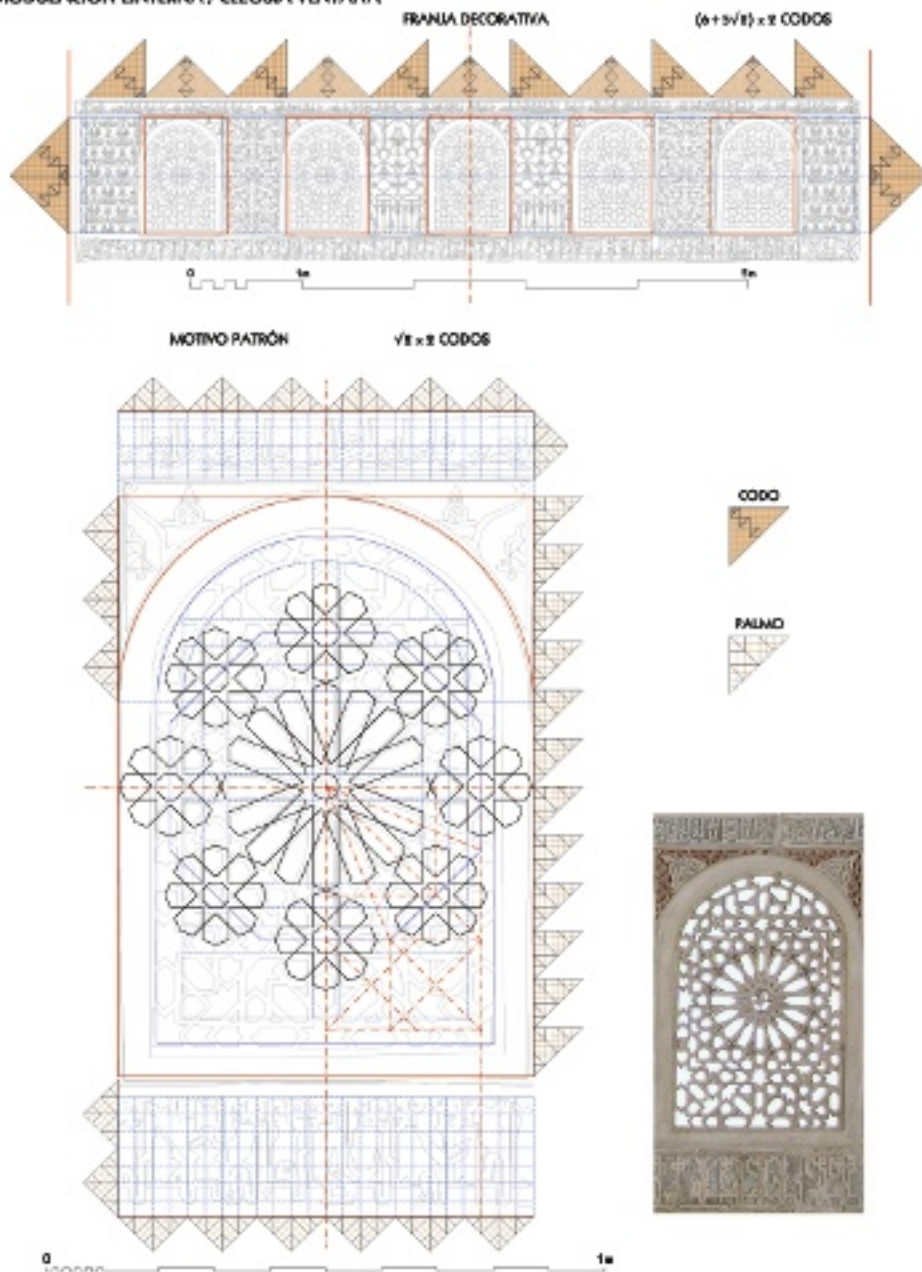
A ambos lados del arranque de los arcos del alzado sur (Fig. 5) se distribuyen, sin fajas, unas yeserías con arcos lobulados y caligrafía cúfica, que se ordena estáticamente según $\sqrt{2}$. Sobre este paño extremo otra yesería con tema de arcos lobulados, enmarcado entre fajas, responde igualmente a la trama estática $\sqrt{2}$.

Cada motivo patrón de la estrecha franja de azulejos almenados en blanco y negro se enmarca en un cuadrado de $9\sqrt{2}$ granos de lado. La altura de cada escalón es $\sqrt{2}$ grano y medio. El dentado responde verticalmente a un ritmo $\sqrt{2}/3$ de grano.

En el alicatado 2 (Fig. 9) también se utiliza un motivo patrón cuadrado, en este caso de $6\sqrt{2}$ dedos de lado. Dispone de una única calle central cuyos ejes de cuerda están separados $2\sqrt{2}$ dedos en sentido vertical y horizontal. Sin em-



CUARTO REAL DE SANTO DOMINGO
MODULACIÓN LINTERNA / CELOSÍA VENTANA



7. Modulación de la ventana.
7. Modulation of the window.

cubits wide by 4 cubits high, the same as the above blind arch. The lateral voids are separated by 1 cubit from the central void; they are 2 cubits wide and 4 cubits high, up to the keystone of their arches. Other heights of plinths, imposts and decorative arches are determined with halves or quarters of a cubit.

The adjustment of the dimensions carried on these elements with regard to the modular frame is done with excess in order to absorb the thickness of coatings, which are bigger in the central void, as they are covered with tiles, as opposed the lateral sides.

The outer dimension of the *machones*—piers, blind panels decorated— that are located between the windows of the lantern (Fig. 8), is 1 cubit wide by 2 cubits high. Significantly, their interior designs always respond to other types of frames, which are adjusted by default to these exterior dimensions.

The height of the lantern up to the *alicer* presents 2 cubits, and above this the *almizate* rises by 4 cubits in width and height.

We may observe the design of the geometric loop of the tiled 1 in the lateral void, (Fig. 5) is developed on the basis of a square pattern motif 3 palms each, that are distributed harmonically in vertical and horizontal arrangement in two main streets and two lateral half-streets separated by a wider inter-street.

The decoration of the central blind arch is a motif pattern that is distributed by a staggered *tresbolillo* over the entire surface, whose interior decoration responds to the basis static scale. However the dimensions of the motif pattern are different.

√2 static frame

The availability of the double scale allows modulated regular grid patterns in sacred scale units $\sqrt{2}$, which is always used in the decorative elements containing Koranic epigraphy.

It is the case of the *alicer* of the lantern—band and motif pattern— (Fig. 6). This is a table with carved decoration of epigraphic Kufic theme enclosed in lobed arches.

The motif for this pattern has a width of $\sqrt{2}$ feet and a height of $\sqrt{2}$ *cuarta*—quarter of yard— (in proportion 3:2). Their decoration reflects a static plot $\sqrt{2}$. The complete module is repeated 13 times in each wall, and one-half in each extremity.

Thus, another approach is performed by default from $14\sqrt{2}$ foot total width of the room, which is

7

bargo en los sentidos girados 45° se han utilizado 3 dedos, lo que provoca la irregularidad de la estrella central. El ancho de las cintas es $\sqrt{2}$ grano y medio. Todos los ejes del trazado se pueden resolver en un octante mediante trazos verticales, horizontales e inclinados, tomando desde el centro del motivo valores de la escala $\sqrt{2}$ (Fig. 5).

Tramas dinámicas

El sistema de doble escala permite combinar unidades de ambas escalas bien en el eje horizontal, en el vertical o en ambos. Esto proporciona un amplio abanico de posibilidades de modulación dinámica para el diseño de los distintos elementos.

10. Modulación del friso.
10. Modulation of the frieze.

absorbed by a greater thickness of the coating. All epigraphic bands have a width of $\sqrt{2}$ of 1 palm, except under the windows where it is wider ($\sqrt{2}$ of 6 digits) (Fig. 7). The characters in the texts seem to fit a static grid with the value of $\sqrt{2}$ of 1 digit.

The vertical and horizontal modulation in motif 2 of the *machones*—piers— (Fig. 8) is performed in $\sqrt{2}$ scale, so producing an approach in both directions.

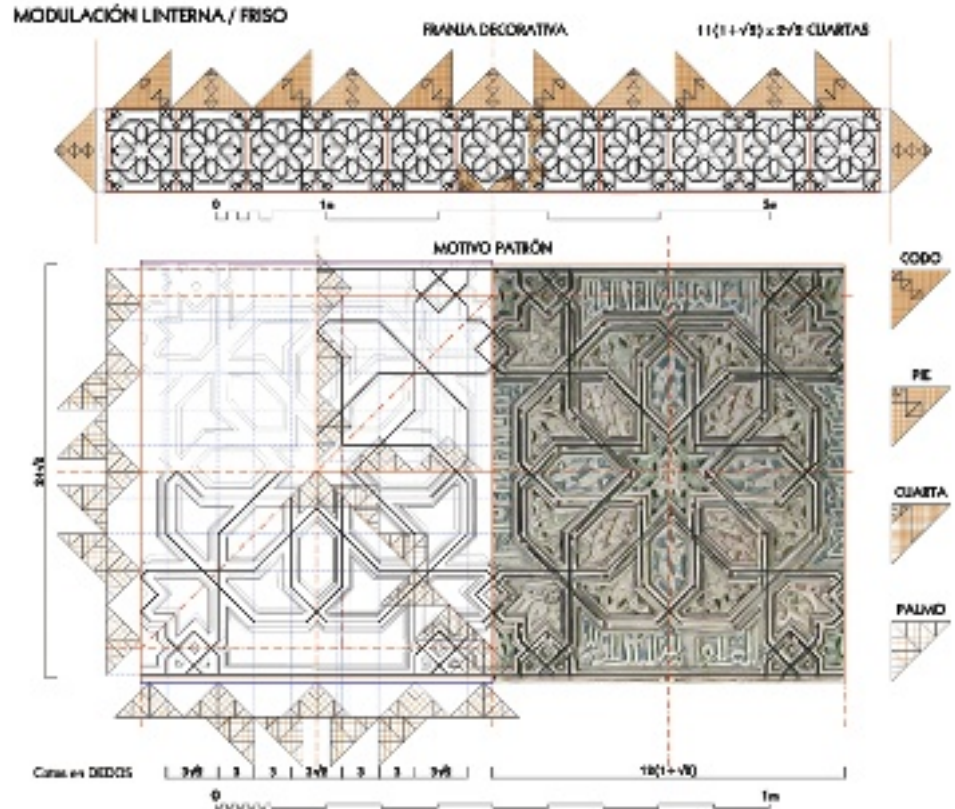
The plaster panels with Kufic calligraphy and lobed arches, frameless, on both sides of bases of arches in the southern elevation (Fig. 5), are ordered statically by $\sqrt{2}$. Above these and the extremes, other framed plaster panels with lobed arches also respond to the static plot $\sqrt{2}$. Each motif pattern of the narrow strip of black and white crenellated tiles fit into a square of $9\sqrt{2}$ *granos*—grains—on each side. The height of each step is $\sqrt{2}$ grain and a half. The teeth respond vertically at a rate $\sqrt{2} / 3$ of grain. In the tile 2 (Fig. 9) a square motif pattern is used, in these case $6\sqrt{2}$ digits on each side. It has a single main street whose rope axes are separated $2\sqrt{2}$ digits vertically as well as horizontally. However, in the directions there are rotated 45° 3 digits were used, causing the irregularity of the central star. The width of the tapes is $\sqrt{2}$ grain and a half. All axes of the layout can be solved in one octant, by vertical, horizontal and inclined lines, taken from the centre of the motif scale values of $\sqrt{2}$ (Fig. 5).

Dynamic frames

The dual-scale units can combine both scores on the horizontal axis, on the vertical or on both. This provides a wide range of dynamic modulation possibilities for designing the various elements.

Basis and $\sqrt{2}$ dynamic frame

This occurs when an orthogonal axis is modulated with units of the basis scale and the other is modulated with units of the $\sqrt{2}$ scale. This would apply to the outside dimensions of each of the five windows of the lantern face (Fig. 9), which fall within limits of $\sqrt{2}$ cubits wide by 2 cubits high. And the motif 1 (Fig. 8), corresponding to the extreme *machones*—piers—, the vertical distribution responds to the basis scale with fine adjustment to the width, while the horizontal is adjusted to the $\sqrt{2}$ scale. The same procedure is used in the external dimensions of the pattern motif of blind arch



10

Trama dinámica base y $\sqrt{2}$

Se produce cuando un eje ortogonal es modulado con unidades de la escala base y el otro con las de la escala $\sqrt{2}$.

Sería el caso de las dimensiones exteriores de cada una de las cinco ventanas por cara de la linterna (Fig. 9), que se enmarcan en unos límites de $\sqrt{2}$ codo de ancho por 2 codos de alto. Y en el motivo 1 (Fig. 8), correspondiente a los machones extremos, la distribución vertical responde a la escala base con ajuste exacto al ancho, mientras que la horizontal se ajusta a la escala $\sqrt{2}$.

Igual procedimiento se utiliza en las dimensiones exteriores del motivo patrón del arco ciego (Fig. 5). Cada uno de estos módulos distribuidos a tresbolillo tiene un ancho de $\sqrt{2}$ palmo por 8 palmos de altura (2 pies).

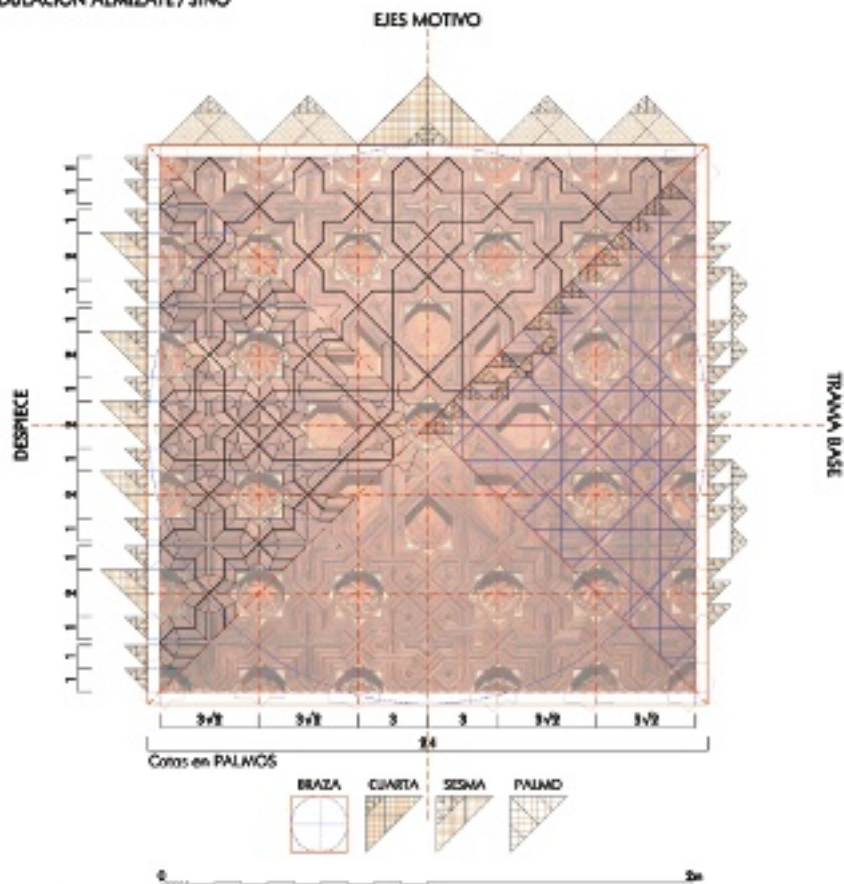
Trama dinámica mixta

En este caso se utiliza un eje con modulación estática y el otro combinando ambas escalas.

La altura del friso octogonal de la linterna (Fig. 10) es $\sqrt{2}$ codo y el ancho del motivo patrón $(1+\sqrt{2})$ cuarta. Éste se repite 11 veces en una nueva aproximación al ancho total de la sala.

Las 5 ventanas de celosía (Fig. 7), de $\sqrt{2}$ codo de ancho cada una, se separan entre sí y respecto de los extremos de cada alzado por los 6 machones, que en todos los casos tienen unas dimensiones de 1 codo de ancho. Se realiza la misma aproximación al ancho total que los 11 motivos patrón del friso, si bien en este caso se aprecia un pequeño incremento en la separación de los motivos que se hace más patente en los extremos. Este recurso provoca la reducción del espesor del revestimiento de esta franja, y pudo ser utilizado como holgura para facilitar la colocación prefabricada de sus elementos.

Se produce coincidencia en la distribución estática vertical de la modulación del machón motivo 3 decorado con motivos vegetales (Fig. 8). Pero en

CUARTO REAL DE SANTO DOMINGO
 MODULACIÓN ALMIZATE / SINO


11

el caso de la distribución horizontal se recurre a un módulo aditivo de valor $(1 + \sqrt{2})$ palmo, con ajuste muy próximo a su dimensión general.

Trama dinámica poligonal

Los trazados de lazo geométrico son modulados combinando unidades de ambas escalas en cualquiera de sus ejes, y presentan generalmente simetría octogonal.

Es el caso del curioso techo artesano (Fig. 11). El centro del trazado de su almizate se realiza con el sino –estrella de ocho puntas– formada por dos cuadrados girados 45° . Con su cuarta de lado se definen los ejes de las cuerdas centrales. Las dos calles adyacentes, en los ocho sentidos de la estrella, mantienen la misma separación.

A continuación se intercalan unas cuerdas dobles que se repiten en sen-

11. Modulación del almizate.

11. Modulation of the *almizate*.

(Fig. 5). Each of these modules distributed in a *tresbolillo* –staggered– has a width of $\sqrt{2}$ palms by 8 *palmas* –palms– height (2 feet).

Mixed dynamic frame

In this case an axis with static modulation and the other axis combining both scales are used. The height of the octagonal frieze of the lantern (Fig. 10) is $\sqrt{2}$ cubit and the width of the motif pattern $(1 + \sqrt{2})$ *cuarta* –quarter of yard–. This is repeated 11 times in a new approach to the entire width of the room.

The 5 latticed windows, each $\sqrt{2}$ cubits wide, are separated from each other and from the ends of each elevation by the 6 *machones* –piers–, which in all cases have a size of 1 cubit wide. The approach of the total width is the same as the 11 motifs pattern of the frieze, although in this case it shows a small increase in the separation of the motifs which is more apparent at the ends. This procedure reduces coating thickness of this strip, and could be used as a clearance to facilitate the placement of prefabricated elements.

Coincidence occurs in the vertical static distribution of the modulation of the motif 3 *machón* –pier– decorated with plant ornaments (Fig. 8). However, in the case of the horizontal distribution, it used an additive module of value $(1 + \sqrt{2})$ palm, with a very close adjustment to its overall size.

Polygonal dynamic frame

The layouts of geometric loops are modulated combining units of both scales in any of its axes, and have generally octagonal symmetry.

It is the case of curious wooden coffering (Fig. 11). The centre of the layout of his *almizate* –central square– is done with the *sino* (eight-pointed star) formed by two squares rotated at 45° . With their *cuarta* –quarter of yard– sides the axes of the central strings are defined. The two adjacent streets, in the eight directions of the star, maintain the same separation. In continuation double ropes are interspersed which are repeated vertically and horizontally in the rest of the ceiling. The separation between axes of whole streets in this case is 2 quarter of yard.

This dynamic design using single and double pairs, complete the size of the *almizate* to half a street in order to allow the breakage of the *faldones* –slanted ceilings–. In this process the executor of the wooden coffering made a rounded graph to fit in the 4 cubits, established

12. Modulación de la planta.
12. Modulation of the plan.

in the general dimensions. With respect to this dimension (210.36 cm), the approximation to what was done $(1 + 2\sqrt{2})$ cubits (201.35 cm) is nearly 95.5%. A second approximation occurs in the angle of the slanted ceiling. The height of 4 cubits and the remaining width of the room $(2 + 2\sqrt{2})$ cubits (Fig. 4) produces an angle of approx 40° , which ended up being used. In this case the approximation is 99%.

The design of the frieze motif (Fig. 10) serves the same scheme as the wooden coffering lattice loop, but without being intertwined. The composition is generated from the four streets of the central star. An upper street and other lower streets define the octagon. Laterally, half streets allow continuity of repetition of the motif, and a whole street determines the length of the *aspillas*. The whole dynamic layout can be made by units from the scale $\sqrt{2}$ taken on the four directions of the star, or by a combination of the two scales taken only on the vertical and horizontal.

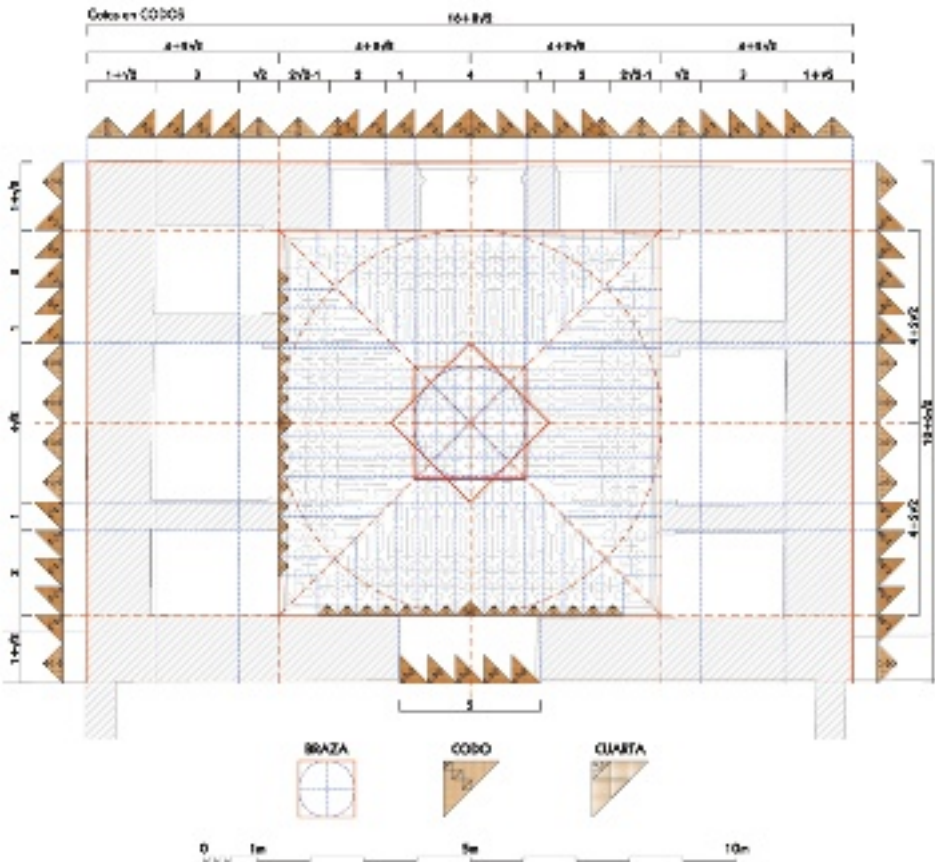
A cubit of height to the windows (Fig. 7) focuses on a star of 16 points which constitutes the geometric motif of its lattice loop. This star and its wheel is combined with a rigid geometric composition with 8 other stars with 8 tips that is known as *desculata* wheel of 16. The centres of these 8 stars are located in the middle of each side of an octagon. In this case it is confined in a circle with a diameter of $18\sqrt{2}$ digits. This dimension determines a base width between axes of cords with value very close to a digit and a half $\sqrt{2}$ ($6\sqrt{2}$ granos), which we understand was used—with an error of + 0.42%—. A broad smooth band completes the fit between the decorative motif and the outer limits. One of the characteristics of these dynamic polygonal frames is that they combine with static frames at an angle of 45° . This occurs throughout the entire ceiling, including the exchange of frames in the central cords. And it reappears in the tiling 1 (Fig. 5), whose inclined and dynamic streets are inserted in the basis static frame with harmonious composition.

Free dynamic frame

The dynamic combination of units which presents symmetry with regards to an axis or to its orthogonal, that allows an increase in variants, and therefore that permitting the greatest wealth of designs.

A basis static frame modulated the overall dimensions of the core spaces of the southern elevation and other elements. However, the

CUARTO REAL DE SANTO DOMINGO
MODULACIÓN PLANTA / TECHO



12

tido vertical y horizontal en el resto de la armadura. La separación entre ejes de calles enteras es en este caso $\sqrt{2}$ cuarta.

Este diseño dinámico, mediante pares simples y doblados, completa la dimensión del almizate a media calle para permitir el quiebro de los faldones. En este proceso el ejecutor de la armadura realiza un redondeo gráfico para ajustarse a los 4 codos enteros de lado establecidos en las dimensiones generales. La aproximación de lo realizado, $(1+2\sqrt{2})$ codos (201,35 cm), respecto a esta dimensión (210,36 cm) es del 95,5 %. Un segundo redondeo se produce en el trazado del cartabón de la armadura. La altura de 4 codos y el ancho restante de la sala $(2+2\sqrt{2})$ codos /Fig. 4) producen un ángulo muy próximo al cartabón de cuatro y me-

dio (40°), que debió ser el finalmente utilizado. En este caso la aproximación es del 99%.

El diseño del motivo del friso (Fig. 10) responde al mismo esquema que la armadura de lazo del techo, pero sin entrelazados. La composición se genera a partir de las cuatro calles de la estrella central. Una calle superior y otra inferior definen el octógono. Lateralmente media calle permite la continuidad de repetición del motivo, y otra calle entera determina la longitud de las *aspillas*. Todo este trazado dinámico se puede realizar mediante unidades de la escala $\sqrt{2}$ tomadas sobre las cuatro direcciones de la estrella, o bien por combinación de las dos escalas tomadas únicamente sobre el eje vertical y horizontal.

A un codo de altura de las ventanas (Fig. 7) se centra una estrella de 16 pun-



tas que constituye el motivo geométrico base del calado de su celosía de lazo. Esta estrella y su rueda se combinan mediante una rígida composición geométrica con otras 8 de 8 puntas en lo que se conoce como rueda descultada de 16. Los centros de estas 8 estrellas se localizan en la mitad de cada lado de un octógono. En nuestro caso éste se circunscribe en un círculo de diámetro $18\sqrt{2}$ dedos. Esta dimensión determina un ancho entre ejes de cuerda de valor muy próximo a dedo y medio $\sqrt{2}$ ($6\sqrt{2}$ granos) que entendemos fue el utilizado (con un error del +0,42%). El ajuste entre el motivo decorativo y los límites exteriores se completa con una ancha franja lisa. Una de las características de estas tramas dinámicas poligonales es que se combinan con tramas estáticas en un ángulo de 45° . Es lo que ocurre en todo el techo, incluyendo el intercambio de tramas en las cuerdas centrales. Y en el alicatado 1 (Fig. 5), cuyas calles inclinadas y dinámicas se insertan en la trama estática base, de composición armónica.

Trama dinámica libre

La combinación dinámica de unidades, que presenta simetría solo respecto a un eje o a su ortogonal, es la que permite más variantes y por tanto la que admite mayor riqueza de diseños.

Una trama estática base modulaba las dimensiones generales de los huecos centrales del alzado sur y otros elementos. Pero el ancho de las estancias laterales corresponde a la $\sqrt{2}$ del módulo inicial de 4 codos –la diagonal del almizate del techo girado 45° – (Fig. 12). Y desde aquí al límite del salón existen otros 4 codos. Por lo tanto el ancho y largo del salón cuadrado queda definido por $(2+\sqrt{2})$ el valor del módulo inicial.

Las trazas dinámicas de la planta del edificio generan otra cuadrícula

estática de proporción 2:1. El ancho total de la planta incluyendo gruesos de muros coincide con 4 de estos módulos de $(4+2\sqrt{2})$ codos. Los 2 módulos centrales determinan el ancho y fondo del salón, así como su altura hasta la parte baja de las ventanas de la linterna, formalizando por tanto un cubo hasta ese punto. El espesor de los muros exteriores queda definido por $(1+\sqrt{2})$ codos, y los más estrechos interiores y de la linterna por $\sqrt{2}$ codo.

Luego estas tramas dinámicas libres se pueden agrupar en tramas estáticas, como lo hacen las tramas dinámicas poligonales. Pero pueden distribuir sus módulos independientemente en cada eje ortogonal, como se hace para definir los huecos de cada alzado. ■

Referencias

- ALMAGRO, A. y ORIHUELA UZAL, A. 1997. "Propuesta de intervención en el Cuarto Real de Santo Domingo (Granada)" en *Loggia*, pp. 22-29.
- ALMAGRO, A. y ORIHUELA UZAL, A. 2008. *El Cuarto Real de Santo Domingo*. CSIC: Escuela de Estudios Árabes. http://www.eea.csic.es/index.php?option=com_content&task=view&id=52&Itemid=43 [7/25/2011].
- ALVARO ZAMORA, M.I. 2007. "La cerámica andalusí" en *Artigrama: Revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza*, no. 22, pp. 337-370.
- NUERE, E. 1990. *La carpintería de lazo*. Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental, Delegación de Málaga: Málaga.
- ORIHUELA UZAL, A. 1996. *Casas y palacios nazaríes: siglos XIII-XV*. Ed. Lunwerg: Barcelona.
- RODRÍGUEZ TROBAJO, E. 2008. "Procedencia y uso de madera de pino silvestre y pino laricio en edificios históricos de Castilla y Andalucía" en *Arqueología de la arquitectura*, no. 5, pp. 33-53.
- ROLDÁN, F. 2011. *La escuadra sagrada*. Ed. Bubok Publishing S.L.: Madrid.
- RUIZ DE LA ROSA, J. A. 1996. *Quatro edificios sevillanos*. Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Occidental: Sevilla.
- VITRUBIO POLIÓN, M., RODRÍGUEZ RUIZ, D. y ORTIZ Y SANZ, J. 2007. *Los diez libros de arquitectura*. Ed. Akal: Torrejón de Ardoz, Madrid.

width of the side rooms corresponds to $\sqrt{2}$ of the initial module of 4 cubits –the diagonal of the ceiling "almizate" rotated 45° – (Fig. 12), and from here to the limit of the room there are another 4 cubits. Therefore, the width and length of the square hall is defined by $(2 + \sqrt{2})$ the value of initial module.

The dynamic frames of the floor plans of building generate another static grid of ratio 2:1. The total width of the floor including thick walls coincides with 4 of these modules $(4 + 2\sqrt{2})$ cubits. The 2 core modules determine the width and depth of the room, as well as its height at the bottom of the windows of the lantern, thus formalizing a cube up to that point. The thickness of the exterior walls is defined by $(1 + \sqrt{2})$ cubits, and the closest indoor walls and those of the lantern are defined by $\sqrt{2}$ cubit. Hence these free dynamic frames can be grouped into static frames, like polygonal dynamic frames. Nevertheless, they can distribute their modules independently in each orthogonal axis, as it is done to define the gaps in each elevation.

