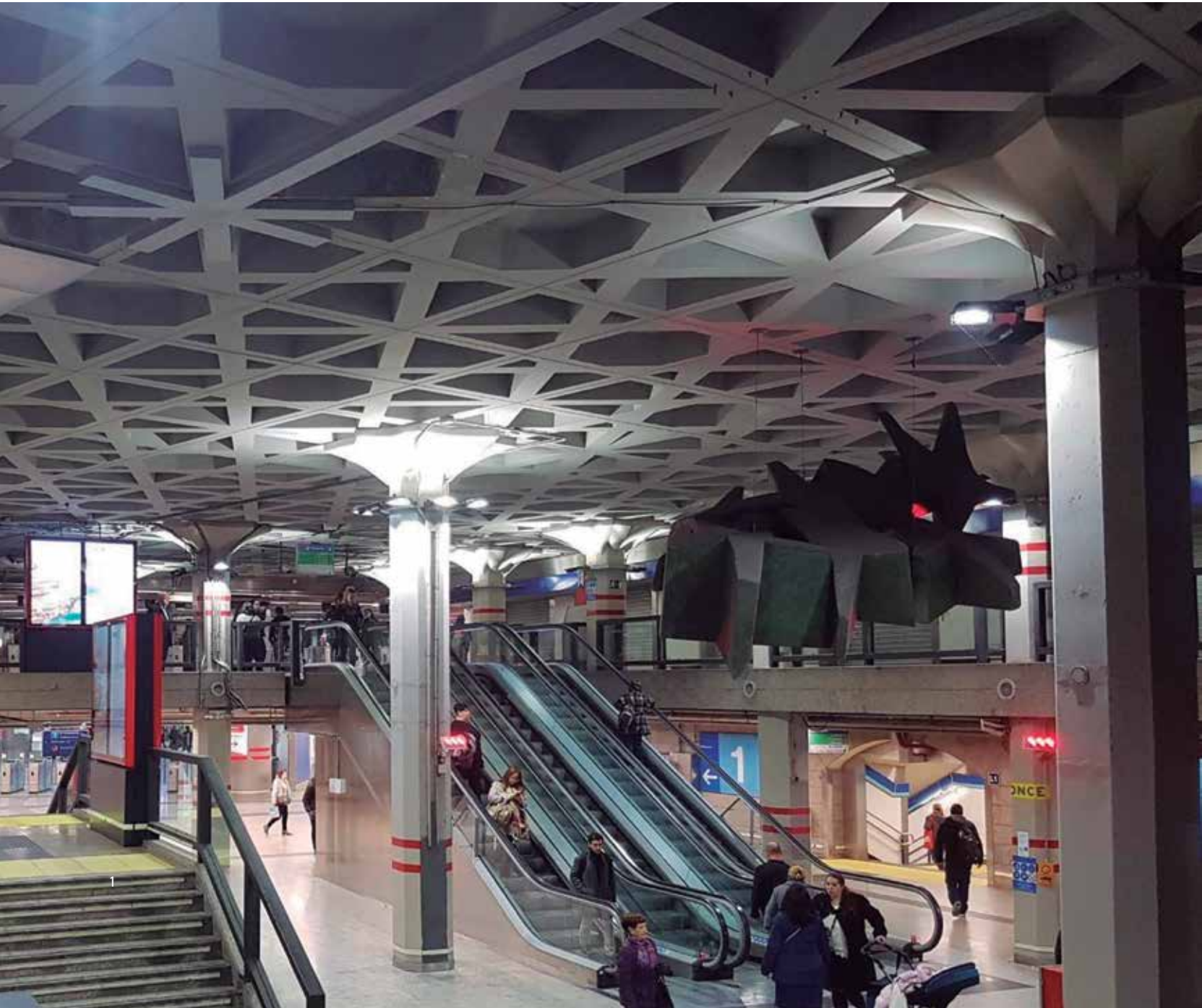


FÉLIX CANDELA EN MADRID. LA INSÓLITA GEOMETRÍA DEL TECHO DEL VESTÍBULO CENTRAL DE LA ESTACIÓN DE SOL

FÉLIX CANDELA IN MADRID. THE GEOMETRY OF THE CEILING FOR THE CENTRAL HALL OF THE SOL METRO STATION

Rafael García García

doi: 10.4995/ega.2020.10685





1. Vestíbulo de estación de Sol. Autor

1. Main hall, Sol metro station. Author

El techo del vestíbulo principal de la madrileña estación de Sol contiene una de las estructuras más peculiares de toda la red del metro de Madrid. Dentro del tipo de losas planas con nervaduras, al que pertenece, fue diseñado mediante una geometría totalmente original y sin precedentes conocidos. Terminada en 1987, su diseñador fue Félix Candela, y con ella realizó, dentro de su etapa de colaboración con la empresa de ingeniería TYPSA, una obra singular que lo es incluso dentro de su propia y reconocida trayectoria. El objeto de este trabajo es el análisis del diseño de la losa del techo del vestíbulo, con el propósito fundamental de revelar

Condiciones de contorno

El diseño del techo del vestíbulo se inscribió dentro del proyecto integral de renovación de la estación de Sol como nodo central de convergencia de tres líneas de metro necesitado de una mayor amplitud 1. Para ello se redactaron dos anteproyectos finalizados en 1984. Uno de ellos contemplaba el desplazamiento de la línea 2 creando un gran andén intermedio entre los dos sentidos de circulación (Metro 1984). Por su mayor costo e implicaciones, este proyecto fue rechazado. Como alternativa, se llevó a cabo una segunda propuesta, que fue la realizada, en que se vaciaba la parte central de la estación para crear en ella un nuevo vestíbulo ampliado, pero sin alterar el viario ni los andenes existentes (Fig. 1).

Por la particular disposición de las líneas, este espacio central disponible tenía la forma aproximada

su geometría, poner de manifiesto las particulares propiedades de su dibujo y hacer algunas hipótesis sobre determinados aspectos constructivos relacionados con lo anterior.

PALABRAS CLAVE: FÉLIX CANDELA, METRO SOL, LOSA NERVADA, TRAMA, GEOMETRÍA

The ceiling of the main hall of the Sol station in Madrid contains one of the most peculiar structures of the entire network of the Madrid subway. Within the type of flat slabs with ribs, to which it belongs, was designed using a totally original geometry without known

de un trapecio isósceles con su base mayor en la parte norte. El perímetro de la losa del techo estuvo determinado por esta circunstancia. En la memoria consultada se habla de una superficie de 1000 metros cuadrados a cubrir por la losa (Metro 1985). Como apoyos ya prefijados de la losa estarían su contacto en todo el perímetro y tres hileras de pilares interiores con 8, 4 y 6 soportes cada una. Los soportes de la hilera intermedia estaban doblemente separados.

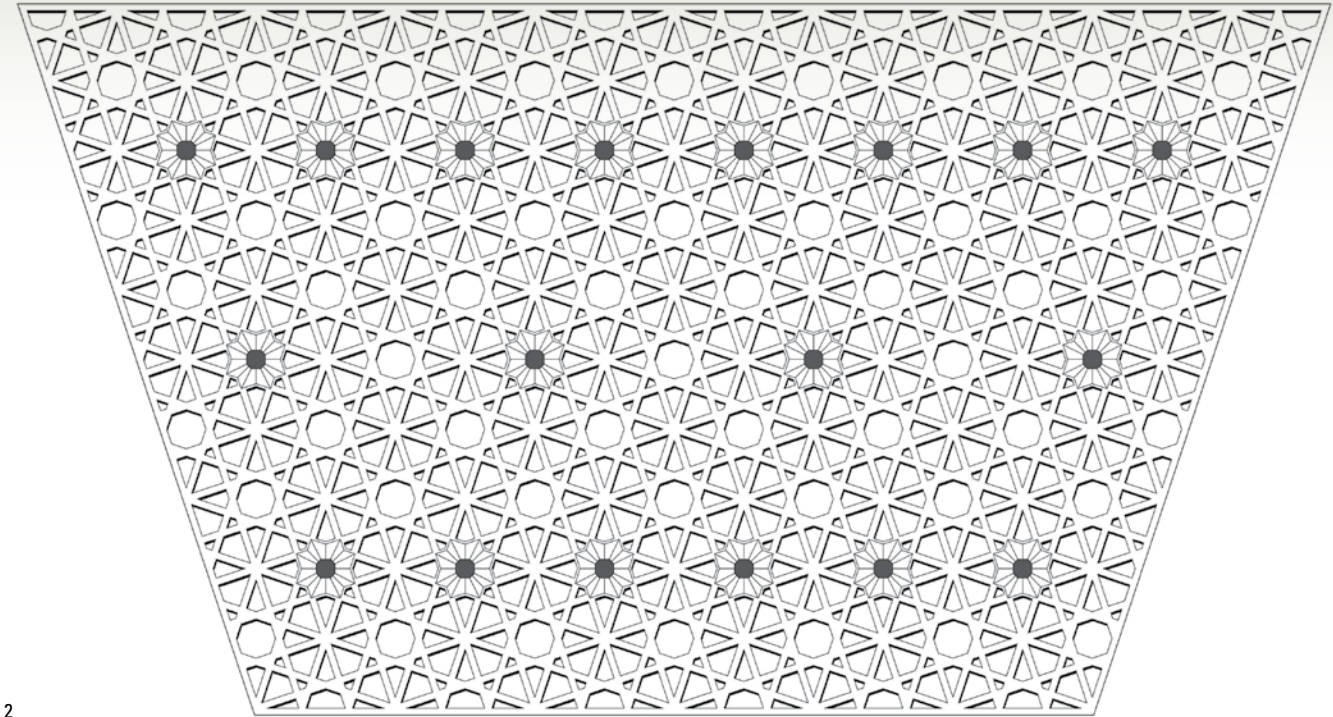
Para la solución del techo, tras rechazar la idea de losa maciza, se hicieron primeramente tanteos para encajarla con una malla de casetones cuadrados 2. Sin embargo, finalmente se realizó con el nada convencional entramado de nervaduras en cuatro direcciones propuesto por Félix Candela y que tanta oposición suscitó al ser presentado (Fig. 2) 3. Las líneas del entramado eran

precedents. Completed in 1987, its designer was Felix Candela, and with it he made, within his stage of collaboration with the Spanish engineering company TYPSA, a work that is unique even within his own recognized career. The purpose of this work is the analysis of the design of the ceiling of the vestibule, with the fundamental aim of revealing its geometry, highlighting the particular properties of its pattern and making some hypotheses about the constructive aspects related to the above.

KEYWORDS: FÉLIX CANDELA, SOL STATION, RIBED SLAB, GRID, GEOMETRY

Contour conditions

The design of the Sol station main hall ceiling was inserted within the general project of renewal of the station in the 80s. The new hall was conceived as a central convergence node of three underground lines which was needed of a wider surface 1. To this end, two preliminary projects were drawn up in 1984. One of them contemplated the displacement of line 2, creating a large intermediate platform between the two tracks of circulation (Metro 1984). Due to its greater cost and implications, this project was rejected. As an alternative, a second proposal was carried out, which was eventually realized. In it, the central part of the station was emptied to create a new expanded vestibule, but without altering neither the tracks nor the existing platforms (Fig. 1). Due to the arrangement of the lines, this available central space had the approximate shape of an isosceles trapezoid with its larger base in the northern side. The perimeter of the roof slab was determined by this circumstance. The consulted memory speaks of a surface of 1000 square meters to be covered by the slab (Metro 1985). As already



2

fixed supports of the slab were its contact around the perimeter and three rows of interior pillars with 8, 4 and 6 supports each. The supports of the intermediate row were doubly separated with respect to the others. For the solution of the ceiling, after rejecting the idea of a solid slab, first attempts were made to fit it with a net of square caissons 2. However, it was finally carried out with the unconventional net of ribs in four directions proposed by Felix Candela and that so much opposition arose when presented. The lines of the lattice were designed by him as two equal orthogonal meshes rotated with respect to each other and matching the directions of each one with those of the inclined sides of the trapezoid.

With this unusual configuration, the visual effect from the lobby is that of a dense net of lines that remind one of an Arabic drawing, but whose lines and the squares formed by them do neither align nor join the supports of each row, as it might be expected, but they run obliquely to them. On the other hand, the alignment occurs between supports of different rows, although they are joined by directions of oblique ribs.

The geometric pattern and its properties

The solution to the supposed enigma of its configuration is revealed in the analysis of the survey drawing (Fig. 2) 3. It shows that there is a periodic congruency between modules of the two grids due to a relationship of great

en realidad dos mallas ortogonales iguales giradas una respecto a la otra, haciendo coincidir las direcciones de cada una con las de los lados inclinados del trapecio.

Con esta insólita configuración, el efecto visual desde el vestíbulo es el de una tupida red de líneas que hacen recordar un dibujo árabe, pero cuyas líneas y los recuadros formados por ellas no se alinean ni unen los soportes de cada hilera, como podría ser esperable, sino que discurren oblicuos a ellas. En cambio, sí se da esa alineación entre soportes de diferentes hileras, aunque quedan unidos por direcciones de nervaduras oblicuas.

La trama y sus propiedades

La solución al supuesto enigma de su configuración se revela en el análisis del dibujo de su levantamiento (Fig. 2). En él se observa que hay una congruencia periódica entre módulos de las dos tramas debida a una relación de gran sencillez geométrica, pero a la vez de gran originalidad: el giro entre una y otra es de tal forma que seis módulos cuadrados de una son algo así como la hipo-

tenusa de un triángulo rectángulo cuyos dos catetos se forman con cuatro y cinco módulos de la otra trama. Es decir, que considerando no los módulos sino las distancias entre sus centros, ambas tramas se relacionan mediante la relación pitagórica elemental 3, 4, 5, materializada en el denominado triángulo egipcio (Fig. 3). De esta forma se constituye una innovadora retícula de apariencia visual compleja, pero que, al analizarse, manifiesta multitud de regularidades.

Una primera y llamativa coincidencia es que las inclinaciones resultantes de las dos tramas, siguiendo rigurosamente el triángulo egipcio, se correspondan tan exactamente con los lados oblicuos del trapecio disponible. Es posible que, una vez establecido el entramado, la forma final del trapecio se adaptara a sus direcciones. Cómo llegó Candela a dicha solución, no es conocido, ya que, aunque había trabajado intensamente sobre entramados, sobre todo en su etapa anterior dedicada a la solución de cúpulas esféricas, ninguno de ellos tuvo el ingenio y complejidad de este. Además, no existe, al menos

2. El dibujo de la losa. Autor

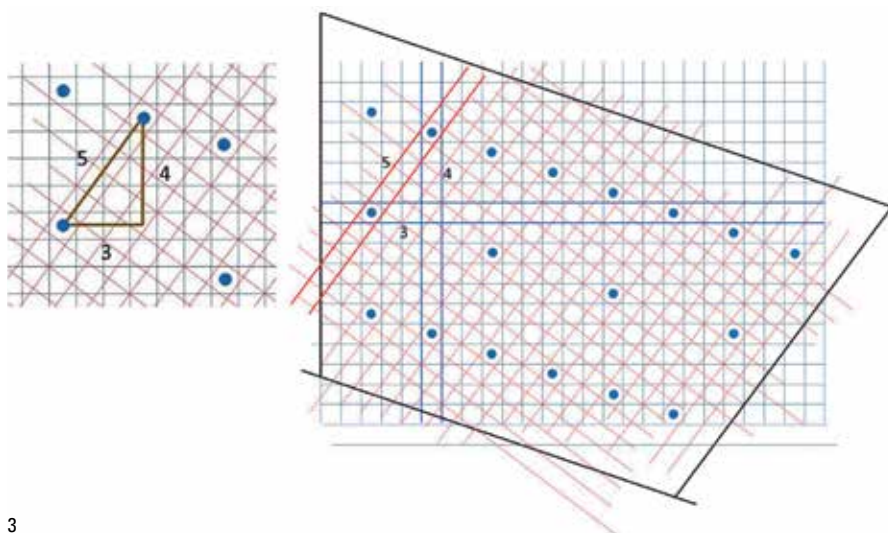
3. Relación entre las tramas. Autor

4. Pautas de regularidad. A. entre cuadrados. B. entre nervaduras. Autor

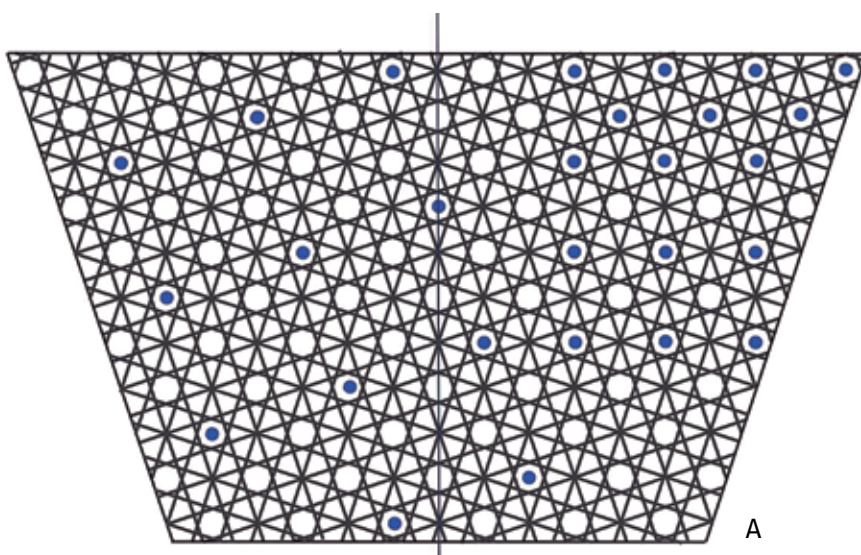
2. Survey drawing of the slab. Author

3. Relationship between orthogonal grids. Author

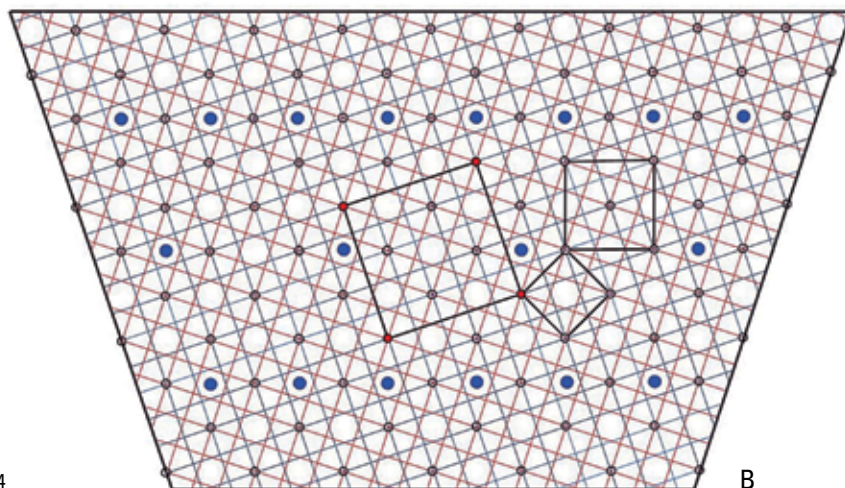
4. Patterns of regularity. A. among squares. B. among lines of ribs. Author



3



A



B

4

geometric simplicity, but at the same time of great originality: the rotation between one and the other is such that six square modules of one are somehow like the hypotenuse of a right triangle whose two legs are formed with four and five modules of the other grid. That is, considering not the modules but the distances between their centres, both grids are related by the Pythagorean elementary relation 3, 4, 5, materialized in the so-called Egyptian triangle (Fig. 3). In this way, an innovative lattice of complex visual appearance is created, but when analysed it manifests plenty of regularities.

A striking first coincidence is that the resulting inclinations of the two grids, strictly following the Egyptian triangle, correspond so exactly to the oblique sides of the available trapezoid. It is possible that, once the geometry of the net is established, the final shape of the trapezoid was adapted to its directions. How Candela came to this solution, is unknown, since, although he had worked intensively on grids, especially in his previous stage dedicated to the solution of spherical domes, none of them had the ingenuity and complexity of this. In addition, there is not, at to our knowledge, any antecedent, constructed or drawn, of this geometry, although perhaps it could be of inspiration the fact that the hyperbolic paraboloids always contain, in one of their projections, parallel families of crossed lines. From a general geometric point of view, the congruence 4 between two orthogonal grids of the same module does not exist between grids rotated 45 degrees to each other, so abundant in the Islamic world, nor with angles of 30 and 60 degrees. Neither regularities do occur between those drawn according to hypotenuses of triangles whose legs are in simple proportions 1: 2, 1: 3, 2: 3, 3: 5 but yes, as is it the case, with the ratio 3: 4. Also it occurs with other Pythagorean proportions like 6: 8 or 9:12, 5:12, 8:15 etc. Of these last, however, someones would be no more than multiples of the initial 3: 4.

One aspect of great interest of this double grid is that, as it can be seen in the drawings, it presents not only one, but different regular rhythms of points of congruence (Fig. 4). There are three basic rhythms, although increasing separations new regularities appear. The geometrical pattern of the slab turns out to be



therefore a wider and more versatile system even than its fit to the specific conditions in which it originates, being potentially adaptable to different supports grids. The same can be said for the intersections of the nerves.

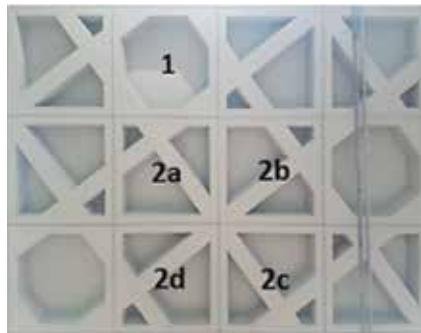
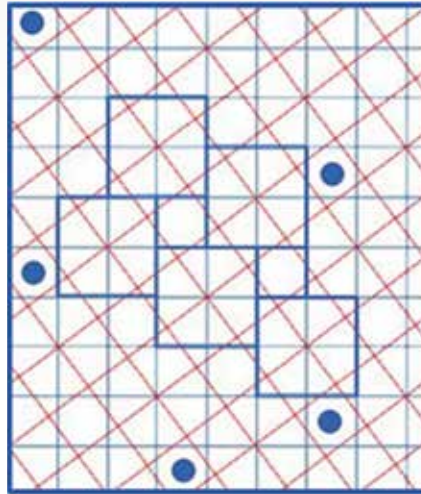
There is also a second fundamental regularity: excepting for the parallel edges, the entire slab can be reduced to only two different square modules 5 . It is noted that for the entire ceiling there are only two fundamental types: the squares of congruence, in which the centres of squares of both grids coincide, and those of crossover, with the lines of both grids without mutual correspondence. Just as congruence squares are all the same, so are crossover squares, but in this case they are arranged rotated in four different orientations (Fig. 5). Consequently, the slab is realizable with only two different square moulds.

Metric issues and a happy coincidence

The floor tiles of the hall measure 40×60 cm. Between axes of contiguous pillars there are always (with reasonable accuracy) 8 tiles in their longer dimension, which gives a total length of 4.80 m. 6 In the other direction you can count, also with reasonable accuracy, 18 separation tiles between alignments of supports, which gives a dimension of 7.20 m. There is thus a net of supports with inter-axes separated by a module of 4.80 m and with alignments distant from each other 1.5 modules or 7.20 m. Thus, the proportion $2:3$ arranged according to the parallel sides of the trapezoid, has been fitted with accuracy in the geometry of the oblique grids based on proportions $3:4$ (Fig. 6).

At first glance this does not seem to be very compatible and it is apparently like matching whole numbers with irrational numbers. A geometrical demonstration of such a congruence is needed and not to think that it is only the result of a coincidence. After the calculation, and not without some surprise, the congruence is demonstrated in a general way (Fig. 7).

This implies another interesting property of this geometry: the oblique double grid of the slab is congruent with any other orthogonal grid parallel to the axis of symmetry and which makes its vertices coincide with



5

que sepamos, ningún antecedente, construido o dibujado, de esta geometría, aunque quizás pudo ser de inspiración el hecho de que los paraboloides hiperbólicos contienen siempre, en una de sus proyecciones, familias paralelas de rectas cruzadas.

Desde un punto de vista geométrico general, la congruencia 4 entre dos tramas ortogonales de igual módulo no existe ni entre tramas giradas 45 grados entre sí, tan abundantes en el mundo islámico, ni con ángulos de 30 y 60 grados. Tampoco se producen regularidades entre las trazadas según hipotenusas de triángulos cuyos catetos estén en proporciones sencillas $1:2$, $1:3$, $2:3$, $3:5$ pero sí, como es el caso, con la proporción $3:4$, aunque también

con otras proporciones pitagóricas como $6:8$ o $9:12$, $5:12$, $8:15$ etc. De estas últimas, sin embargo, algunas no serían más que múltiplos de la inicial $3:4$.

Un aspecto de gran interés de esta doble trama es que, como se aprecia en los dibujos, presenta no solo uno, sino diferentes ritmos regulares de puntos de congruencia (Fig. 4). Existen tres ritmos básicos, aunque van apareciendo nuevas regularidades. El patrón geométrico de la losa resulta ser por tanto un sistema más amplio y versátil incluso que el de su encaje a las condiciones particulares en que se origina, siendo potencialmente adaptable a diferentes retículas de soportes. Lo mismo puede decirse para las intersecciones de los nervios.

Existe también una segunda regularidad fundamental: salvo en los bordes paralelos, toda la losa se puede reducir a solo dos módulos cuadrados diferentes 5 . Se constata que para cada trama solo hay dos tipos fundamentales, los cuadrados de congruencia, en que centros de una y otra trama coinciden, y los de cruce, con las líneas de ambas tramas sin correspondencia mutua. Al igual que los cuadrados de congruencia son todos iguales, también lo son los de cruce, solo que en este caso están dispuestos girados en cuatro orientaciones distintas (Fig. 5). Como consecuencia la losa es realizable con solo dos moldes cuadrados diferentes.

Cuestiones métricas y una feliz coincidencia

Las baldosas del solado miden 40×60 cm. Entre ejes de pilares contiguos se disponen con razonable exactitud siempre 8 baldosas en su



- 5. Los dos módulos cuadrados de la losa: de convergencia (1) y de cruce (2). Este último en sus cuatro posiciones. Autor
- 6. Congruencia entre tramas oblicuas y trama de simetría. M y m submódulos de las tramas. Autor
- 7. Demostración de congruencia. Autor

- 5. The two square modules of the slab: convergence (1) and crossover (2)
- 6. Congruency between oblique grids and symmetric grid. M and m submodules of the grids. Author
- 7. Demonstration of congruency. Author

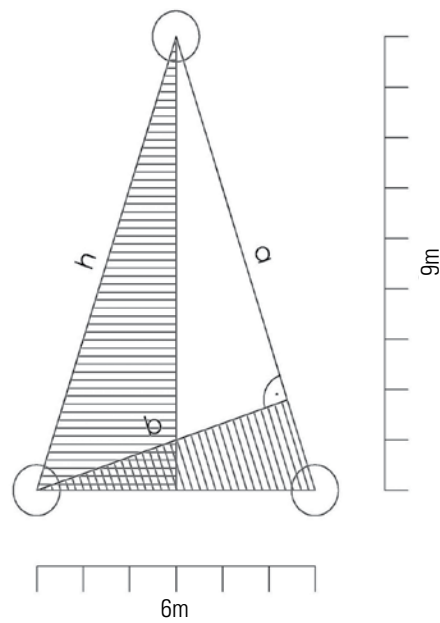
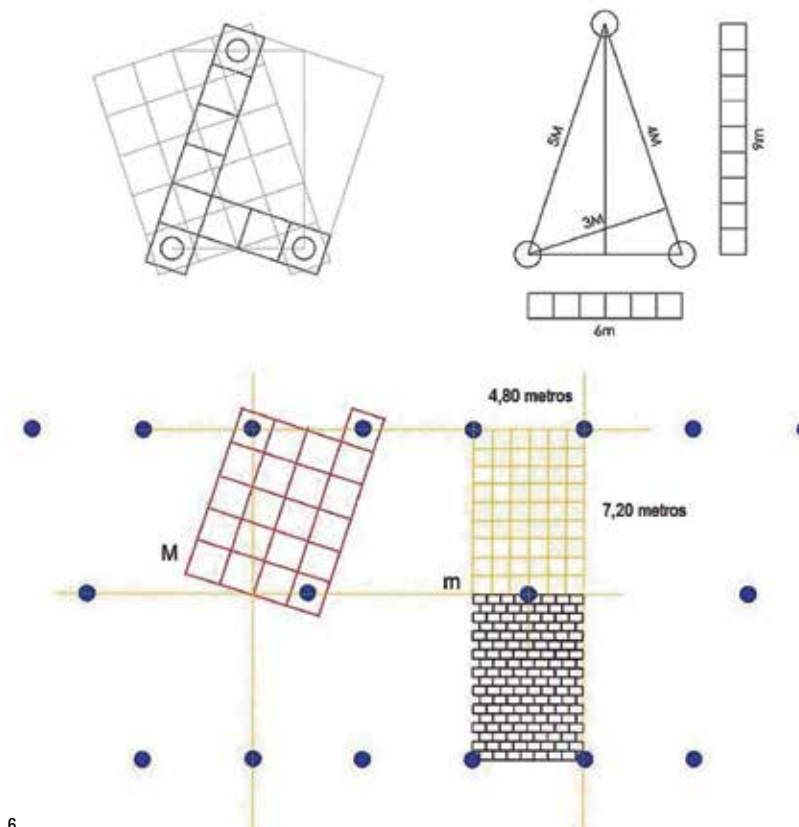
dimensión larga, lo que da un total de 4,80 m. **6** En la otra dirección se pueden contar, también con razonable exactitud, 18 baldosas de separación entre alineaciones de soportes, lo que da una dimensión de 7,20 m. Se tiene así una trama de soportes con inter-ejes separados un módulo de 4,80 m y con alineaciones distantes entre sí 1,5 módulos o sea 7,20 m. Así pues, la proporción 2:3 dispuesta según los lados paralelos del trapecio, ha resultado encajar con exactitud en la geometría de la trama oblicua basada en proporciones 3:4 (Fig. 6).

A primera vista esto no parece ser muy compatible y es aparentemente como hacer coincidir números enteros con números irracionales. Es precisa una demostración

geométrica de dicha congruencia y no pensar que es solo el resultado de una coincidencia particular. Efectuado el cálculo, y no sin cierta sorpresa, se demuestra la congruencia de manera general (Fig. 7).

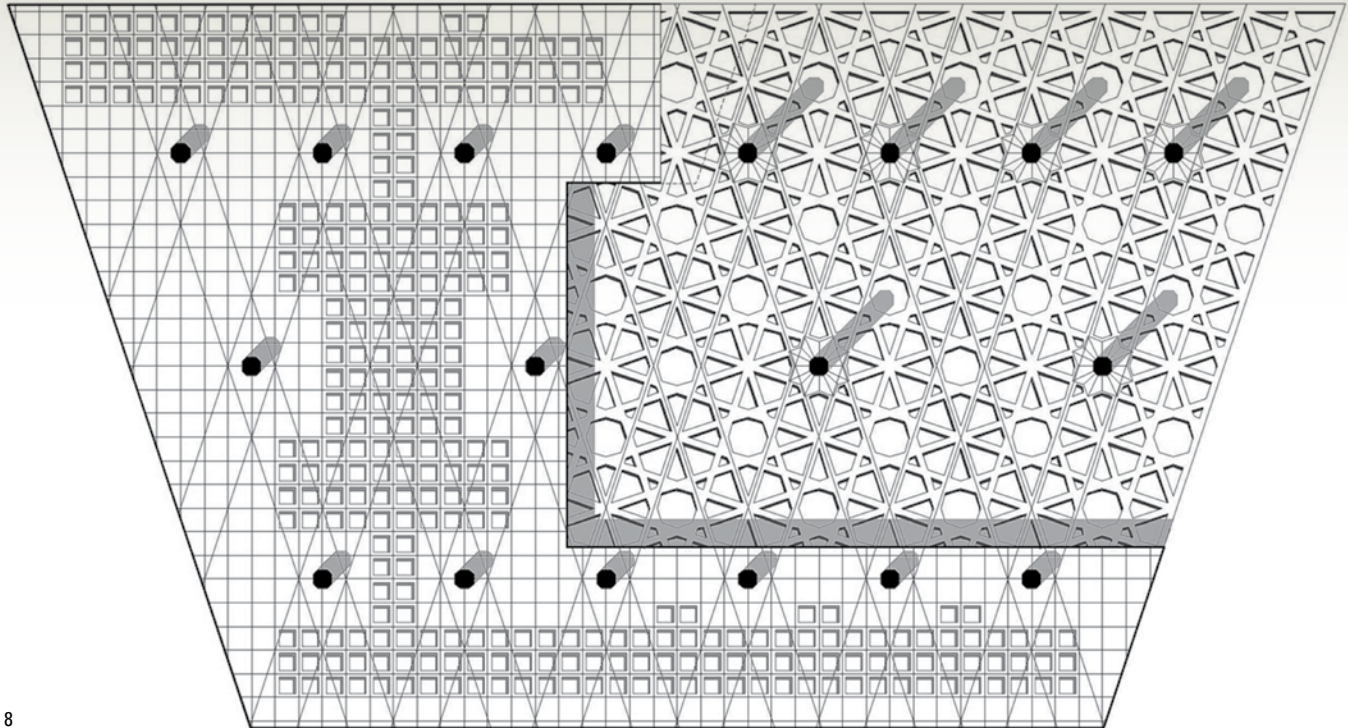
Esto implica otra interesante propiedad de esta geometría: la doble trama de la losa es congruente con cualquier otra trama ortogonal paralela al eje de simetría y que haga coincidir sus vértices con los centros de la primera, si el número de módulos es vez y media en una dirección respecto al número de módulos en la otra **7**. La forma más visual y práctica de verlo es considerar esa nueva trama trazada entre los soportes de la losa uniendo dos consecutivos y un tercero de la alineación contigua. Entre ellos

the centres of the first one if the number of modules is one and a half times in one direction regarding the number of modules in the other **7**. The most visual and practical way to see it is to consider that new grid drawn between the supports of the slab by joining two consecutive and a third of the contiguous alignment. Among them, we can draw grids of, for example, 12 x 18 modules –like the one that would be formed with tiles of 40 x 40 cm– or 6 x 9 modules –with square modules of 80 cm on each side (Fig. 6). This is a happy coincidence that also has useful consequences for constructive purposes. Its most important application is in the mezzanine galleries. In the two that exist bordering two sides of the vestibule, a ribbed slab was no longer used but a normal one partially solid and partially lightened with square caissons left exposed. In it you can verify that the total correspondence is maintained. Its modulation is precisely 6 x 9 for the area between two consecutive



$$h = m\sqrt{9^2 + 3^2} = m\sqrt{90} = 3m\sqrt{2}\sqrt{5}$$

por semejanza de triángulos: $h/9m = 6m/b$ □
 $b = 6m9m/h = 6m9m/3m\sqrt{2}\sqrt{5} = 18m/\sqrt{2}\sqrt{5}$
 $h/b = 3m(\sqrt{2}\sqrt{5})/(\sqrt{2}\sqrt{5})/18m = 3 \times 10/18 = 30/18 = 5/3$
 $h/b = 5/3$ □ $h/a = 5/4$ □ $a/b = 4/3$



supports and the closest one of the contiguous alignment (Fig. 8). That is to say, that with the adopted slab perimeter and the resulting supports situation, the entire space could be covered with both the oblique double grid or with a normal square ribbed slab because both are perfectly congruent! In addition, the caissons used are standard 80 x 80 cm between axes.

Capitals and construction aspects

The capitals have a starry arrangement consisting of sixteen small hyperbolic paraboloids with an original design with echoes of the architect's previous achievements 8. With them, it was solved the visual transition between the chamfered square section of the pillars and the oblique nets of the slab. The crowning star of the capital is formed by two equal concentric squares rotated by an angle of approximately 53 degrees, in other words, by the superposition of a square of each grid. The resulting figure is interesting because, although it has four axes of symmetry, the rotation symmetry is only of 90 degrees and not of 45, as it would be if the figure were totally regular. This figure has its corresponding in what we called above congruency squares, where the centres of

se pueden trazar tramas de, por ejemplo, 12 x 18 módulos –como la que se formaría con baldosas de 40 x 40 cm– o de 6 x 9 módulos –con módulos cuadrados de 80 cm de lado (Fig. 6). Esta es en realidad una feliz coincidencia que tiene también útiles consecuencias a efectos constructivos.

Su aplicación más importante está en las galerías de entreplanta. En las dos que existen bordeando dos lados del vestíbulo, ya no se utilizó una losa nervada sino una normal en parte maciza y en parte aligerada con casetones cuadrados dejados vistos. En ella se puede constatar que se mantiene la total correspondencia, siendo su modulación ¡precisamente 6 x 9! para el área entre dos soportes consecutivos y el más próximo de la alineación contigua (Fig. 8). Es decir, que con la geometría de losa adoptada y la situación de soportes resultante ¡todo el espacio se podría cubrir tanto con la doble trama oblicua como con casetones cuadrados normales también perfectamente

congruentes! Los casetones empleados, además, son los estándar de 80 x 80 cm entre ejes.

Capiteles y aspectos de construcción

Los capiteles presentan una disposición estrellada constituida por dieciséis pequeños paraboloides hiperbólicos con un original diseño con ecos de realizaciones previas del propio arquitecto 8. Con ellos resuelve la transición visual entre la planta cuadrada con chaflanes de los pilares y las redes oblicuas de nervios de la losa. La estrella de coronación del capitel se forma con dos cuadrados concéntricos girados entre sí un ángulo de aproximadamente 53 grados o, dicho de otra forma, por la superposición de un cuadrado de cada trama. La figura resultante es de interés ya que, aunque posee cuatro ejes de simetría, la simetría de rotación es solo de 90 grados y no de 45, como sería si la figura fuera totalmente regular. Esta figura tiene su correspondien-



8. Losa de entreplantas con casetones proyectada sobre la losa nervada. Superposición de líneas maestras. Autor
 9. Capitel de la losa y geometría de casetones octogonales. Planta y alzado. Autor

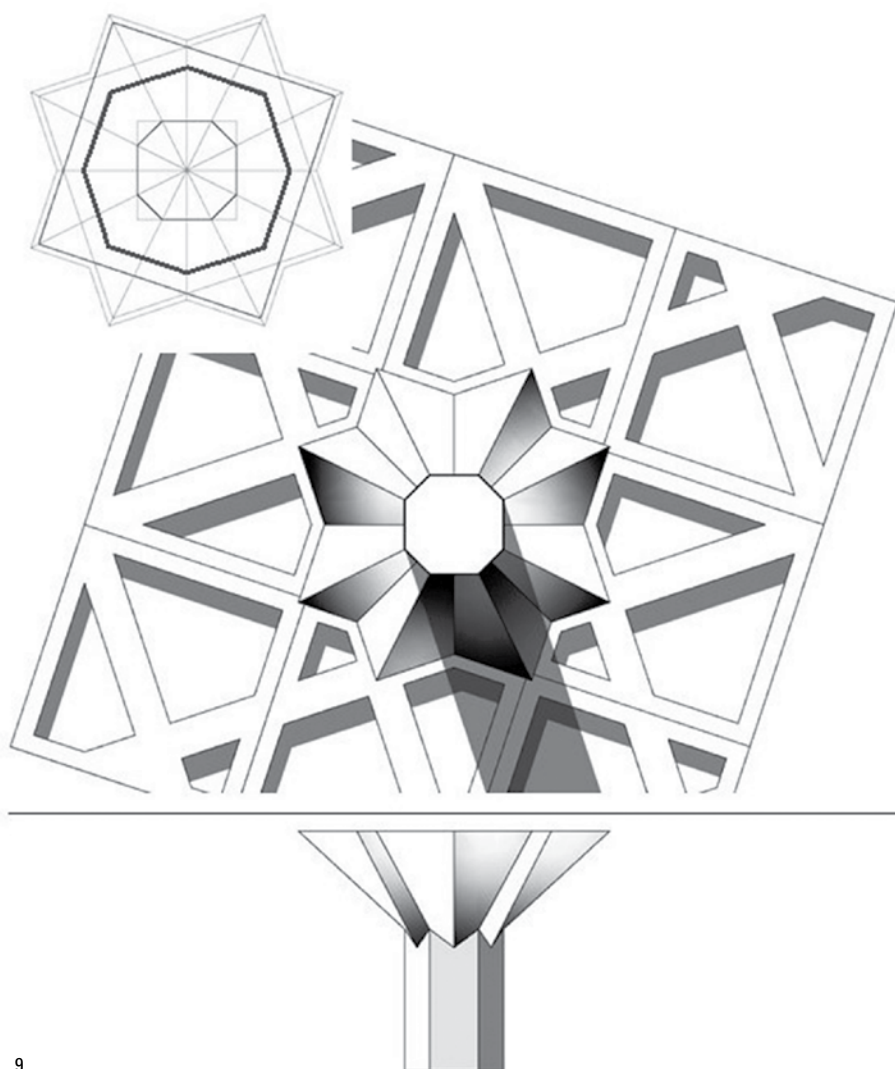
8. Mezzanine slab with square caissons projected on the Candela's ribbed slab. Author
 9. Starred capital and geometry of octagonal caissons. Plan and elevation. Author

te en los que más arriba denominamos cuadrados de congruencia, en donde los centros de las tramas coinciden periódicamente. En estos cuadrados se forma un casetón octogonal rehundido con las mismas propiedades que las de las estrellas recién descritas. Los octógonos resultantes son de lados iguales y cuatro ejes de simetría, pero no totalmente regulares (Fig. 9).

Sobre la autenticidad constructiva de los elementos puede indicarse lo siguiente. La empresa de ingeniería TYPESA 9, fue la autora del pro-

yecto, pero no se encargó de su ejecución. Sí sabemos en cambio que el consorcio Agromán, Cubiertas y MZOV y Dragados realizó el denominado “Proyecto de decoración y acabados del de remodelación de la estación de Sol del Ferrocarril Metropolitano de Madrid” (Metro 1985). Su tomo I consultado corresponde a la memoria, pliego de condiciones y presupuesto. Son de gran interés algunas partidas del apartado de hormigones. Sobre los pilares se menciona un “encofrado visto en pilares de estructura” (p.

the squares coincide periodically. In these squares, an octagonal recess is formed with the same geometrical properties as those of the stars just described. The resulting octagons are of equal sides and four axes of symmetry, but not totally regular (fig. 9). On the constructive authenticity of the elements, the following may be indicated. The engineering company TYPESA 9, was the author of the project, but was not responsible for its execution. We do know that the consortium Agromán, Cubiertas and MZOV and Dragados carried out the so-called “Project of decoration and finishing of the remodelling of the Sol station of the Metropolitan Railway of Madrid” (Metro 1985). Its volume I consulted corresponds to the report, specifications and budget. Some items of the concrete section are of great interest. About the pillars it is mentioned an “at sight formwork on pillars of structure” (p.17) and the price per square meter of “pillars cladding with G.R.C. lightened prefabricated panels with all kinds of fasteners including profiles”. Regarding the capitals, it is included “Fully finished capital unit on top for union with slabs”. All this suggests that none of the elements at sight, both the shape of the pillar as the capital, are structural. And in fact, it is corroborated by the photographs of work that the pillars are hidden and metallic, but without any capital. These, as well as the final octagonal shape of the pillars by means of precast concrete claddings of small thickness, were added later 10. This is a somewhat disappointing aspect, probably because there were great differences between the project and the execution, in which the criteria of economy should prevail over those of authenticity. The actual division of squares – and possible modular elements of formwork – is provided by only one of the grids of the lattice. Specifically, the one that is parallel to the west side of the trapezoid. Everything indicates that the constructive solution was that each square corresponds to a prefabricated mould used as a lost formwork. The probable material would be concrete reinforced with glass fibre type G.R.C. This seems to correspond with what is reflected in another concrete item of the budget, the one that refers to the slab formwork. On the one hand a reference is made to the “special



10. La losa y su ubicación aproximada en la plaza. Montaje autor

10. The slab and its setting in Puerta del Sol square. Photographic montage, author

slab formwork" (p.16) and on the other to the "special formwork for coffered ceiling in lobby slab "(p.18).

Meaning and conclusions

The "coffered ceiling" of the station's lobby was a personal proposal of Felix Candela as an alternative to what would have been a conventional cassette solution, perhaps with some added ornamental element. With exclusively constructive means he added a special value to this new space in correspondence with its importance in the centre of the city.

Candela was born and spent his childhood and youth in the very centre of Madrid and in his final years had returned to alternate his residence between Madrid and Raleigh in the United States, the city where he had settled after leaving Mexico. He felt a great attachment for his hometown, to which he had not been able to return after the Civil War (Cueto 2010). Thus, it seems that there is a confluence of elements in this slab, also affective, that make us see it as a legacy of the last part of his career, perhaps more aware of what it may seem.

With its new and original geometry, he showed that his ingenuity had not declined, giving evidence that even in a relatively minor work and without excessive structural challenges, unexpected elements of interest and inventiveness could be introduced. How Candela came to imagine this configuration is something that perhaps we will never know. In his previous studies on frames for domes, the pattern repertoire is more conventional. None of them seems to approximate to what it was done in the lobby or suggests any key to its configuration.

The analysis carried out here highlights its multiple geometrical properties and how surprisingly opportune they are in relation to the project conditions. A few decades away from the most creative ribbed solutions of the 60s, with this slab Candela returned to draw attention to the expressive potential of this structural element. ■

Notes

1 / So far, this design has not been the object of any specific study, except for the comments included in a more general article about Candela's collaborations with TYPASA (Bueno 2010).

2 / In response to our request for information, Pablo



10

17) y el precio por metro cuadrado de "revestimiento de pilares con paneles prefabricados G.R.C. aligerados con todo tipo de elementos de fijación incluso perfilería". Respecto a los capiteles se incluye "Unidad de capitel en remate para unión con losas totalmente terminado". Todo ello sugiere que ninguno de los elementos vistos, tanto de la forma del pilar como del capitel sean en realidad estructurales. Y en efecto, queda corroborado por las fotografías de obra que los pilares son en realidad ocultos y metálicos, pero sin ningún capitel. Estos, así como la forma final octogonal de los pilares mediante revestimientos prefabricados de hormigón de poco espesor, fueron añadidos después 10. Realmente, este es un aspecto un tanto decepcionante debido seguramente a que hubo grandes diferencias entre el proyecto y la ejecución, en la cual los criterios de economía debieron de primar sobre los de autenticidad.

La división real de cuadrados –y posibles elementos modulares de encofrado– la proporciona solo una de las tramas de su trazado. En concreto la paralela al lado oeste del trapecio. Todo indica que la solución constructiva fue que cada cuadrado corresponde a un molde prefabricado usado como encofrado perdido.

El material probable sería hormigón armado con fibra de vidrio tipo G.R.C. Esto parece corresponder con lo reflejado en otra de las partidas de hormigones, la referida al encofrado de losas, donde por un lado se hace referencia al "encofrado de losas especiales" (p.16) y por otro al "encofrado especial para formas de artesonado (sic) en losa de forjado de vestíbulo" (p.18).

Significado y conclusiones

El techo "artesonado" del vestíbulo de la estación fue una propuesta personal de Félix Candela como alternativa a la que hubiera sido muy previsiblemente una solución convencional de casetones, quizás con algún elemento ornamental añadido. Con medios exclusivamente constructivos aportó un valor especial a este nuevo espacio en correspondencia con su importancia en el centro de la ciudad.

Candela había nacido y pasado su niñez y juventud en el mismo centro de Madrid y en sus años finales había vuelto para alternar su residencia entre Madrid y Raleigh en Estados Unidos, ciudad donde se había afincado tras su salida de México. Sentía un gran apego por su ciudad natal, a la cual no había podido regresar tras la Guerra Civil



(Cueto 2010). Parecen pues, darse en esta losa toda una confluencia de elementos, también afectivos, que nos la hacen ver como un legado, quizás más consciente de lo que pueda parecer, en las postrimerías de su carrera.

Con su nueva y original geometría mostró que su ingenio no había decaído, dando pruebas de que incluso en una obra relativamente menor y sin excesivos retos estructurales podrían introducirse elementos inesperados de interés e inventiva. Cómo llegó Candela a imaginar esta configuración es algo que quizás ya no lleguemos a saber. En sus estudios anteriores sobre tramas para cúpulas, el repertorio de mallas es más convencional. Ninguna parece aproximarse a lo realizado en el vestíbulo o sugerir alguna clave de su configuración.

El análisis aquí realizado pone de relieve sus múltiples propiedades geométricas y lo sorprendentemente oportunas que son en relación con las condiciones del proyecto. A unas décadas de distancia de las más creativas soluciones nervadas de los años 60, con esta losa Candela volvió a llamar la atención sobre el potencial expresivo de este elemento. ■

Notas

- 1/Hasta el momento, no ha sido objeto de ningún estudio particular, salvo algunos comentarios incluidos en un artículo más general sobre las colaboraciones de Candela con TYPESA (Bueno 2010).
- 2/En respuesta a nuestra solicitud de información, Pablo Bueno Sanz presidente actual de TYPESA y autor del artículo mencionado en nota anterior, nos indicó que no se había guardado ninguna documentación sobre la losa. A su vez nos puso en contacto con el ingeniero Fernando Tejedor Grajal encargado junto a Candela de su solución estructural. En conversación telefónica con él en junio de 2018 nos facilitó amablemente datos de interés sobre el desarrollo del proyecto.
- 3/Según Pablo Bueno “Esta idea no tuvo una gran acogida inicial, y Félix la defendió –con energía, pero con gran humildad– hasta conseguir que se aceptara”. Pablo Bueno comenta también que Candela generó para su predimensionado, en unas horas, un programa con una de las primeras calcula-

doras manuales programables, el cual coincidió con gran precisión con los cálculos definitivos (2010 p.183). Fernando Tejedor apunta además que todo el cálculo lo realizó sin ninguna anotación en papel.

- 4/Precisando el significado, por congruencia queremos decir que los centros de los módulos de las dos tramas vengan a coincidir en un mismo punto a intervalos regulares.
- 5/En el perímetro se forman elementos recortados cuyo número de formas diferentes también es reducido.
- 6/Fernando Tejedor, recordaba la existencia de un módulo, con la dimensión de 4,80 como probable, aunque no lo podía asegurar con certeza.
- 7/La solución de Candela hace por tanto posible la congruencia entre las proporciones 4:3 y 3:2, las cuales eran denominadas como sesquitercia y sesquialtera respectivamente en la teoría clásica de proporciones, ya descrita por Platón en sus *Diálogos*.
- 8/ Presentan semejanzas de forma con los paraguas de la estación de metro de Candelaria en ciudad de México.
- 9/ El anteproyecto total de remodelación de la estación se hizo junto con EYSER Estudios y Servicios S.A y AUR, Estudios de Arquitectura, Planificación Urbana y Regional.
- 10/ Estos revestimientos prefabricados sirvieron también como encofrado perdido para el hormigonado entre ellos y el pilar metálico interior, según se aprecia en fotografía de su construcción consultada en biblioteca de la Dirección General de Archivos e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid.

Referencias

- BUENO, P., 2010. Félix Candela. Colaboración con TYPESA en los años ochenta, en P. Cassinello, *Félix Candela. La conquista de la esbeltez*, pp. 177-183.
- CUETO, I. del, 2010. Félix Candela. El arquitecto y su circunstancia. En Del Cueto, editor, *Felix Candela. 1910-2010*.
- METRO, 1984. *Anteproyecto de Remodelación de la estación de Sol. Compañía Metropolitana de Madrid. División de Programación y Proyectos. Documento II-Planos. Edición Abreviada*. TYPESA Técnica y Proyectos S.A., EYSER Estudios y Servicios S.A., AUB Estudios de Arquitectura Planificación Urbana y Regional S.A. Octubre (Archivo Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Comunidad Autónoma de Madrid “AGCI-CAM”).
- METRO, 1985. *Proyecto de decoración y acabados del de remodelación de la estación de Sol del Ferrocarril Metropolitano de Madrid*. Agromán, Cubiertas y MZOV y Dragados. Tomo I. Agosto. Ingenieros: Francisco Jiménez Rubio, Juan Moreno Torres y Javier Pérez-Villaamil Moreno (ADGCI-CAM).

Procedencia de las ilustraciones

Figuras 6, 7, 8 y 9: realizadas en colaboración con Álvaro Antón Torres.
 Figura 8: también con la participación de Delia Sancha Gujarrubia.

Bueno Sanz, current president of TYPESA and author of the article mentioned in the previous note, indicated that no documentation had been saved on the slab. At the same time, he put us in contact with Fernando Tejedor Grajal, engineer in charge together with Candela of the structural solution of the slab. In a telephone conversation with him in June 2018 he kindly provided us with interesting information about the development of the project.

- 3/ According to Pablo Bueno, “This idea did not have a great initial reception, and Felix defended it –with energy, but with great humility– until getting it accepted.” Pablo Bueno also comments that Candela generated, in a few hours, a program with one of the first programmable manual calculators, whose results coincided with great precision with the definitive calculations (2010 p.183). Fernando Tejedor also points out that the entire calculation was done without any notes on paper.
- 4/ For the sake of precision, by congruence we mean that the centres of the modules of the two grids come together at the same point at regular intervals.
- 5/ In the perimeter, trimmed elements are formed whose number of different shapes is also reduced.
- 6/ Fernando Tejedor remembered the existence of a module, with length 4,80m, although he could not assure it with certainty.
- 7/ The solution of Candela makes possible the congruency between the proportions 4:3 and 3:2. They were called Sesquitercia and Sesquialtera, respectively, in the classic theory of proportions, as was described by Plato in his *Dialogues*.
- 8/ They present similarities of form with the umbrellas of the Candelaria metro station in Mexico City.
- 9/ The total remodelling plan of the station was made together with EYSER Studies and Services S.A and AUR, Architecture Studies, Urban and Regional Planning.
- 10/ These prefabricated claddings also served as lost formwork for the concreting between them and the interior metallic pillar, as can be seen in the photograph of its construction consulted in the library of the General Direction of Archives and Infrastructures of the Community of Madrid.

References

- BUENO, P., 2010. Félix Candela. Colaboración con TYPESA en los años ochenta, in P. Cassinello, *Félix Candela. La conquista de la esbeltez*, pgs. 177-183.
- CUETO, I. del, 2010. Félix Candela. El arquitecto y su circunstancia. In Del Cueto, editor, *Felix Candela. 1910-2010*.
- METRO, 1984. *Anteproyecto de Remodelación de la estación de Sol. Compañía Metropolitana de Madrid. División de Programación y Proyectos. Documento II-Planos. Edición Abreviada*. TYPESA Técnica y Proyectos S.A., EYSER Estudios y Servicios S.A., AUB Estudios de Arquitectura Planificación Urbana y Regional S.A. October (Archive Dirección General de Carreteras e Infraestructuras de la Comunidad Autónoma de Madrid “ADGCI-CAM”).
- METRO, 1985. *Proyecto de decoración y acabados del de remodelación de la estación de Sol del Ferrocarril Metropolitano de Madrid*. Agromán, Cubiertas y MZOV and Dragados. Vol. I. August. Engineers: Francisco Jiménez Rubio, Juan Moreno Torres and Javier Pérez-Villaamil Moreno (ADGCI-CAM).

Source of the illustrations

Figures 6, 7, 8 and 9 in collaboration with Álvaro Antón Torres. Figure 8 also with the participation of Delia Sancha Gujarrubia.