

FISAC, CONSTRUCTION BY ANALOGY: Ferroconcrete and brick vaults

FISAC, CONSTRUCCIÓN POR ANALOGÍAS: Hormigón armado y bóvedas tabicadas

Aguado Benito, José Antonio^a

^aUniversidad de Castilla La Mancha. jose.aguado@uclm.es

<https://doi.org/10.4995/CIAB9.2020.10616>

Abstract: This study is an attempt to trace the origins of the relation between brick vaults and thin ferroconcrete skins; Fisac's transformation by analogy of a traditional building method into a new construction technique, both of which were associated with the creation of surfaces with curved geometries, their interactions and their differences. The context is the post-war Spain, of the 1940s and 1950s: the period of Autarky and the beginning of the *apertura* or *opening up* of Spain to the outside world. The study focuses on a reduced number of individuals: Luis Moya, Rafael Aburto, Francisco Cabrero, Eduardo Torroja and, above all, Miguel Fisac. In the case of Fisac, the article proposes a hypothesis concerning the use of recoverable brick vault formwork for creating ferroconcrete elements.

Key Words: Miguel Fisac; Luis Moya; brick vaults; formwork; gull beams.

Resumen: El presente estudio trata de rastrear el origen de la relación entre las bóvedas tabicadas de fábrica y los elementos de membrana de hormigón armado de poco espesor; la traslación por analogía de una forma de construcción tradicional a una nueva técnica, ambas ligadas a la formación de superficies con geometrías curvas; sus interacciones y diferencias. El marco es la España de posguerra, temporalmente abarca las décadas de los 40 y 50 del siglo XX, es decir, los años de la autarquía y el principio de la apertura. Se acota el estudio a unos pocos personajes: Luis Moya, Rafael Aburto, Francisco Cabrero, Eduardo Torroja y, sobre todo, Miguel Fisac. Sobre el trabajo de este último se planteará una hipótesis de solución constructiva para la realización de elementos prefabricados de hormigón armado a partir de encofrados recuperables de bóvedas tabicadas.

Palabras clave: Miguel Fisac; Luis Moya; bóvedas tabicadas; encofrado; vigas gaviota.

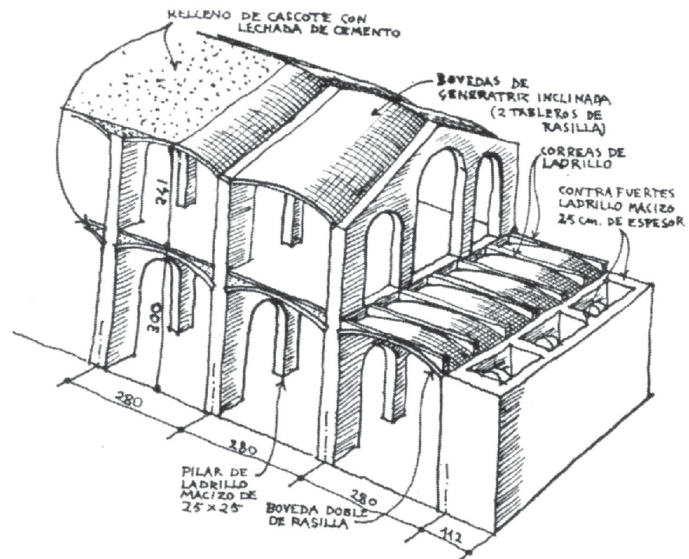


Figure 1. Group of houses composed of two floors of mutually counteracted vaults, with buttresses at the ends of the groups. View in Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas* (Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947) / Figura 1. Grupo de casas compuestas de dos plantas de bóvedas, contrarrestadas entre sí las de cada planta, y con contrafuertes en los extremos del grupo. Visto en Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas* (Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947).

Introduction

The aim of this study is to highlight the significance of Miguel Fisac's approach to constructing beams using thin double curvature skins, made on site using brick formwork. The text focuses on Spain in the 1940s and 1950s, though its results have clear contemporary significance. Its working hypothesis is that Fisac's approach had its origins in his transformation of a traditional construction technique – the brick vault mould, with which he was familiar – into a new technique. To this end the context within which his proposals emerged must be understood: namely the work of Luis Moya, Rafael Aburto, Francisco Cabrero and Eduardo Torroja.

The system of structures: *it's all just a question of bricklaying*

The Spain of the 1940s and 1950s, a period of autarky and isolation, witnessed rekindled interest in Extremaduran and Catalan vaults: brick-built vaults. Purely economic factors (such as the scarcity

Introducción

El objeto de trabajo de este estudio es poner en valor la propuesta de Miguel Fisac para la construcción de vigas compuestas por membranas de poco espesor con doble curvatura de hormigón armado prefabricadas in situ mediante encofrados cerámicos. El marco del estudio se encuentra en las décadas de los años 40 y 50 del siglo XX en España, aunque el resultado es plenamente actual. La hipótesis de trabajo es que el origen de esta propuesta está en el conocimiento de las bóvedas tabicadas de fábrica y que se produce una traslación por analogía de esta forma de construcción tradicional a una nueva técnica. Para ello es necesario entender el contexto donde da lugar a la propuesta de Fisac a través de proyectos de Luis Moya, Rafael Aburto, Francisco Cabrero y Eduardo Torroja.

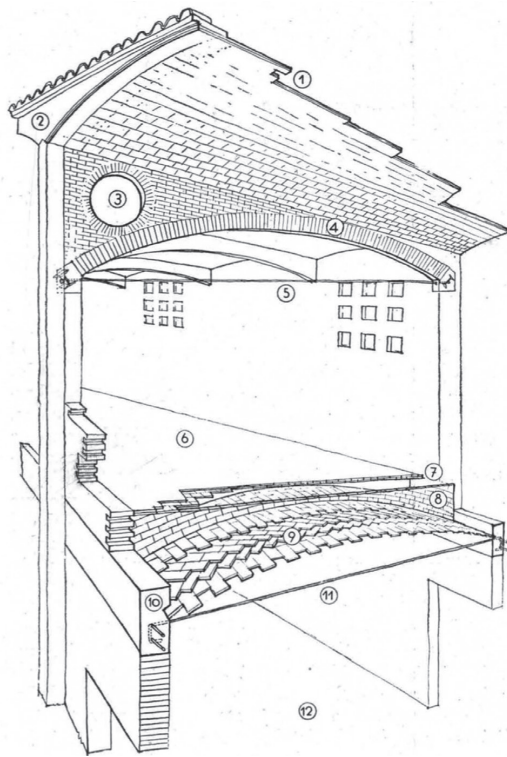


Figure 2. Construction details of the Farm School, Talavera de la Reina. View in Rafael Aburto, "Granja Escuela en Talavera de la Reina," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 80 (1948): 299-306 / Figura 2. Detalle constructivo de la Granja-Escuela en Talavera de la Reina. Visto en Rafael Aburto, "Granja Escuela en Talavera de la Reina," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 80 (1948): 299-306.

of materials - in particular steel - and distribution difficulties) and ideology were equally influential here, the latter as vaults of this kind were held to be a traditional, autochthonous technique, associated with the history of the country.

"In this aspect - that of saving raw materials, as far as we are able - we Architects are particularly well placed to offer a significant counterbalance to the anomalous path the Art of Building is currently treading (...). A greater use of plaster; the construction of floors and roofs based on brick vaults; the use of hydraulic lime or of mixed cement-lime mortars in structures whose forces such adhesive mortars are capable of absorbing, will also make more iron and cement available for those buildings or constructions where it remains impossible to replace them"¹

Structurally, brick vaults are an extraordinarily efficient solution when materials are scarce. When curvature is used to span a space, the structure becomes lighter, because the principal force at play is

El sistema de estructuras: solo albañilería

En la España autárquica y aislada de la década de los 40 y principios de los 50 del siglo XX, renace el interés por las bóvedas extremeñas y catalanas: las bóvedas tabicadas. Influyen tanto cuestiones puramente económicas, (escasez de materiales y en especial del acero, dificultad de distribución, etc.) como aspectos ideológicos, ya que se considera una técnica de construcción nacional, tradicional, ligada a la historia de España.

"En este aspecto del ahorro hasta el límite posible de los materiales básicos, los Arquitectos, principalmente, podemos prestar un gran alivio a la anormal marcha actual de la Edificación (...). El empleo más extenso del yeso; la construcción de pisos y cubiertas a base de bóvedas tabicadas de ladrillo; el empleo de la cal hidráulica o de los morteros mixtos de cal y cemento, en aquellas fábricas cuyas cargas pueden ser absorbidas por dichos morteros de agarre, facilitarían también el que se dispusiera de más hierro y cemento para aquellas construcciones o unidades de obra en que dichos materiales son insustituibles por ahora."¹

Estructuralmente, las bóvedas tabicadas son una solución extraordinariamente eficiente si nos atenemos a la cantidad de material a disponer. Al utilizar la curvatura como medio para salvar la luz, la estructura se aligera puesto que el trabajo preponderante es a compresión y se evitan las flexiones que exigen más canto, más material. Otro aspecto fundamental de esta solución frente es que se puede ejecutar sin cimbrar. El fraguado rápido del yeso en la primera rosca permite la colocación del ladrillo apoyado sobre el elemento precedente. Una vez que se conforma la bóveda completa, adquiere gran rigidez y resistencia. Como contrapartida, aparecen importantes empujes horizontales y es necesaria más mano de obra.

Con estas premisas, el arquitecto Luis Moya propone en 1943 con el bloque de viviendas en Usera, Madrid, encargo de la Dirección General de Arquitectura, una construcción sólo experimental en cuanto a su coste, no en su ejecución. El proyecto es una sistematización y racionalización de la estructura sólo con fábrica, mediante bóvedas tabicadas en cubierta y forjado de planta alta sobre muros perpendiculares a fachada aligerados con arcos. No es necesario que dichas fachadas sean portantes y se reducen a un cerramiento ligero con cámara de aire. La luz entre ejes de muros es de 280 cm y la relación flecha/luz es de 1/10. Las bóvedas van contrarrestando entre ellas sus empujes y, en los extremos de la alineación donde esto no es posible, aparecen contrafuertes (fig. 1).

compression, avoiding the flexion that would require more stones to be used, more material. Another fundamental advantage this solution has over others is that it avoids the use of supports during the construction of the vault. The rapid setting of the plaster means that bricks can be placed on their supporting courses with little delay. On completion, the vault acquires great rigidity and strength. On the downside, powerful horizontal forces are generated, and greater manpower is required.

Responding to these considerations, in 1943 the architect Luis Moya developed a proposal for a housing block in Usera, Madrid, at the behest of the housing authority, the *Dirección General de Arquitectura*. His proposal was experimental only in terms of its cost, not its execution. The project constituted a systematisation and rationalisation of *brick-only* structures using brick vaults for the roofs, and slabs for the upper storeys resting on perpendicular walls, the weight of whose facades was reduced by the introduction of arches. These facades were not required to be load-bearing, being simply light-weight cavity walls. The span between the walls was of 2.8m, with a deflection to span ratio of 1/10. The vaults countered each others' forces mutually, buttresses being placed where they ended and were no longer able to absorb the forces themselves (fig. 1).

"The project was an attempt to harness the achievements of traditional folk practices in order to develop an economically viable approach capable of mass production, which would require neither specialised workers nor materials, and which totally eliminated the use of iron and would in the structure."²

Using the same construction system, Rafael Aburto and Francisco de Asís Cabrero proposed larger scale schemes that further explored the limits of these methods.

Between 1943 and 1951 Aburto built a Farm School in Talavera de la Reina (Toledo) using brick vaults with a deflection to span ratio of 1/12 and spans that varied between three and six metres. In the cattle shed, a system based on Moya's ideas was used, in which the transverse walls were replaced by tied arches with six metre spans, each 3.2 metres apart. A different system was used for the roofs to the ground floor: a segmented barrel vault rests on the facades, the horizontal forces being countered using ties, thereby ensuring airiness (fig. 2).

In 1946, Aburto designed a subsidised housing scheme in Quintanar de la Orden (Toledo) for the *Obra Sindical del Hogar*. The system used in the houses in Usera was more ambitious, in that it involved

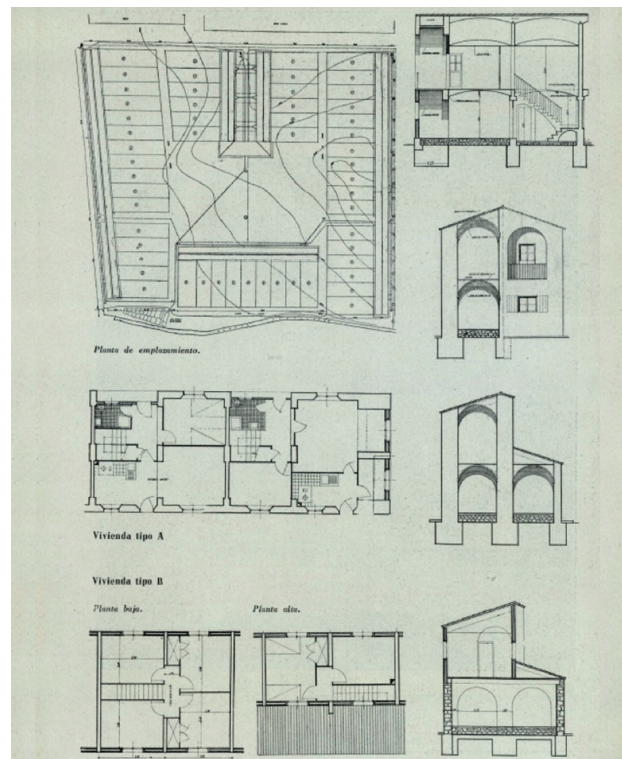


Figure 3. Subsidised housing in Quintanar de la Orden. View in Rafael Aburto, "Viviendas protegidas en Quintanar de la Orden," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 118 (1951): 14-6 / Figura 3. Viviendas protegidas en Quintanar de la Orden. Visto en Rafael Aburto, "Viviendas protegidas en Quintanar de la Orden," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 118 (1951): 14-6.

"El proyecto trataba de sistematizar lo realizado con carácter popular para obtener una solución económica aplicable en grandes series, cuya realización no requiriese obreros ni materiales especiales, y en cuya estructura se eliminase totalmente el hierro y la madera."²

Con este mismo sistema constructivo estructural, Rafael Aburto y Francisco de Asís Cabrero plantearon proyectos de mayor escala explorando las variantes que los medios limitados permitían.

Aburto realiza entre 1943 y 1951 una Granja Escuela en Talavera de la Reina donde emplea bóvedas tabicadas con contraflecha de 1/12 y luces que varían de 3 a 6 metros. En el edificio dedicado a la vaquería, utiliza una evolución del sistema de Moya, donde los muros trasversales se sustituyen por arcos atirantados de 6 metros de luz separados 3,2 metros. En techo de planta baja el sistema varía: apoya una bóveda de cañón rebajada en las fachadas contrarrestando los empujes de ésta mediante tirantes. Logra así mayor diaphanidad en esa planta (fig. 2).



Figure 4. The central patio, the reception salon and the auditorium, Feria del Campo. View in Francisco Cabrero and Jaime Ruiz, "I Feria Nacional del Campo," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 103 (July 1950): 305-18 / Figura 4. Plaza, recepciones y salón de actos de la Feria del Campo. Visto en Francisco Cabrero y Jaime Ruiz, "I Feria Nacional del Campo," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 103 (July 1950): 305-18.

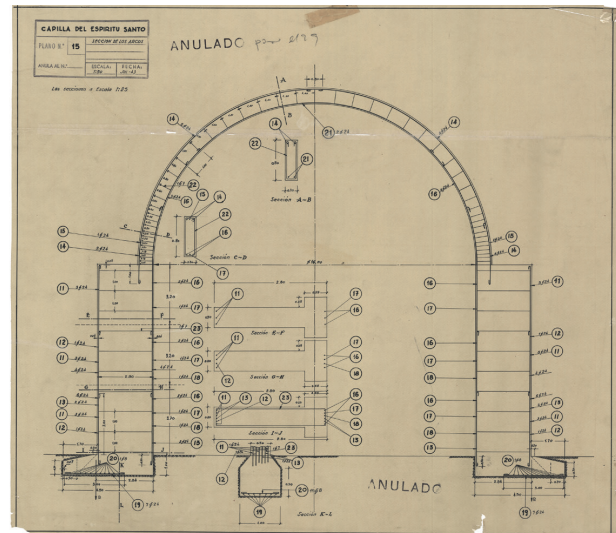


Figure 5. Iglesia del Espíritu Santo. Miguel Fisac. 1943. ©Fundación Miguel Fisac / Figura 5. Iglesia del Espíritu Santo. Miguel Fisac. 1943. ©Fundación Miguel Fisac.

54 homes and a building for trade union activities (*la casa sindical*). Its spans are of four metres, its deflection to span ratio 1/10, and the buttresses are incorporated within the homes themselves. In addition the houses are arranged in longer blocks, in order to reduce the spend on buttresses (fig. 3).

Francisco de Asís Cabrero designed the Virgen del Pilar housing block in Madrid in which, once again, transverse walls are built perpendicular to the façade, brick vaults are raised between them, and buttresses added at either end. The novelty consisted in the fact that the flats are two-storey, and the block has six floors. As in the case of Quintanar, the span is of four metres and the deflection to span ratio is 1/10.

With these projects the system appears to have exhausted its potential and to have nothing more to offer. However, experimentation with the structural scheme had a last lease of life in the series of buildings Cabrero designed with Jaime Ruiz for the Madrid *Feria del Campo* (Agricultural Fair) in 1949. Although a deflection to span ratio of 1/10 was maintained, the spans varied between four and nine metres and the central plaza, the reception salon, the auditorium and the machinery pavilion all displayed radial geometry. As the plaza formed a circle, each of the vaults surrounding it counteracted the forces produced by its neighbours, eliminating the need for final buttresses. The transverse walls were

El mismo Aburto proyecta en 1946 para la Obra Sindical del Hogar un grupo de viviendas protegidas en Quintanar de la Orden. El sistema de las viviendas de Usera se desarrolla de manera más ambiciosa al tratarse de un conjunto urbano de 54 viviendas y una casa sindical: las luces son de 4 metros, la contraflecha de 1/10 y los contrafuertes extremos se incorporan al interior de las viviendas. Además, las alineaciones son de un mayor número de viviendas para amortizar el gasto en contrafuertes (fig. 3).

Francisco de Asís Cabrero realiza el bloque de viviendas Virgen del Pilar en Madrid aparece donde de nuevo el esquema de muro transversales perpendiculares a fachada, bóvedas tabicadas entre ellos y contrafuertes extremos. La novedad consiste en que se trata de pisos en dúplex y se llega a 6 plantas de altura. Como en Quintanar, la luz es de 4 metros y la contraflecha L/10.

El sistema parece agotarse y no dar más de sí. No obstante, la experimentación con este esquema estructural da un último paso más allá en los distintos edificios que proyectó el mismo Cabrero junto con Jaime Ruiz para la Feria del Campo de Madrid en 1949. Aunque se mantiene una contraflecha de 1/10, las luces varían esta vez de 4 a 9 metros. Aparecen geometrías radiales en la Plaza, el Pabellón de Recepciones, el Auditorium o el Pabellón de Maquinaria. Al completar la plaza una circunferencia, todas las bóvedas se contrarrestan entre sí; los contrafuertes extremos son eliminados.

transformed into arches, terminating with an inclined pillar, which worked as a buttress, rendering the parabola of the line of pressure clearly visible. Most novel, and the aspect of the design that opens up new ground is that the vaults themselves form the roof: no secondary slab is used to form a flat roof - as would have been the case in a Catalan vault - and the vault is not used to provide support for tiles. The channels between the vaults were smoothed using mortar, acting as gutters, and the entire structure was covered with water-repellent mortar, producing a single, undulating, roof. Structure and building are united as one (fig. 4).

Fisac: from brick vaults to concrete walkways

Miguel Fisac, who had studied with Aburto and Cabrero, also used brick vaults during this period. In his first solo project, the *Iglesia del Espíritu Santo* (1942) - built on top of the auditorium that Arniches and Domínguez had built on the Colina de los Chopos in Madrid - he roofed the nave using three brick sail vaults each measuring 6.8 by 14m, which rested on ferroconcrete arches. The use of steel - even though it was a very scarce material - was amply justified, as it rendered the building of large brick buttresses superfluous (fig. 5).

“The approach used to construct these vaults was to make four ferroconcrete arches on site (two transversal and two longitudinal) to form a rectangular enclosure, then covering the space with a hollow brick sail vault made using a simple circular wooden frame whose position can be fixed at any given time by means of a spoke radiating from the centre of the sphere of which the vault forms a part.”³

Fisac displayed a high degree of pragmatism, distancing himself from the idea that the answer was *just a question of bricklaying*. The double curvature sail vaults are light because they are supported by the entire structure. The longitudinal arches compensate for each other while their transversal counterparts transmit their horizontal forces to eccentric concrete eccentric foundation, which replace the large buttresses traditionally used. It is worth pointing out that the frames used to build brick arches are very similar to those required to hold up the formwork of concrete arches. By opting to supervise construction himself, Fisac entered into direct contact with the different trades involved, providing him with an accelerated learning process about the reality of the process of building.

In 1949, Fisac used four brick vaults resting on segmented brick arches to roof the *Ermita de la Virgen de los Ángeles*. In the parlance of geometry, these are toroidal surfaces, with a deflection to span ratio of approximately 1/10 and a span of 3.5m between the centre

Los muros transversales se convierten claramente en arcos con un machón extremo inclinado a modo de contrafuerte donde es fácil visualizar la parábola de la línea de presiones. Lo más novedoso y lo que abre un nuevo campo es que las bóvedas son directamente la cubierta; no se dispone otro tablero para formar una cubierta plana a la catalana o para el apoyo de tejas. Las limas entre bóvedas se redondean con mortero para recoger el agua y todo el conjunto se recubre con mortero hidrófugo resultando una cubierta unitaria y ondulante. Forma de estructura y forma constructiva coinciden en un único elemento (fig. 4).

Fisac: de las bóvedas tabicadas a las pérgolas de hormigón

Miguel Fisac, compañero de estudios de Aburto y Cabrero, también utilizó bóvedas tabicadas por esas mismas fechas. En su primer proyecto en solitario, la Iglesia del Espíritu Santo (1942), levantada sobre el basamento de los muros del auditorium que Arniches y Domínguez habían construido en la Colina de los Chopos en Madrid, cubre la nave con tres bóvedas vaídas tabicadas de 6,8 x 14, 0 m cada una sobre arcos de hormigón armado. Emplear armadura de acero, aunque fuese un material muy escaso, compensa con creces puesto que permite ahorrar grandes contrafuertes en fábrica (fig. 5).

“La solución adoptada para la construcción de las bóvedas ha sido formar con cuatro arcos (dos fajones y dos formeros) de hormigón armado un recinto rectangular en planta, cubriendo este espacio con una bóveda vaída, tabicada de rasilla, que se construye con una simple formaleta volante cuya situación puede ser fijada en todo momento por la longitud de un radio que parte del centro materializado de la esfera de que forma parte la bóveda.”³

Fisac se distancia de la solución *solo albañilería* mostrando un gran pragmatismo. Las bóvedas vaídas, con doble curvatura, son ligeras porque se apoyan en todo el contorno. Los arcos formeros se compensan entre sí mientras que los fajones transmiten el empuje a unas pantallas de hormigón con zapatas excéntricas, sustitución de los grandes contrafuertes tradicionales. Cabe destacar que la cimbra para un arco de fábrica es similar a la necesaria para soportar el encofrado de uno de hormigón. Al realizar la obra por administración directa, Fisac entró en contacto directo con los distintos oficios lo que supuso un aprendizaje acelerado de la realidad constructiva en obra.

En 1949, Fisac utiliza cuatro bóvedas tabicadas sobre arcos rebajados de fábrica para cubrir la Ermita de la Virgen de los Ángeles. Geométricamente son superficies tóricas, con contraflecha

of each arch. As this project was more modest in scale than the *Iglesia del Espíritu Santo*, the approach chosen for the vaults is closer to that used by Aburto and Cabrero in their housing projects, though with one fundamental difference: it employs double curvature (fig.6).

In the early 1950s Spain began a timid process of opening up to the outside world, beginning to overcome the shortage of materials it had suffered hitherto. Under these more favourable circumstances, Fisac proposed using concrete for the undulating walkways of the building he designed for the *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC) in Santiago de Compostela (1952), an approach he repeated in his designs for the *Teologado de los Dominicos in Valladolid* (1952) and brought to an extreme in the case of the *Escuela para la Formación del Profesorado in Madrid* (1953). These designs represent a qualitative leap that is nothing other than an extremely hasty translation of Cabrero's proposal for the *Feria del Campo*, replacing brick with ferroconcrete. The geometry of what is, in both proposals, the lightest element of the building - the segmented barrel vault - remains the same for both materials. If the plans are valid in brick, the work being carried out under compression with minimum thicknesses, then so they are if they posit using a curved concrete sheet. The span of the arches was 5m and the deflection to span ratio 1/12, numbers that are compatible with the brick vault approaches dealt with above: reinforcement is necessary only to control shrinkage (fig.7).

The transverse walls, whose weight was reduced by the insertion of arches, were replaced by a concrete portico which merges with the concrete slab making up the wall. A simple change of width produces an embedded beam that, once again, and with no brusque changes in profile, form truncated cone-shaped capitals that, in turn, are transformed into columns of varied cross section. Moya recommended vaults whose loads were concentrated on their flanks "(...) appropriately shaped three-centred, or semi-elliptical arches may be used."⁴ This is the case here, given the possibility of a build-up of snow. For this reason, the middle sections of each demi-arch - which are in this case embedded beams - are reinforced. All the elements are incorporated into a single, continuous surface, appropriate to the fluidity of fresh concrete, of its material nature. The phrase, *it's all just a question of bricklaying* is replaced by *it's all just concrete* with an analogous structural scheme being followed in both cases. In addition, the curvature of the vault/skin is unique and the formwork, made of straight planks of wood, is simplified. For this reason, it needs to be supported along its length by an arcade. The differences lie in the possibilities of ferroconcrete as a malleable material when used with reinforcement that operates under traction.

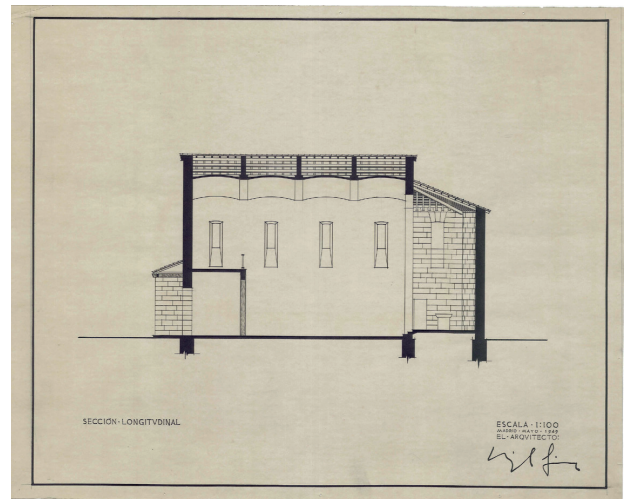


Figure 6. Ermita de la Virgen de los Ángeles. Miguel Fisac. 1949. ©Fundación Miguel Fisac / Figura 6. Ermita de la Virgen de los Ángeles. Miguel Fisac. 1949. ©Fundación Miguel Fisac.

de aproximadamente 1/10 y luz entre arcos de 3,50 m a ejes. Al ser un proyecto más modesto en escala que la iglesia del Espíritu Santo, la solución para las bóvedas es más cercana a los proyectos de vivienda de Moya, Aburto o Cabrero, pero con una diferencia fundamental: emplea doble curvatura. (fig.6)

Al principio de los 50, comienza una tímida apertura y se empiezan a superar las condiciones de carestía de materiales. En estas circunstancias más favorables, Fisac proyecta en hormigón las galerías ondulantes del edificio para el CSIC en Santiago de Compostela (1952), tema que continúa en el Teologado de los Dominicos en Valladolid (1952) y lleva al extremo en la Escuela para la Formación del Profesorado en Madrid (1953). Suponen un salto cualitativo que no nace sino como una traslación muy depurada a hormigón armado de la propuesta en fábrica del proyecto de Cabrero para la plaza de la Feria del Campo. La geometría del elemento más ligero, la bóveda de cañón rebajada se mantiene en ambos materiales; si la solución es válida en ladrillo donde trabaja a compresión con un mínimo espesor, también lo será transformada en una lámina curvada de hormigón. La luz es de 5 m y la contraflecha 1/12, compatible con las soluciones tabicadas que hemos visto: la armadura solo es necesaria para controlar las retracciones (fig.7).

Ahora bien, el muro transversal aligerado por un arco se sustituye por un pórtico de hormigón que se funde con la lámina. Un simple cambio de espesor da lugar a una viga embebida que, de nuevo y

Parenthesis: Brick vaults as lost formwork

A skin with a single direction of curvature implies either a need for linear support to be provided or, in its absence, flexion. Double curvature is more effective but has the inconvenience in the case of ferroconcrete structures that the formwork is geometrically complex and that additional support mechanisms are required. The search for solutions to the problem of creating double curvatures continues today. For this reason, the most common approach when wooden formwork is employed is to use ruled surfaces, which - because they consist of straight generatrices - simplify the construction of the mould. The repertoire is limited: hyperbolic paraboloids, conoids or hyperboloids. However, double curvature is a traditional and perfectly adequate approach to building brick vaults, be they cylindrical, spherical, groin, toroidal, lunette, webbed, or parabolic, etc. the repertory of appropriate forms is wide. Brick vaults require less external support as, rather than requiring their entire structure to be supported, they only need light, mobile equipment to correct their shape. This characteristic has not gone unnoticed: they are suitable for using as lost formwork for ferroconcrete structures.

A paradigmatic example of this application is the *cuba hiperbólica* (hyperbolic barrel, or water tower) in Fedala, Morocco, designed by Eduardo Torroja in 1957. A concrete hyperboloid of revolution is a ruled surface that may be defined by its directrices and generatrices. As the process involved straight lines it was possible to prestress the concrete in two directions avoiding fissures, and to construct the formwork using straight wooden elements. The optimum geometry for the base of the water tank was a torus. This is what led Torroja to propose building a brick vault over the wooden structure to create the lost formwork, as it would be very complicated to shape curved wood to do so. Instead, a three-ringed brick vault was built without the use of concrete, as there was no need at this stage to factor in the loads of the water the finished tower would contain, nor to control for fissuring (fig. 8).

Eladio Dieste followed this example with his reinforced ceramics, as did Ildefonso Sánchez del Río with his wave voussoirs, introducing a certain degree of prefabrication, and continuing the experiment by using brick, steel, concrete and mortar elements.

Fisac and gull beams: brick vaults as recoverable formwork

In his plans for the church and parish buildings of *San Esteban Protomártir* in Cuenca (Spain) in 1959, Fisac proposed a single space that would unfold in the shape of a fan and be roofed using beams/skins set at two different levels. It was envisaged that the

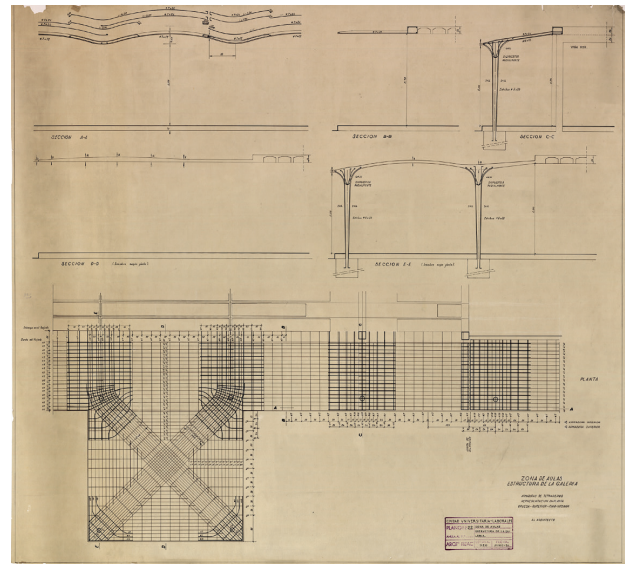


Figure 7. Instituto para la formación del profesorado. Miguel Fisac. 1954. ©Fundación Miguel Fisac / Figura 7. Instituto para la formación del profesorado. Miguel Fisac. 1954. ©Fundación Miguel Fisac.

sin discontinuidades, se concentra en capiteles troncocónicas que a su vez dan lugar a pilares de sección variable. Moya recomendaba que en bóvedas con cargas concentradas en los costados "(...) puede emplearse un arco de tres centros o una semielipse como formas apropiadas."⁴ Este es nuestro caso debido a la posibilidad de acumulación de nieve. Por eso en los riñones de las bóvedas, vigas embebidas, aparece un refuerzo de armadura. Todos los elementos se integran en una superficie única y continua, propia de la fluidez del hormigón fresco, de su propia materialidad. En vez de *todo albañilería*, tenemos *todo hormigón* con un esquema estructural análogo en ambas soluciones. También la bóveda/membrana tiene una única curvatura, se simplifica el encofrado que se realiza con tablillas de madera sin curvar. Por eso es necesario un apoyo continuo en el pórtico. Las diferencias vienen de las posibilidades del hormigón armado como material moldeable y con armaduras que trabajan a tracción.

Paréntesis: Bóvedas de fábrica como encofrado perdido

Una lámina con curvatura en una sola dirección implica o bien un apoyo lineal o la aparición de flexiones. La doble curvatura es más eficaz, pero tiene el inconveniente en las estructuras de hormigón armado de la complicación geométrica que supone el encofrado y los medios auxiliares que exigen. La búsqueda de soluciones que permitan conformar la doble curvatura aún continúa. Por esta razón

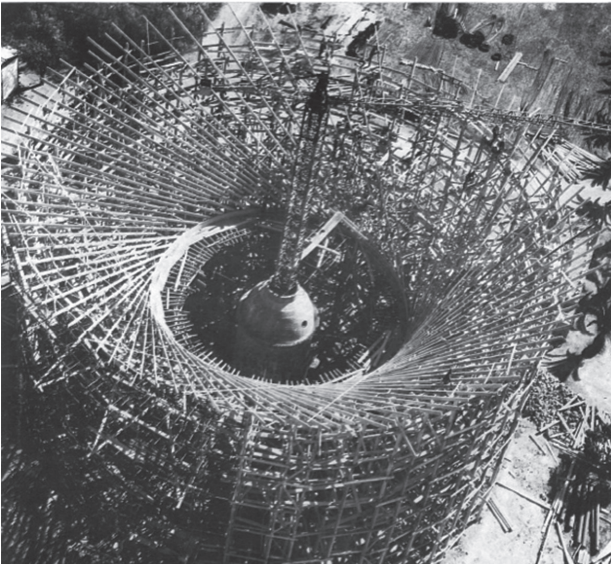


Figure 8. The cuba hiperbólica, Fedala, Morrocco. View in Eduardo Torroja Miret, "La cuba hiperbólica de Fedala" *Informes de la Construcción* Vol. 10, No. 98 (1958): 63-75 / Figura 8. La cuba hiperbólica de Fedala. Visto en Eduardo Torroja Miret, "La cuba hiperbólica de Fedala" *Informes de la Construcción* Vol. 10, No. 98 (1958): 63-75.

beams would be constructed using prefabricated concrete with a "V" shaped cross section and parabolic longitudinal development. It was envisioned that ascending lines of light were to enter between the beams, converging on the altar. The beams were to be prefabricated on site before being raised to roof level. He called these gull beams (fig. 9).

Fisac did not win the competition to build *San Esteban Protomártir*, but two years later the opportunity arose to advance a similar proposal in his designs for the chapel of the *Colegio Apostólico del Espíritu Santo in Calahorra* (Rioja – see fig.s 8 and 9). But this, too, was never built:

"It was not finished because it was decided not to build on that site. I think it was later bought by the state for a secondary school. Of the planned chapel, only the foundations were completed."⁵

However, the structural plans for the building define the geometry and reinforcement of the gull beams in precise detail (fig. 10). A parabolic directrix provides the base, formed of the arc of a circle, of the same curvature. The project records provide some indication of how the formwork was created:

"The church is a circular quadrant covered in pre-fabricated pieces of pretensioned thin shell concrete that are supported peripherally

la solución más habitual con encofrados de madera es mediante superficies regladas que al tener generatrices rectas simplifican la construcción del molde. El repertorio es limitado: paraboloides hiperbólicos, conoides o hiperboloides. No obstante, la doble curvatura es una solución tradicional y muy adecuada para las bóvedas de fábrica: Bóvedas cilíndricas, esféricas, de arista, toros, lunetos, plementerías, con sección parabólica, etc. el repertorio de formas propias es amplio. Las bóvedas tabicadas exigen menos medios auxiliares al no necesitar cimbra sino solo alguna herramienta ligera y móvil para su replanteo. Esta particularidad no ha pasado desapercibida: pueden servir como encofrado perdido para estructuras de hormigón armado.

Un ejemplo paradigmático de aplicación es la cuba hiperbólica en Fedala que proyectó Eduardo Torroja en 1957. Un hiperboloide de revolución de hormigón es una superficie reglada que se puede definir por sus directrices y generatrices. Al ser líneas rectas es posible tanto el pretensado en dos direcciones para evitar fisuras como la construcción del encofrado con elementos lineales de madera. Ahora bien, para el fondo del depósito la solución óptima geoméricamente es una superficie tórica. Es aquí donde Torroja propone una bóveda tabicada como encofrado perdido del hormigón porque un molde en madera sería muy complejo al implicar la curvatura las tablas de encofrado. La cubierta se soluciona directamente con una bóveda tabicada de tres roscas sin hormigón puesto que ya no tiene ni las solicitaciones debidas al agua ni la necesidad del control estricto de la fisuración (fig. 8).

Siguiendo este ejemplo Eladio Dieste con su cerámica armada e Ildefonso Sánchez del Río con las dovelas onda, donde introduce un cierto nivel de prefabricación, continuaron la experimentación uniendo elementos de fábrica, acero y hormigón o morteros.

Fisac y las vigas gaviota: las bóvedas tabicadas como encofrado recuperable

En la iglesia del concurso para el complejo parroquial de San Esteban Protomártir en Cuenca de 1959, Fisac propone un espacio unitario con planta en abanico cubierto con vigas/membrana en dos niveles. Proyectadas con hormigón prefabricado con sección transversal en forma V y desarrollo longitudinal parabólico, introduce la luz entre las vigas en forma de líneas ascendentes y convergentes hacia el altar. Propone que las vigas sean prefabricadas a pie de obra y elevadas hasta la cubierta. Las denomina vigas gaviota (fig. 9).

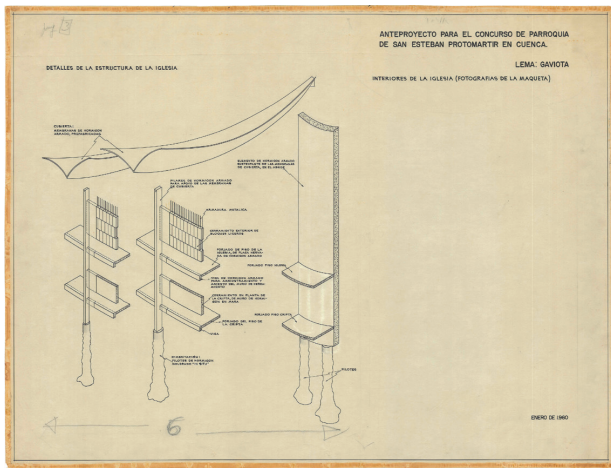


Figure 9. Competition for the construction of the Parroquia de San Esteban Protomártir in Cuenca. Miguel Fisac. 1960. ©Fundación Miguel Fisac / Figura 9. Concurso para la Parroquia de San Esteban Protomártir en Cuenca. Miguel Fisac. 1960. ©Fundación Miguel Fisac.

on straight platforms made of ferroconcrete and, in the apse, on a ring-form beam, also the sector of a circle. The overall lighting of the church is provided by large linear windows, which connect every part of the shell, while light pours into the apse through the gap left by the curved beam.

These roofing elements will be constructed on site using inverted, brick-built moulds with polished surfaces.”⁶

The use of the term *pretensioned concrete* is clearly an error, as it is not the material described in the structural details. We suggest the hypothesis that these *inverted, brick-built moulds with polished surfaces* are nothing other than recoverable formwork made by building brick vaults on top of brick walls. This is a prefabrication process carried out on site without any industrial processes being required. It involved an ingenious reinterpretation of traditional construction methods for the purpose. Prefabrication also meant the mould could be used several times, preserving the exact geometry of the gull beams.

Construction was to commence with three converging supports, presumably consisting of hollow brick walls, whose geometry would be defined by the three catenaries formed by the edges of the gull beams. In order to describe each beam it is sufficient simply to hang a chain of predefined length between two posts. Once the walls have been braced diagonally, circular section brick vaults may be built. In order to describe the brick vaults with precision, a tool used in traditional architecture could be employed: a device

No ganó el concurso, pero dos años más tarde, se le presenta la oportunidad de volver a plantear una solución similar en la capilla del Colegio Apostólico del Espíritu Santo en Calahorra, aunque tampoco se ejecutó:

“No se llegó a terminar, pues la propiedad decidió no instalarse en aquel lugar. Creo que después fue adquirido por el estado para Instituto de Segunda Enseñanza. De la capilla prevista sólo llegó a realizarse la cimentación.”⁵

No obstante, el proyecto de ejecución está desarrollado y podemos encontrar la geometría y los armados de las vigas minuciosamente definidos en los planos (fig. 10). Una directriz parabólica sobre la que desliza un arco de círculo manteniendo la curvatura. Para la construcción del encofrado solo tenemos la siguiente indicación que encontramos en la memoria del proyecto:

“La iglesia es un cuadrante circular cubierto por unas piezas prefabricadas de hormigón pretensado de membrana ligera que se apoya periféricamente en unos pies derechos también de hormigón armado, y en el ábside por un anillo en forma de viga curva también de sector circular. La iluminación general de la iglesia se hace por ventanales lineales que enlazan cada una de las piezas de membrana y el ábside fuertemente iluminado por el hueco que deja esta viga curva.

Las construcciones de estos elementos de cubierta se prevén a pie de obra sobre unos moldes invertidos, hechos de fábrica, con superficie de cemento bruñido.”⁶

La calificación de *hormigón pretensado* es claramente una errata porque no es lo que se describe en los detalles de estructura. Planteamos la hipótesis de que estos *moldes invertidos, hechos de fábrica, con superficie de cemento bruñido* no son sino un encofrado recuperable realizado con bóvedas tabicadas sobre muros de fábrica. Se trata de una prefabricación a pie de obra, sin necesidad de desarrollo industrial, utilizando una ingeniosa reinterpretación de métodos tradicionales de construcción para la fabricación del molde. La prefabricación posibilita también el aprovechamiento del molde varias veces y mantener la geometría exacta de estas vigas gaviota.

La construcción comenzaría con el replanteo de tres apoyos lineales concurrentes, seguramente muros aligerados, con la geometría de las aristas de la viga gaviota en catenaria. Se puede trazar su geometría con una simple cadena colgada. Una vez arriostrados estos muros entre sí, se construyen bóvedas tabicadas con sección

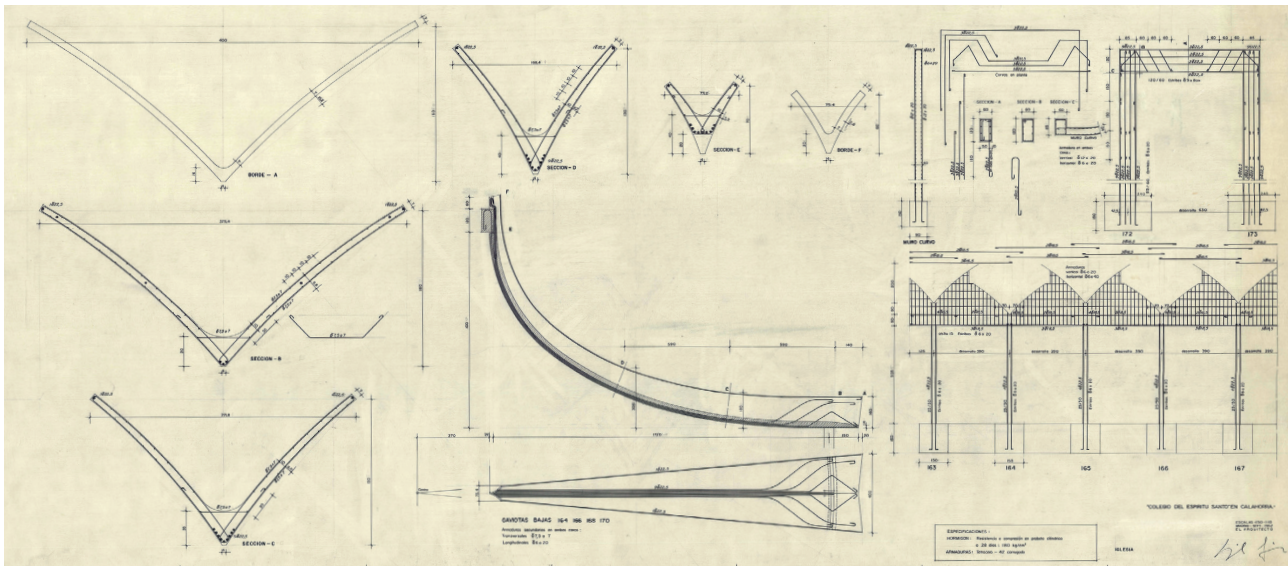


Figure 10. Plans for the structure of the Colegio del Espíritu Santo. Miguel Fisac. 1962. ©Fundación Miguel Fisac / Figura 10. Plano de estructura del Colegio del Espíritu Santo. Miguel Fisac. 1962. ©Fundación Miguel Fisac.

made of two slotted, curved pieces of wood, with two fasteners to lock the device once the desired curve was achieved. This device can be opened or closed to form arcs of different length but the same curvature. The concrete would be polished to facilitate the ejection of the beam from the mould once set. The result is a double curvature concrete beam.

Conclusion

Brick vaults are a construction system in which the material nature of bricks – namely their small size – makes it possible for them to be moulded to the form of double curvature surfaces. Fisac had understood the technique perfectly since his first professional project, the *Iglesia del Espíritu Santo*. He proposed using brick vaults as recoverable moulds for the production of beams/membranes, which would transfer geometry to the concrete that would have been very costly to achieve with other kinds of formwork. It is a geometry that permits minimum beam thickness to be achieved, and considerable reductions in the weight of an architectural element that, once released from the formwork, is self-supporting and acquires a new structural identity. This process, which involved a recycling of traditional techniques for building brick vaults in order to construct prefabricated elements with double curvature, has never actually been used. Perhaps now is the time for it to be recovered.

transversal circular. Para su replanteo basta con una herramienta ya utilizada en la construcción histórica consistente en una forma de madera con dos tablas curvas con una hendidura y dos pasadores. Puede abrirse y cerrarse creando arcos de distinta longitud y misma curvatura. El bruñido de cemento no es sino una forma de crear una superficie lisa que facilite el desencofrado. De esta manera hemos logrado la doble curvatura en un elemento de hormigón.

Conclusión

Las bóvedas tabicadas son un sistema constructivo donde la propia materialidad del ladrillo, su pequeña dimensión, permite aproximarse de manera natural, como una cualidad interna, a superficies con doble curvatura. Fisac, que conoce perfectamente esta técnica desde su primera obra, la *Iglesia del Espíritu Santo*, propone la utilización de bóvedas tabicadas como molde recuperable para construir unas vigas/membrana, donde se transfiere al hormigón una geometría que con otros tipos de encofrados sería costoso de conseguir. Geometría que permite un mínimo espesor y una reducción considerable del peso en un elemento que, una vez desencofrado, es autoportante y adquiere una nueva naturaleza estructural. Esta forma de reciclar la técnica tradicional de las bóvedas tabicadas para lograr elementos prefabricados con doble curvatura no se ha llevado nunca a cabo. Quizá ahora es el momento de recuperarla.

José Aguado Benito. Madrid, 1966. He holds a degree in Architecture from Madrid Technical School of Architecture (ETSAM) since 1991. He currently works on his doctorate thesis on the "Miguel Fisac an the Hybrid structures" and he is also professor in Toledo School of Architecture (UCLM). He simultaneously develops his current practice in teaching, research and professional activity.

Notes

- ¹ Enrique Azpilicueta, "La construcción de la arquitectura de postguerra en España (1939-1962)" (PhD diss., Universidad Politécnica de Madrid, 2004), 187
- ² Luis Moya Blanco, "Casas abovedadas en el barrio de Usera construidas por la Dirección General de Arquitectura," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 14 (1943): 52
- ³ Miguel Fisac Serna, "Iglesia del Espíritu Santo, en Madrid," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 78 (June 1948): 199-206.
- ⁴ Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas* (Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947), 22.
- ⁵ Francisco Arqués Soler and Miguel Fisac Serna, *Miguel Fisac* (Madrid: Ediciones Pronaos, 1996), 166.

Bibliographic references

- Azpilicueta, Enrique. "La construcción de la arquitectura de postguerra en España (1939-1962)." PhD diss., Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- Arqués Soler, Francisco and Fisac Serna, Miguel. *Miguel Fisac*. Madrid: Ediciones Pronaos, 1996.
- Fisac Serna, Miguel. "Iglesia del Espíritu Santo, en Madrid." *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 78 (June 1948): 199-206.
- Moya Blanco, Luis. "Casas abovedadas en el barrio de Usera construidas por la Dirección General de Arquitectura" *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 14 (1943): 52.
- Moya Blanco, Luis. *Bóvedas tabicadas*. Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947.

Photographic references

- Aburto, Rafael. "Granja Escuela en Talavera de la Reina." *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 80 (1948): 299-306
- Aburo, Rafael. "Viviendas protegidas en Quintanar de la Orden." *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 118 (1951): 14-6
- Cabrero, Francisco and Ruiz, Jaime. "I Feria Nacional del Campo." *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 103 (July 1950): 305-18.
- Torroja Miret, Eduardo. "La cuba hiperbólica de Fedala." *Informes de la Construcción* Vol. 10, No. 98 (1958): 63-75.
- Moya Blanco, Luis. *Bóvedas tabicadas*. Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947.

José Aguado Benito. Madrid, 1966. Arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid (ETSAM) en 1991. Actualmente desarrolla su tesis doctoral sobre la construcción por analogías y estructuras híbridas en la obra de Miguel Fisac y es profesor de estructuras y construcción en la Escuela de Arquitectura de Toledo (UCLM). Desarrolla en paralelo la actividad docente, la investigadora y profesional.

Notas

- ¹ Enrique Azpilicueta, "La construcción de la arquitectura de postguerra en España (1939-1962)" (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2004), 187
- ² Luis Moya Blanco, "Casas abovedadas en el barrio de Usera construidas por la Dirección General de Arquitectura," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 14 (1943): 52
- ³ Miguel Fisac Serna, "Iglesia del Espíritu Santo, en Madrid," *Revista Nacional de Arquitectura*, no. 78 (Junio 1948): 199-206.
- ⁴ Luis Moya Blanco, *Bóvedas tabicadas* (Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947), 22.
- ⁵ Francisco Arqués Soler and Miguel Fisac Serna, *Miguel Fisac* (Madrid: Ediciones Pronaos, 1996), 166.