

LAS ESTRUCTURAS DE ENTRAMADO: COMPOSICIÓN Y ORÍGENES

FRAMED STRUCTURES: COMPOSITION AND ORIGINS

Ignacio García Casas

Resumen

Las estructuras de entramado constituye un tipo de estructura mixta resultante de la conjunción de los muros de fábrica y armaduras leñosas de modo que la madera dota de ligereza y resistencia a la estructura permitiendo elevar mayores alturas y salvar mayores luces que con el empleo único de la fábrica en muros y bóvedas.

Su origen es tan antiguo como el del empleo de la madera para la ejecución de herramientas y artilugios militares dándonos Vitruvio las primeras referencias al respecto.

El desarrollo de sistemas entramados compuestos por muros, forjados y armaduras de cubiertas ha dado lugar al desarrollo de un rico vocabulario en la designación de los diferentes elementos estructurales: pie derecho, tornapunta, carrera, pendolón, etc. Son parte de este léxico en los que cada término está referido una pieza de forma y función específica en el sistema.

La combinación de fábrica y madera permite elaborar diferentes variables en la ejecución de cimentaciones, muros, forjados y armaduras que se adaptan a las necesidades y capacidades de cada espacio y cada tiempo.

Se definen como estructuras entramadas aquellas integradas por piezas en planos verticales, horizontales o inclinados constituyendo un conjunto estructural resistente. Esta definición abarca tanto las estructuras de madera como las de hierro entendiendo el entramado como una retícula espacial permeable. Sin embargo se entiende de un modo generalizado como estructuras de entramado aquellas mixtas compuestas por fábrica de ladrillo u otros materiales pesados y carpintería de armar.

Summary

Framed structures constitute a kind of mixed structure, resulting of the conjunction of fabric walls, and ligneous armours in such a way that wood endows lightness and resistance to the structure permitting the elevation to greater heights and saving bigger spans than with the only use of walls and vaults.

Its origin is as ancient as the use of wood for the manufacture of tools and military implements, giving us Vitruvius the first references to that respect.

The development of framed structures composed by walls, floors and roofing armours has given place to the development of a rich vocabulary in the designation of different structural elements, studs, wedges, girders, bridging-brace, etc. are part of this language in which each expression is referred to a piece of specific shape and function in the system.

The combination of fabric and wood permits elaborating different variables in the completion of foundations, walls, floors and armours that are adapted to the needs and capabilities of each space and time.

Framed structures are those integrated by elements in the vertical plane, horizontal plane or inclined one forming a structurally sound group. This definition includes both the wooden structures and the iron structures where the structure is conformed by a permeable spatial grid. Nevertheless, the term frame structures is used in a generalized way to encompass those mixed framed structures made of masonry or other materials together with wooden carpentry.

1. Antecedentes de los sistemas estructurales leñosos.

El empleo de la madera como material estructural aparece en diversos textos antiguos referidos a construcciones civiles y maquinaria miliar:

*"Es preciso así mismo que las paredes, los pies derechos, y las columnas caigan todos bien a plomo sobre las que están debajo, a fin de que tengan solidez; porque si la carga de las paredes o de las columnas quedase en falso, no podrían tener firmeza duradera. Además, es necesario poner postes debajo de cada dintel a uno y otro lado de las jambas, con el fin de impedir que los dinteles o los antepechos, recargados con el peso del muro que sostienen, lleguen a pandearse por el centro y causen pronto la ruina de la pared. Pero estos puntales, si se han colocado debajo y se han sujetado bien por medio de cuñas, impedirán que las vigas se cuarteen por efecto de la carga y que los dinteles se hundan."*¹

De esta manera nos describe Vitruvio el empleo de la madera para apuntalar los dinteles. La amenaza de ruina en una construcción requiere la utilización de un material suficientemente ligero, asequible, de fácil labra y rápida puesta en obra. La madera contaba con estas propiedades ya experimentadas fundamentalmente en las construcciones y máquinas de carácter militar. *"Por máquina se entiende la sólida reunión de piezas de madera que tengan gran poder para mover pesos"*. La rápida ejecución de diques en los fosos de las murallas asediadas, las tortugas y torres de ataque son detalladamente descritas por Vitruvio incluso aportando una precisa relación de las proporciones que debían adoptarse en la construcción de estas máquinas. A la madera se la confiaba los esfuerzos de flexo-compresión mientras que los de tracción eran absorbidos por sogas y cadenas en funciones de tirantes y vientos que soportaban el acarreo de las piezas y el tensado de los pies derechos.

1. Background of the timber frames.

The use of wood as a structural material appears in different old texts referred to civil buildings and to military machinery.

*"Walls, studs and columns need to be correctly plumbed to the other elements supporting them so that they are solid. If the loads of the walls or columns are not balanced, they would not be firm and solid through time. It is also necessary to place posts under the lintels, to either side of the jamb to prevent the overloaded lintels from warping at the centre and further collapsing. But if studs have been placed underneath and joined tightly with wedges, they will prevent the beams from cracking and the lintels from collapsing or sinking due to the heavy load"*¹.

Vitruvius explains in this way the use of the wood to shore the lintels. The risk of collapse in a construction makes that a light material, available, easy to be worked and of quick installation on site is used. Wood compiles all these properties and has widely been used in construction and military machinery. "By machinery, we mean the solid bonding of wooden pieces able to move heavy weights". Vitruvius gives a detailed description of the quick erection of the dykes at the besieged city wall moats. He explains in detail the military machinery and the attack towers as well as the proportions needed to build this type of machinery. Timber was submitted to flexo-compressive stresses whereas the tensile force was absorbed by ropes and chains used as stays supporting the movement of the pieces and the tension of the studs.

Junto con la torre de ataque, la construcción de puentes de madera responde en sus inicios a necesidades militares de salvar ríos en el asedio de ciudades. Así, el puente sobre el Danubio fue construido por Trajano en las expediciones contra los dacios. El del Rhin lo levantó Julio Cesar en las incursiones romanas.

El arquitecto Apolodoro de Efeso sentó una serie de principios en los que convergen las carpinterías rápidas militares de los antiguos con las estructuras de apeo actuales: *"Estas obras han de componerse con madera, fácil de encontrar en el bosque, ser variadas en sus formas, muy resistentes en sus dimensiones, ligeras, realizadas con la ayuda de los primeros obreros que el azar procure, de ejecución rápida, de una reparación simple, al resguardo de imprevistos, de un transporte cómodo, poco combustibles, difíciles de romper, fáciles de desmontar"*.

Los carpinteros encargados de ejecutar este tipo de construcciones eran militares: *"Sobre escaleras, plataformas y fortificaciones cuya disposición es más elemental y fácil, no he considerado necesario describir. Por otra parte estas cosas incluso los soldados tienen la costumbre de hacerlas por si mismos"*. La acepción cuento, utilizada en la antigüedad para referirse a los puntales o pies derechos, tiene su origen en una técnica militar de ataque.

Poner cuentos o sobre cuentos a un muro o una torre constituía el procedimiento seguido para perforar una fortificación en los tiempos anteriores a la aplicación de la pólvora, cuando el ariete se mostraba impotente para el caso. El método era muy elemental: se abría un paso subterráneo (cuniculus) a través del foso y se socavaba el muro en la extensión conveniente, sosteniéndolo provisionalmente con cuentos o pilares de madera. Cuando la operación había finalizado, se prendía fuego a los puntales. Al consumirse aquéllos, la fábrica se desplomaba:

Together with the attack tower, the construction of bridges was another example of the military needs, in this case to span the river. The bridge over the Danube was constructed by Trajan in the expedition against the Dacians. The one over the Rhine was erected by Julius Cesar during the Roman incursions.

The architect Apolodorus of Efesus stated certain principles where the woodwork of the old military machinery coincides with the present shoring structures: "These works are to be done with wood, easily available in the forests, varied in shape, very resistant according to dimensions, light, worked by the first labourers at hand, of quick construction, easy reparation, easily transportable, not easily combustible, difficult to break and easy to dismantle".

The carpenters in charge of this woodwork for these types of constructions were people serving the army. "On ladders, platforms, and fortifications with basic and simple structure, I have not considered important to describe. At the same time, the soldiers are used to work these constructions themselves". The old term used for studs, is in Spanish "cuento", which originally comes from a military attack technique.

To erect studs ("cuentos") in a wall or a tower was the common procedure followed to perforate a fortification in the time period prior to the use of gunpowder. The method was very basic: an underground pathway (cuniculus) was opened through the moat and the wall was excavated accordingly, supporting the opening with studs or wooden pillars. Once the work had finished, these studs were burnt, causing the masonry to collapse.

"Y que fuesen so la tierra hasta que llegassen al lugar do pudiesen aquella torre poner sobre cuentos y cayesen... Aquellos llegaron só la torre y pussieronla toda sobre cuentos y el rey tenía ordenado que pussiesen fuego a la madera sobre la que estaba la torre".

La técnica de ensamble de piezas de madera para la ejecución de construcciones se mantuvo sin notorias variaciones desde la época romana hasta el siglo pasado. Choisy nos la describe de esta manera:

"Los ensambles son de una perfecta rigidez. Para entender el diseño de la torre más lógica, he figurado las juntas con hierro tal como las que se emplearían hoy: pero como las harían los antiguos, y después los constructores de la Edad Media, que admitían con cierta reserva el hierro en sus carpinterías".

Choisy a continuación detalla estos ensambles según el texto de Apolodoro, comentado por Herón de Alejandría:

"En este sistema de llaves, o mejor dicho, de cabillas en madera de forma cilíndrica C, hacían adherir las vigas a las piezas que encajonaban. Estas impedían deslizarse unos tablones sobre otros pero no el que se separaran. Para lograr que esto no ocurriera se juntaban las piezas mediante bridas de madera como la D. Las llaves o espigas no eran otra cosa que gruesas clavijas; las entabladuras, los agujeros de barrena, las varillas, las tablas de ripia, los listones".

Choisy nos relata como en la Roma de 1873 se pueden observar postes de andamiaje ensamblados según la técnica romana². Este sistema de ensamblaje es el utilizado por Giusepe Valadier (1762-1839) para apeaar las ruinas del anillo exterior de fachada en el Coliseo y que sirvió de andamiaje en la construcción de los contrafuertes que le encargó León XII.

"And they were under the ground until they reached the place where the studs could be placed ... They reached under the tower and shored it with the studs when the King would order to put it on fire."

The technique of timber joints for these type of constructions did not vary significantly from the time of the Romans up until the last century. Choisy describes it in the following way:

"The joints are perfectly rigid. To understand the tower design more logically, I have designed the joints with iron as they would be used now; but as the people in older times would do it, and later the builders of the Middle Age would follow, although they scarcely used iron in their woodwork."

Choisy later explains these joints according to the text of Apolodorus, commented by Heron of Alexandria:

"The beams were adhered to the pieces in which they were embedded with this system of joints formed by a cylindrical shape wooden dowel. This would prevent the boards from slipping but not from separating. So as to achieve this, the pieces should be tied together with wood. The dowels were basically large plugs; such as the drill bits, rods, bars or strips."

Choisy tells how in 1873 in Rome scaffolding posts using the Roman technique² could still be seen. This system is the one used by Giusepe Valadier (1762-1839) to shore the ruins of the external façade of the Coliseum and which served as scaffolding in the construction with buttresses ordered by Leon XII.

2. Evolución de los sistemas entramados.

El entramado se basa en el empleo de piezas longitudinales diversas y sometidas a esfuerzos de compresión, flexión o tracción. Se diferencian así de las estructuras de fábrica al componerse éstas por masas pesadas y continuas sometidas fundamentalmente a esfuerzos de compresión.

En la formación de planos verticales mediante fábrica se genera el muro como el resultado de elevar una masa suficientemente esbelta pero estable. El cierre de espacios se perfecciona en las estructuras de fábrica con la bóveda como elemento capaz de salvar luces y cubrir espacios sometido exclusivamente a tensiones de compresión. La necesidad de alcanzar cada vez mayores luces reduciendo costes de encimbrado y aligerando la fábrica da lugar en primer lugar a la formación de estructuras mixtas en la que los planos verticales del muro se continúan resolviendo por masas homogéneas pero en la ejecución de planos horizontales de piso e inclinados de cubierta y escalera se recurre a sistemas constructivos más ligeros capaces de soportar tensiones de flexión y tracción siendo la madera el material base elegido.

La combinación de piezas de madera en el plano da lugar a las primeras estructuras entramadas. La incorporación de elementos de madera a la fábrica del muro aligera su masa y reorganiza la distribución de tensiones. Este conjunto estructural compuesto por fábrica pesada y elementos lineales de madera en todos los planos constructivos de la edificación es lo que Marcos y Bausá denomina fábricas de entramado:

“Las fábricas de entramado, muy usadas en Madrid, son aquellas en las cuales entra la madera como elemento principal de construcción, la que proporciona la fuerza y trabazón que en gran manera poseen, sirviendo los materiales de albañilería en ellas usados, como de cerramiento de los diversos huecos o compartimentos que dejan los maderos, si bien contribuyen a aumentar también su solidez”³.

2. Evolution of the framed systems.

The framed structure is based on the use of longitudinal pieces of different lengths subject to compression, tension or flexion stresses. They differ from the masonry structures because these ones are continuous and heavier, and are basically subject to compressive forces.

In the formation of masonry vertical planes the wall is erected as the result of raising a slender but stable mass. The closing of the spaces is improved by the use of masonry domes subject to compressive stresses only, and able to span and cover openings. The need to cover greater spans reducing the centering and lightening the masonry resulted in the formation of mixed structures, in which the vertical planes of the walls are still made of homogeneous masses. But in the horizontal planes of floors, or the inclined plane of roofs and stairs, lighter constructive systems are used capable of withstanding tensile and flexion forces. In this case, wood is the chosen material.

The combination of timber pieces on the same plane is the origin for the first framed structures. The incorporation of wooden elements to the wall masonry lightens its weight and redistributes the thrusts. This structural group made of heavy masonry and linear wooden elements has given birth to the term “framed masonry” stated by Marcos and Bausá:

“The framed masonry, very used in Madrid, is the one where wood appears as a main element of construction, providing resistance and consistency. The masonry materials used, serve as enclosure for the different spans left by the wooden elements and at the same time they contribute to increase their solidity”³.

La necesidad de operar reparaciones sobre este sistema constructivo y la evolución marcada por los nuevos materiales desemboca en el desarrollo de entramados metálicos o de hormigón armado más conocidos como sistemas estructurales porticados para diferenciarlos de los sistemas masivos de fábrica. Queda de esta forma la fábrica entramada como un sistema estructural a medio camino en la evolución de los sistemas masivos y continuos hacia los sistemas ligeros porticados a pesar de lo cual su eficacia ha propiciado que el periodo histórico en que se desarrolla se extienda desde los orígenes de la arquitectura hasta ya entrado el siglo XX.

3. Estabilidad de la trama.

La estabilidad de las estructuras entramadas y mixtas se basa en dos condicionantes:

- 1) La indeformabilidad de la crujía básica.
- 2) La optimización del sistema en la combinación de crujías.

La crujía básica.

Definimos la crujía básica como la célula o cuerpo constructivo básico necesario para garantizar la estabilidad de un espacio cerrado. Constituye la simplificación máxima de un sistema estructural dotado de sus elementos constructivos necesarios para alcanzar la estabilidad perseguida.

La crujía básica en un sistema estructural de entramado es de forma prismática. Sus paramentos se desarrollan en superficies planas formadas por tramas con composición y funcionamiento diverso según las características de los materiales empleados y su comportamiento mecánico. Las diferentes propiedades mecánicas de los materiales empleados en cada tipo de estructura entramada condicionan su sistema de transmisión de tensiones para garantizar la estabilidad de la crujía.

The need to repair these constructive systems and the evolution of the new materials has developed in a new type of framed structures made of metal or reinforced concrete known as portal framed structures, to distinguish them from the massive masonry systems. As a consequence, the framed masonry stands as a structural system half way between the evolution of the massive and continuous systems and the light portal systems. Nevertheless, due to its efficiency, it has been widely used throughout time from the origins of architecture to the 20th century.

3. Frame stability.

The stability of the framed and mixed structures is based on two conditions:

- 1) *the unstrained characteristic if the basic bay.*
- 2) *the optimization of the system in the combination of bays.*

The basic bay.

The basic bay is defined as the cell or the basic constructive body needed to ensure the stability of a closed space. It constitutes the maximum simplification of the structural system with the necessary constructive elements to reach the aimed stability.

The basic bay in a framed structure is of prismatic shape. Its parameters develop on flat surfaces by grids with different composition and function regarding the characteristics of the material employed and their mechanic behaviour. The different mechanical properties of the materials used for each framed structure condition its transmission system of the thrusts to ensure the bay stability.

Por tanto, la utilización de unos materiales diferentes a los originarios en la reparación de estructuras entramadas puede introducir problemas de desestabilización en la trama objeto de intervención si no va acompañada de un análisis previo de comportamiento combinado de los materiales originales con los aplicados, no solo en el ámbito de las reacciones químicas o electroquímicas sino en el comportamiento mecánico del conjunto.

Los elementos estructurales

Cumplen funciones de contrarresto y transmisión de cargas a su base sustentante (ya sea el terreno u otra crujía inferior). Dicho elementos no varían con independencia del sistema constructivo en el que se integran. Puede diferir su composición o simplemente su denominación según el material empleado. Los elementos en una estructura entramada son:

- Forjados.

Se componen de dos elementos básicos: la viguetería, que soporta las cargas superiores trabajando a flexión y el entrevigado (en algunas variables sobrevigado según su ubicación) formado por fábrica que cuaja los huecos entre la viguetería dotando al conjunto de rigidez. Su denominación es invariable de unos sistemas a otros con excepción de la losa armada caracterizada por su plano horizontal ejecutado en hormigón armado con apoyos bidireccionales. El forjado no solo cumple funciones de soporte de sobrecargas sino también de arriostramiento, por atirantado y acodalado, de las líneas de carga en las que apoya o se empotra.

- Línea de carga.

En las estructuras porticadas se denominan propiamente pórticos y muros de carga en las de fábrica continúa o entramada. Soportan las cargas verticales de las crujías superiores y de los forjados concurrentes.

Therefore, the use of materials different from the original ones in restorations of framed structures can cause destabilizing problems in the frame, especially if a previous survey of the behaviour of the combination of old and new materials has not been carried out. This can not only occur regarding chemical or electrochemical reactions, but also in the mechanical behaviour as a whole.

The structural elements.

The structural elements fulfil functions of counterbalancing and transmitting loads downwards to the base (the settlement, or a lower bay). These elements do not vary with the various constructive systems in which they are integrated. Their composition or even the name given according to the material being used can differ. The elements of a framed structure are:

- *Slabs.*

They are made by two basic elements: beams withstanding the upper loads working to flexion and the beam fill made of masonry packing the openings among the beams, giving rigidity to the structure. The term is invariable in the different systems except for the reinforced slab characterized by the horizontal plane made of reinforced concrete with bidirectional supports. The reinforcement is not only used to support the live load but also serves functions as bracing, and tie of the lines of loads on which is supported or embedded.

- *Loads line.*

In the portal framed structures they are called portal frames and in framed or masonry structures they are bearing walls. They withstand the vertical loads of the uppers bays and of the meeting slabs.

- Diafragma.

También denominado muro de atado si nos referimos a una fábrica con espesor de muro. Absorbe los empujes laterales a los que se puede someter el sistema estructural y, además, contrarresta las tensiones provocadas en la crujía por un asiento diferencial de los arranques de las líneas de carga. Las estructuras porticadas hiperestáticas pueden carecer de este elemento al confiar el contrarresto de empujes y asiento diferenciales a la resistencia al giro de los nudos que caracterizan su grado de hiperestatismo. Las isostáticas requieren de elementos como las piezas en tornapunta o cruces de San Andrés.

- Carrera.

Constituye una denominación asociada a la carpintería de armar y que en las estructuras porticadas se puede denominar riostra o zuncho.

En la carpintería de armar la carrera es perimetral coronando los muros de carga y los de atado. Sobre la carrera apoyan las viguetas del forjado repartiendo uniformemente su carga vertical sobre las líneas de carga y trabajando exclusivamente a compresión. Los tramos perpendiculares a las líneas de carga arriostran éstas transmitiendo cualquier empuje pero sin capacidad de evitar un abatimiento vertical, función ésta última confiada a los diafragmas según las variables de los sistemas ya expuestas.

4. Tipos de entramados.

La composición de las crujías básicas conforma diferentes sistemas celulares. De este modo, los tipos estructurales resultan de la multiplicación de crujías desarrolladas en superficie y altura, normalmente agrupadas en torno a un patio y a lineadas en fachada respetando determinadas reglas de combinación de crujías:

- Los forjados han de ser perpendiculares a los planos verticales de fachada y patios. De este modo se asegura que las viguetas de forjado arriostren la línea de carga que configura el plano de cerramiento.

- Diaphragm.

Also called tie wall when made of masonry and with the thickness of a wall. It absorbs the lateral thrusts to which the system is subject to. In addition, it counteracts the stresses caused in the bay due to a differential settlement of the springing line of the line of load. The hyperstatic portal framed structures can lack this element relying on the counteracting of stresses and differential settlement by the rotation strength of the knots characteristic of the hyperstatic degree. The isostatic characteristic requires elements such as the strut or St. Andrew cross.

- Sole plate.

It is a term associated to timber joinery and it is also known as brace or tie beam in portal framed structures. In timberwork the sole plate is a perimeter element crowning the load-bearing walls. The beams of the slabs are supported on the sole plates, evenly distributing the vertical loads on the line of loads and subject to compressive stresses only. The spans perpendicular to the line of loads are braced transmitting every thrusts, but without having the ability to prevent any vertical collapse. This function is placed on the diaphragms.

4. Types of frames.

The composition of the basic bays conforms to different cellular systems. In this way, the structural types result in the multiplication of bays developed on surface and in height. They are normally grouped around a yard and lined with the façade respecting the laws of bay combinations.

- The slabs have to be perpendicular to the vertical planes of the façade and courtyards. This permits and assures that the joists of the slab brace the line of loads forming the enclosure plane.

- Esta disposición de la dirección de carga de los forjados propicia que en el mismo plano horizontal de forjados se sucedan direcciones de forjado perpendiculares entre sí con lo que mejora su condición de diafragma horizontal.
 - La envolvente del edificio debe estar compuesta por elementos estructurales: pórticos o muros en el perímetro y forjados o planos estructurales de cubierta en coronación.
 - Los planos verticales de líneas de carga y de diafragmas internos pueden fundirse en continuidad cuando dividan dos crujías perpendiculares entre sí, de modo que se prolongue el pórtico o la masa muraria que los componen de un extremo a otro del edificio hasta alcanzar los muros perimetrales de fachadas, patios o lindes.
- *This disposition of the slab load direction makes several slab directions (perpendicular among each other) possible, improving the condition of the horizontal diaphragm.*
 - *The skin of the building is formed by structural elements: trabeated structures or walls in the perimeter, and slabs or structural planes for roofs.*
 - *The vertical planes of the line of loads and those of the internal diaphragm can be joined when they are dividing two bays, perpendicular to each other. In this way, the portal frame is prolonged and the wall mass is extended from one building edge to the other reaching the perimeter walls of the façades, courtyards or borders.*

5. La fábrica entramada.

Las estructuras de entramado de madera, se caracterizan por la integración de tres materiales.

- 1) La madera en lo que se denomina armadura.
- 2) La fábrica de materiales pesados que se denomina cuajado.
- 3) El revestimiento de los entramados denominados guarnecidos.
- 4) Los elementos resistentes leñosos se destinan a la formación de tramas, reforzadas en sus huecos con fábrica de diversos materiales: mampostería, ladrillo, yesones, adobe, etc. La madera asume la función resistente en muros al igual que en forjados y cubierta, mientras que la fábrica le dota de rigidez, estabilidad. Los revestimientos exteriores protegen y la estructura leñosa y la fábrica de los efectos de la intemperie. Los interiores dotan de un acabado final a las estancias. Tanto unos como otros colaboran en el aislamiento de la edificación.

5. Framed masonry.

The timber framed structures are characterized by the integration of three materials:

- 1) *Timber in the structure.*
- 2) *Masonry of heavy materials called noggin.*
- 3) *The rendering of the timber frames coating.*
- 4) *The resistant wooden elements are used for grids, and strengthened by the nogging with different masonry materials: bricks, plaster, adobe, etc. Timber takes on the function of strengthening the walls, in the same way as in slabs and roofs, whereas masonry gives it rigidity and stability. The external rendering protects the wooden elements and the masonry from weathering. The internal elements give a finishing appearance to the inside rooms. Both help in insulating the building.*

Marcos y Bausá distingue tres clases de entramado según su función en la obra construida⁴:

- 1) Vertical, para constituir los muros y apoyos a plomo, que en último término sufren toda la carga de la construcción.
- 2) Horizontal, la que forma los pisos a nivel en las diferentes alturas en que se subdividen los edificios.
- 3) Oblicuo, que da origen a las armaduras de las cubiertas de los mismos, con la inclinación necesarias, a fin de que las aguas llovedizas no se estanquen y los perjudiquen.

A estas clases cabe añadir la de entramados de escalera desarrollados en diferentes planos para dar continuidad a los tramos de escalera y rellanos. Por su composición constituyen un bloque de arriostamiento sobre las crujiás que los rodean.



Figura 1. Edificio entramado en Segovia
Timber framed building in Segovia

Marcos and Bausá distinguish three types of framed structures regarding their function in the final construction work⁴:

- 1) Vertical to construct walls and plumb supports, which in turn support all the loads of the building.*
- 2) Horizontal, formed by the different stories at different heights subdividing the building.*
- 3) Oblique, which gives rise to the roof frames, with the appropriate sloping, so that the rain water does not stagnate and harm the roof.*

To these three types, an extra one can be added; the one developed for stairs, forming different planes to give continuity to the stair flights and landings. Due to their composition they form a bracing block to the bays, surrounding them.



Figura 2. Edificio entramado en Calatañazor (Soria)
Timber framed building in Calatañazor (Soria)

Razón constructiva de la fábrica entramada.

En las fábricas entramadas la madera constituye el material resistente principal. Dada la anisotropía del material leñoso, los entramados de madera basan su estabilidad en el empleo y la composición de una serie de elementos que compensan esta carencia. Los cuajados y guarnecidos que acompañan a la estructura leñosa también contribuyen a garantizar la estabilidad del sistema además de dotar de aislamiento a la construcción. Este factor debe ser conocido, estudiado y evaluado por el técnico antes de ejecutar trabajos de demolición o reforma que, al privar a la estructura leñosa de estos elementos complementarios, puede estar debilitando el sistema de equilibrio, más aún en si el motivo de la actuación es la existencia de deterioros o deficiencias que comprometen la estabilidad de la construcción.

La articulación de la armadura leñosa y los cuajados no puede identificarse claramente con un sistema estructural isostático o hiperestático. Las uniones tradicionales entre los elementos de la armadura se resuelven mediante ensamble y clavado. Estas soluciones, si se desarrollan en una estructura leñosa, exenta podrían aproximarse al comportamiento estructural de las articulaciones en los sistemas isostáticos. Sin embargo, la armadura, sin la fábrica, resulta un sistema inestable (al considerar insuficiente la incorporación de piezas en tornapunta en determinadas tipologías de entramado si la armadura se mantuviera exenta) sin la colaboración del cuajado. Pero el cuajado, aunque aporta rigidez al sistema estructural, no configura nudos hiperestáticos en los encuentros de piezas de madera embutidas en la fábrica.

En las fábricas de entramado, al estar en la mayoría de los casos oculta la estructura tras jarreados, enfoscados, revocos, tendidos o cañizos parecería imposible ni siquiera identificar la ubicación y tipo de los elementos característicos de este sistema estructural sin acometer un plan previo de calicatas.

Constructive reasons for the timber-framed structures.

In the timber framed structures, wood constitutes the main resistant material. Given its anisotropy, the timber frames base their stability in the use and composition of a series of elements compensating this lack. The noggings and render coatings added to the timber structures contribute to ensure the stability to the system as well as insulating the construction. This factor should be known, studied and assessed by the technician before starting the intervention works, since depriving the timber frame structures from these complementary elements can weaken the system of equilibrium, and even more so when the damages can put the stability of the construction under risk.

The articulation of the timber frames and the noggings cannot be clearly identified with isostatic or hyperstatic structural systems. The traditional bondings among the elements of the frame are solved by joins and nails. These solutions, if developed in an isolated timber frame, could come close to the structural behaviour of the articulations in isostatic systems. Nevertheless, without the masonry, it results in an unstable system (considering the incorporation of struts insufficient in some types of frames, if they were to be isolated) without the help of the noggin. But the noggings, although giving rigidity to the structural system, does not form hyperstatic knots in the joints of timber pieces embedded within the masonry.

In framed structures, as the woodwork is hidden under the clad coat, plasters, renders or wattle screens, it seems impossible to identify the place and type of elements characteristic of this system without carrying out a plan.

Sin embargo, la conjunción de elementos leñosos y de fábrica forjada entre los anteriores genera, mas notoriamente en las edificaciones antiguas, fisuras de retracción en las juntas entre ambos materiales debidas a su dilatación diferencial. Estas fisuras, que en principio no suponen un signo de daño estructural, permiten identificar, por medios organolépticos, este tipo de estructura y las características métricas del intervalo entre madera y fábrica.

Características.

La puesta en obra de fórmulas mixtas para la ejecución combinada de fábrica y madera se utiliza en los forjados y entramados de muros interiores. El entramado permite reducir la sección de los muros de carga y atado. La resistencia se transmite de los forjados a las carreras, y de éstas a los pies derechos. El cuajado de fábrica posibilita la reducción de las escuadrías de madera al confinar y acodalar las piezas verticales. Si estas mismas escuadrías se adoptaran en pórticos exentos admitirían las cargas recibidas en función de su capacidad mecánica, pero experimentarían pandeos y flechas por razón de su luz y esbeltez. El cuajado de fábrica aporta rigidez al conjunto frente a las acciones verticales y horizontales, pero en modo alguno está destinado a soportar directamente cargas ante la degradación o desaparición de la madera del entramado.

6. Entramados verticales.

Los entramados verticales, también denominados telares, se emplean fundamentalmente para cumplir dos funciones estructurales: transmisión de las cargas verticales procedentes de los entramados horizontales o crujías superiores y resistencia al abatimiento de las líneas de carga, a las que sirve de diafragma, frente a la aplicación de empujes laterales o desestabilización de su base de sustentación. Ambas funciones se pueden simultanean cuando el entramado vertical se interpone entre dos crujías de direcciones perpendiculares.

Nevertheless, the combination of timber and masonry elements causes, mainly in the older buildings, retraction fissures in the joints of the two materials due to a differential expansion. These fissures, which are not a structural failure at the beginning, allow identifying by organoleptic means, this type of structure and the metric characteristics of the interval between timber and masonry.

Characteristics.

The on site use of mixed systems using masonry and timber appears also in slabs and frames of internal walls. The timber frames allows reducing the section of the load-bearing walls and tying walls. The strength is transmitted from the slabs to the sole plates and from there to the struts. The masonry nogging allows the timber scantlings reduction by shoring the vertical pieces. If these same scantlings are adopted in isolated portal frames they would admit loads according to mechanic capabilities, but they would suffer sagging and rises due to their slenderness and span. The masonry noggin provides rigidity to the vertical and horizontal stresses, but does not directly support loads as a consequence odd gradation or wood disappearing.

6. Vertical timber frames.

The vertical timber frames, are mainly used for two main structural functions: transmission of the vertical loads coming from the horizontal frames or upper bays and resistance against the collapse of the load lines, to which they serve as diaphragm, as opposed to the lateral thrusts or base destabilization. Both functions can work simultaneously when the vertical frame is interposed between two bays of perpendicular directions.

El entramado de muro permite reducir la sección de muros de carga y diafragma. La resistencia se transmite de los forjados a las carreras, y de éstas a los pies derechos. El cuajado de fábrica forma cuarteles que permiten utilizar reducidas escuadrías de madera. Si estas escuadrías se adoptaran en pórticos exentos frente a las mismas solicitaciones, experimentarían pandeos y flechas por razón de su luz y su esbeltez.

El cuajado de fábrica aporta rigidez al conjunto frente a las acciones de fuerzas verticales y horizontales, pero, en modo alguno, está destinado a soportar directamente las cargas por degradación o ausencia de la armadura leñosa del entramado.

Pero el entramado vertical también se utiliza para la ejecución de tabiques con la única función de compartimentar espacios. La distinción que actualmente se utiliza para referirse a los tabiques o los muros constituye una terminología reciente sobre la que ya advierte López Jaén⁵ al tratar sobre el muro refiriéndose, en su lugar, al término “pared”:

“Pared es la palabra apropiada para el tema que nos ocupa, dado que el término <<muro>> no aparece en nuestra literatura tecnológica clásica, para denominar a estos elementos resistentes y conformadores de edificios, casi hasta nuestros días; así, en los tratados clásicos de construcción y arquitectura, siempre que hablan de muros están refiriéndose a murallas, defensas o cercas de ciudades y grandes estructuras. Pero a lo que hacemos referencia,..., es a las unidades constructivas de sostenimiento y cerramiento edificatorio, es decir, a lo que para todos los tratadistas de nuestra arquitectura antigua son siempre <<paredes>>.”

El reducido espesor que pueden adoptar los elementos de diafragma en comparación con el correspondiente de las divisiones verticales en lo edificios antiguos puede prestarse a confusión al identificarlos con lo que actualmente se denominan tabiques.

The timber frames allow the section of the bearing walls and diaphragm to be reduced. The stresses are transmitted from the slabs to the sole plate and from them to the studs. The masonry nogging forms spaces allowing form small dimension scantlings to be used. If these scantlings are used isolated in portal frames they would develop warpings and rises due to space and slenderness.

The nogging offers rigidity to the group against the vertical and horizontal actions, but it is not thought to withstand loads without the timber frame elements caused by degradation.

But the vertical element is also used for the construction of partitions, to divide the spaces. The distinction between the two words, partition and wall, corresponds to a present difference, states Lopez Jaén⁵, who tends to use another word in Spanish “pared”.

“Pared” is the appropriate word, --since wall (muro in Spanish) does not appear in the classical technical literature—to name these resistant strong elements. In the old classical architecture and construction treaties whenever the term “wall” is used, it refers to city walls, or defensive walls in great structures. But here, we mean the constructive units of support and enclosure of a building, that is, the word which was used in old times “pared”.

The reduced thickness the elements of the diaphragm can adopt compared to the corresponding vertical divisions of the old buildings can cause a misunderstanding when identified with the actual term of partition.

Deben de tenerse en cuenta estas consideraciones a la hora de proyectar demoliciones de tabiques en reformas que, aparentemente, no afectan a la estructura del edificio.

Los muros entramados se protegen mediante guarnecidos:

“Rematado un edificio en todas sus paredes, suelos y armaduras, solo resta para su entera conclusión los guarnecidos de sus paredes, cielos y huecos, para dar el último pulimento a la obra. Los guarnecidos son exteriores e interiores. Cuando las paredes de un edificio no se dejan con alguna tez exterior que se forme al tiempo de construirlos, que es la más firme y noble, ya sea de cantería, ya mampostería, ya albañilería de ladrillo tosco o agranillado, se cubren las paredes de una corteza de mezcla de cal y arena ó de yeso solo, cuya maniobra se llama comúnmente guarnición. Aunque ésta, por consistir en varias túnicas delgadas, unas sobre otras, pegadas a las superficies de las paredes, no contribuyen a su solidez, pero ayudan infinito a su conservación, preservando los materiales del temporal, que las disipa, come y destruye con el tiempo”.

Este texto de Juan de Villanueva nos lleva a considerar la necesaria existencia de guarnecidos de protección de las fábricas entramadas. Así se pueden observar en la mayoría de las construcciones urbanas presentándose solamente vista la armadura en los entramados colindantes con edificios derribados y dejados a la intemperie por la acción de la piqueta.

Aunque en nuestra arquitectura popular encontramos abundantes ejemplos de lo contrario, en donde los muros entramados se nos muestran desnudos, solo puede atribuirse esta desnudez a la falta de voluntad o de medios de quien lo construyó para rematar su obra. Una falsa interpretación de estas fábricas ha fomentado la rehabilitación de edificaciones mostrando a la intemperie la armadura de madera.

These considerations have to be kept in mind when planning demolitions and renewals of buildings, apparently not affecting the structure.

The timber framed walls are protected with renderings.

“When the building is finished, the only thing to be done is rendering the walls, ceilings and openings to give the proper finishing. The renderings can be both internal and external. When the building walls do not have any of the noblest seen faces such as masonry, stone, or brick, the walls are covered with a mixture of lime and sand or just gypsum called rendering. Although this coating does not contribute to the rigidity of the wall, even though there might be several coats over one another, but they help to the building preservation, and contribute to the protection of materials and better weathering”.

This text of Juan de Villanueva leads to considering the necessary existence of protection renderings on the timber-framed buildings. This can be observed in most of the town buildings where only the timber frames of the destroyed adjacent buildings can be seen.

Although, in vernacular architecture there are some examples where naked timber framed walls are shown, this can only be considered as a purposely unfinished action by the builder. A misunderstanding of this old tradition in the recent rehabilitations of these building has lead to an increase of constructions showing the timber famed.

De esta forma la materia leñosa queda sometida a la meteorización y a la fotodegradación y los entorchados originales de tomiza se cortan y suplen, en el mejor de los casos, con otras soluciones de enjarje de los cuajados a base de clavos.

Elementos leñosos.

Los elementos característicos de carpintería de armar en un muro entramado son:

- Pie derecho.

Elemento vertical que transmite las cargas entre forjados y conforma la retícula del muro.

- Cornijal.

Pie derecho de esquina ubicado en el diedro de encuentro entre dos muros entramados. También se denomina así al pie derecho de esquina en el ojo de una escalera. Estos pies derechos soportan el entramado de la escalera por lo que tienen continuidad desde su arranque hasta el último plano de la misma. Las escaleras así conformadas se denominan "...de cornijales".

- Carrera.

Elemento horizontal sobre el que apoyan las cabezas de viguetas de forjados transmitiendo su carga a los pies derechos. Junto a éstos conforma la retícula del muro. Así mismo conforma, en el plano de forjados, cuadrículas perimetrales de atado del conjunto construido.

- Contrabarrera.

Elemento horizontal y paralelo a la carrera en el plano vertical del muro entramado. A nivel de forjados apoya sobre las cabezas de vigueta y recibe la carga del pie derecho. En cornisa recibe la carga de los pares y apoya sobre las cabezas de tirantas.

- Zapata.

Elemento horizontal que se interpone entre la carrera y el pie derecho. Aumenta la superficie resistente perpendicular a la carga y acorta la luz de carrera entre pies derechos.

According to this, the wooden elements are directly subject to weathering and photodisintegration, and the original rope of hemp is cut and substituted by other joining solution with the noggings such as nails.

Timber elements

The characteristic wooden elements of a timber framed wall are:

- Stud.

It is a vertical element transmitting the loads between the slabs forming the wall grid.

- Dragon post.

Corner stud located at the junction of two framed walls. This name is also given to the newel of a stair when at the corner position. These studs also support the frame of the structure, therefore showing continuity from the springing line to the last plane of the stair.

- Sole plate.

It is a horizontal element on which the joist heads of the slabs rest, transmitting the loads to the studs. Together with the studs conforms the wall grid. On the slab plane it also shapes perimetric grids of the constructed group.

- Over sole plate.

It is a horizontal element parallel to the sole plate in the vertical plane of the timber-framed wall. On the slabs, it is supported on the joist heads receiving the load of the stud. On the cornice receives the loads of the rafter and it rests on the tie beam.

- Bolster.

It is a horizontal element in between the sole plate and the stud. It increases the perpendicular resistant surface for the load and shortens the span between the sole plate and the studs.

- Jabalcón.

Cualquiera de los elementos inclinados que evitan el abatimiento lateral del entramado de madera. También acortan la luz del vano de una viga.

- Codal.

Elemento horizontal entre pies derechos que los acodala en el plano del muro.

- Zoquete.

Es un codal de pequeñas dimensiones. En forjados de grandes luces se ubica entre viguetas a media luz.

- Tornapunta.

Jabalcón que arranca de un plano horizontal.

- Marrano.

Viga. Antiguamente se denominaban así a los elementos horizontales que se enterraban como parte de la cimentación.

- Basa o dado.

Pieza de granito troncopiramidal semienterrada y sobre la que apoya la primera hilera de pies derechos mediante un tetón que se encastra en una oquedad tallada en la cara superior del dado. Aísla la madera de las humedades e insectos que circulan por el terreno sustentante.

- Knee brace.

It is any of the inclined elements to keep the timber frame upright. It shortens the span of the beam.

- Square shore.

It is a horizontal element between the studs shoring them at the wall plane.

- Small flying square shore.

Timber which serves as bridging between vertical elements.

- Strut.

It is the knee brace starting at a horizontal plane.

- Sow

Beam. In old times the terms was applied to the beams buried as part of the foundations.

- Base or dado.

It is a granite pyramidal trunk block on which the first row of studs rest. These are fitted with a spigot embedded into the block. It insulates wood from moisture and insects present on the soil.



Figura 3. Muro entramado en un edificio madrileño.

Timber framed wall of a building in Madrid

7. Tipos de entramados verticales.

La composición de entramados verticales es muy variada en el territorio español con origen y desarrollo paralelo en otros territorios europeos y del continente americano allí donde se dispone de los materiales básicos: madera y fábrica.

La variedad de especies leñosas disponibles en cada territorio: pino, roble, castaño, sabina, u otras especies de ribera, condicionan las diferentes soluciones y elementos de la armadura. El clima y los usos característicos de cada territorio han generado diversas composiciones de fachadas y cerramientos mediante el recurso de cuerpos volados, aleros y galerías abiertas. El cuajado que se ejecuta en los cuarteles también depende de la disponibilidad y tradición regionales variando entre diversas mamposterías o cascotes, fábrica de tapial, adobe o cerámica y morteros de yeso o cal⁶.

Existe una clara diferenciación entre las tipologías desarrolladas en la arquitectura rural, de baja altura y materiales básicos, y la arquitectura urbana desarrollada en altura y entre medianeras. En la tipología de entramado urbana, muy desarrollada en el centro histórico de Madrid, la línea de carga de la fachada principal se ejecuta en fábrica continua y escalonada en altura a favor de obra mientras que el resto de las líneas de carga se ejecuta en fábrica entramada. Al ser ésta de mayor esbeltez y ligereza, se ejecuta en las líneas de carga internas o perimetrales normalmente protegidas al estar adosadas a los edificios colindantes. De este modo, la fábrica de fachada dota de una mayor inercia a la estructura frente a cualquier empuje desestabilizador y, al tiempo, aporta un mayor aislamiento al interior. La esbeltez de la fábrica entramada interna se compensa con el arriostramiento que aportan los planos horizontales de piso o el cierre perimetral de los patios.

7. Types of vertical timber frames.

The types of vertical timber frames in Spain are very varied and it has similar origins and parallel development in other European or American regions where wood and masonry are available.

The variety of wood species available in the territory: pine, oak, chestnut, or other species condition the different solutions and elements of the frame. The climate and the different traditions of each place have given origin to various types of compositions in façades and enclosures by using eaves, open galleries, overhang etc. The noggin for the packing does also change depending on the availability and regional traditions. It varies between different types of masonry or rubble, cob wall, wattle and daub, Adobe or ceramic, and lime or gypsum mortars⁶.

There is a clear distinction between the typologies developed in rural architecture, of basic materials and low heights, and the urban architecture constructed vertically and among party walls. In the urban architecture, the timber frame very developed in Madrid the load line of the main façade is done in continuous masonry in height, whereas the other load lines are constructed in framed masonry. Because the framed structure is lighter and slenderer, it is used mainly in internal or perimetric line loads, since they are normally adjacent to other buildings and protected. In this way, the masonry of the façade gives the structure a greater inertia against any destabilizing thrust. At the same time, it gives the building a greater internal insulation. The slenderness of the internal masonry is compensated with the bracing the horizontal plane of the floor or the perimetric courtyard enclosure gives.

Soluciones de arranque.

La madera ha de aislarse del contacto con el terreno con objeto de evitar las humedades de capilaridad y la accesibilidad aquellos insectos xilófagos que construyen sus nidos y galerías en el terreno. Para lograr tal aislamiento se interpone entre la armadura leñosa y el terreno unos elementos de fábrica. Las dos soluciones más tradicionales empleadas son el citarón, ya sea de sillería de fábrica de ladrillo, y la basa de forma troncopiramidal ejecutada en piedra.

8. Entramados horizontales.

Los elementos propios de la crujía lo componen las viguetas complementadas por brochales cuando han de salvar un vano vertical. El plano horizontal puede reforzarse mediante zoquetes perpendiculares a las viguetas en uno o dos líneas con objeto de evitar el pandeo lateral y revirado de éstas. Se forma un artesonado cuando dichas líneas de enzoquetado se repiten hasta formar una cuadrícula con las viguetas. Las viguetas se apoyan en las carreras y se fijan mediante clavos de bellote clavados a oreja.

Tipos de entramados horizontales.

Varían su composición para cumplir, con diferente eficacia, tres funciones:

- Soporte de las cargas y sobrecargas de uso y su transmisión a los muros,
- Diafragma horizontal resistente ante empujes laterales desestabilizadores,
- Aislamiento térmico y acústico entre pisos

La transmisión de cargas a los muros se confía a la viguetería. El relleno tendido sobre el plano de viguetería, el sobrevigado de hasta 20 o 30 cms de canto relleno con cascote o arena, puede cumplir funciones no solo de aislante acústico sino de lastre estabilizador en el sistema estructural, cuestión que habrá de preverse en el caso de decidir su retirada en una obra de reforma.

Springing solutions.

Timber should be insulated from the soil in order to avoid moisture and capillarity, as well as to prevent the access to xilophagous insects making their nests and galleries. To achieve this insulation, some masonry elements are placed between the timber and the soil. The two traditional solutions used are the spigot base made of brick masonry and the base, with a pyramidal trunk shape and made of stone.

8. Horizontal timber frames.

The elements of the bay are the joists together with the trimming joists, when a vertical plane is to be solved. The horizontal plane can be strengthened with a square shore perpendicular to the joists in one or two lines so as to avoid the lateral sagging. A timber grid is formed when these square shores are repeated with the various joists. The joists are supported on the sole plate and fixed with wrought iron nails nailed inclined.

Types of horizontal timber frames.

The horizontal timber frames vary their composition according to three functions:

- *Support and dead and live loads and their transmission to the walls.*
- *Horizontal diaphragm resistant to destabilizing lateral thrusts.*
- *Thermal and sound insulation among the storeys.*

The load transmission to the walls is done by the joists and beams. The packing on the joists, or the overbeam with up to 20 or 30 cm thick filled with rubble or sand, can conform to these functions of sound insulator but also of stabilizing element for the structural system. This must be considered when taking it away for restoration reasons.

La condición de diafragma horizontal se consigue mediante el forjado del hueco entre viguetas para garantizar la indeformabilidad del perímetro de piso en su plano horizontal. Esta solución de entrevigado aporta, además aislamiento acústico, pero reduce la ventilación de la madera de la viguetería al adosarse el entrevigado y el necesario revestimiento inferior a su perímetro. Las soluciones pueden ser de diversos tipos:

- Forjado encamonado.

El entrevigado se forma mediante camones estribados en la talla longitudinal de las viguetas. Las soluciones de encamonado o de bovedillas liberan la cara inferior de la viguetería y, al tiempo, aligeran el peso del forjado pudiéndose ocultar el intradós cóncavo del entrevigado mediante falso techo de cañizo.

- Forjado macizo o rehenchido.

El mortero y cascote de relleno se rehenchida con las viguetas y se fija a ellas mediante su entomizado.

- Forjado aligerado.

La utilización de botes cerámicos para relleno del entrevigado consigue una mayor ligereza y aislamiento del forjado.



Figura 4. Forjado encamonado.
Slab of arch braces.



Figura 5. Forjado macizo.
Solid slab.



Figura 6. Forjado aligerado.
Lightened slab.

The condition of horizontal diaphragm is considered by the slab void in between the joists to ensure the unstrainability of the floor perimeter in its horizontal plane. This solution of the beam filling gives, sound insulation but it also reduces the ventilation of the timber elements. The solutions can be various.

- *Slab of arch braces.*

The beam filling is done with arch centerings on the longitudinal surface of the joists, leaving the lower part of the joist to be seen. At the same time, this solution lightens the loads of the slab and the concave intrados of the beam filling can be hidden by a hemp suspended ceiling.

- *Solid slab or filled slab.*

The rubble and mortar was packed into the joists and attached to them by hemp.

- *Lightened slab.*

The use of ceramic rolls used as beam filling provides a lighter and better insulated slab.

9. Armaduras de cubierta.

Los tipos de armaduras de cubierta más extendidos son:

- Encabriado: se desarrolla sobre una crujía de líneas de carga con diferente altura.
- A par y picadero: se desarrolla sobre dos crujías de líneas de carga simétricas.
- A parhilera: se desarrolla sobre una crujía con líneas de carga a la misma altura.
- A la molinera: se sustenta sobre cerchas o cuchillos.
- Mixta de tres crujías: laterales de par y picadero, central de parhilera.
- Encabriado.

Cabrio o par es cada una de las piezas inclinadas y paralelas de cubierta que se apoyan en las correas. De este modo una hilera de cabrios configura un plano inclinado de cubierta.

- Cubierta de par y picadero.

La característica fundamental es la de transmisión de cargas verticales a los muros de apoyo. Los problemas pueden venir por flecha de pares o por giro del pórtico bajo picadero.

- Cubierta de par-hilera.

En este tipo de estructura se produce el desvío de las cargas verticales sobre cubierta orientadas como inclinadas en la dirección de los pares, que son compensadas con otras horizontales absorbidas por los tirantes, de modo que a los muros de apoyo solo se transmiten cargas verticales.

- Cubierta a la molinera

Su comportamiento mecánico se asimila al de un forjado inclinado.

9. Roof frames

The most frequent types of roof frames are:

- *Common rafter roof: It develops over a bay with load lines at different heights*
- *Rafter and ridge: It builds on two bays of symmetrical load lines*
- *Coupled roof: it develops over a bay with two load lines at the same height.*
- *King post roof with struts: supported on trusses or rafters*
- *Mixed of three bays: lateral rafters and ridge, central to the coupled roof.*
- *Common rafter roof.*

The common rafter or spar is each of the inclines pieces parallel to the roof supported by the purlin. Therefore, a line of common rafters shapes an inclined plane of the roof.

- *Rafter and ridge roof.*

The main characteristic is the transmission of vertical loads to the supporting walls. The problems can occur due to the rise of the rafters or by the twist of the portal frame underneath.

- *Coupled roof.*

In this type of structure the vertical stresses are deviated and oriented toward the direction of the rafters. They are compensated with other horizontal thrusts absorbed by the tie beam. Therefore, the supporting walls will only receive the vertical loads.

- *King post roof with struts.*

Its behaviour is the same as the one of an inclined slab.

- Mixta sobre tres crujiás.

Constituye un sistema muy habitual de cubrición de cuerpos de fachada de tres crujiás. Para que el sistema mixto de tres crujiás mantenga su estabilidad es necesario que cada una garantice la transmisión de cargas verticales a carreras y muro. Esto se alcanza ejecutando correctamente para la crujiás de par y picadero el embarbillado de los extremos de los pares con caras horizontales de transmisión de arranques de carrera y entrega a cumbrera, además de garantizar el contrarresto de esfuerzos horizontales sobre la carrera mediante piezas tirantas.



Figura 7. Cubierta de par-hilera
Coupled roof



Figura 9. Interior de una cubierta mixta de tres crujiás.
Interior of a mixed roof of three bays.

- *Mixed roof over three bays.*

It constitutes a very common covering of the buildings with three bays. So that this system keeps stable, it is necessary that each element transmits the loads to the tie beam and wall. This is achieved for the rafter and ridge roof by a joint of the edges of the rafters with horizontal transmission faces to the springing point of the sole plate and arrival at the ridge. This will ensure the counteracting of horizontal stresses on the sole plate by the use of ties.



Figura 8. Interior de una cubierta de par y picadero
Interior of a rafter and ridge roof.



Figura 10. Interior de una cubierta a la molinera sobre cuchillos a la española.
Interior of a king post roof with struts.

NOTAS:

- 1 VITRUVIO, Marco Lucio
Los Diez Libros de Arquitectura
Traducción directa del latín por Agustín Blázquez
Editorial Iberia, Barcelona 1991. Pag. 160
- 2 Una de las reediciones más recientes sobre los textos de Chisy es:
CHOISY, Auguste
El Arte de construir en Roma
Instituto Juan de Herrera, Madrid 1999. Pag 125 La carpintería de armar
- 3 Una de las reediciones más recientes sobre los textos de Chisy es:
CHOISY, Auguste
El Arte de construir en Roma
Instituto Juan de Herrera, Madrid 1999. Pag 125 La carpintería de armar
- 4 MARCOS Y BAUSÁ, Ricardo
Op. Cit. Pag. 181
- 5 MARCOS Y BAUSÁ, Ricardo
Op. Cit. Pag. 181
- 6 MARCOS Y BAUSÁ, Ricardo
Op. Cit. Pag. 181

Ignacio García Casas, es Dr. Arquitecto, Jefe de la Unidad de Ruinas del Servicio de Control de la Edificación del Ayuntamiento de Madrid.