

Disponible en www.hormigonyacero.com
Hormigón y Acero, 2020
<https://doi.org/10.33586/hya.2020.2815>

ARTÍCULO EN AVANCE ON LINE

LO PEQUEÑO ES BELLO: ALGUNOS EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS DE PEQUEÑA ESCALA

Juan REY REY

DOI: <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2815>

Para ser publicado en: *Hormigón y Acero*

Por favor, el presente artículo, hasta ser incluido en un número, debe ser citado así:

Juan REY REY, (2020) LO PEQUEÑO ES BELLO: ALGUNOS EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS DE PEQUEÑA ESCALA, *Hormigón y Acero*, Avance online, doi:

<https://doi.org/10.33586/hya.2020.2815>

Este es un archivo PDF de un artículo que ha sido objeto de mejoras propuestas por dos revisores después de la aceptación, como la adición de esta página de portada y metadatos, y el formato para su legibilidad, pero todavía no es la versión definitiva del artículo. Esta versión será sometida a un trabajo editorial adicional, y una revisión más antes de ser publicado en su formato final, pero presentamos esta versión para adelantar su disponibilidad.

En el proceso editorial y de producción posterior pueden producirse pequeñas modificaciones en su contenido.

© 2020 Publicado por CINTER Divulgación Técnica para la Asociación Española de Ingeniería Estructural, ACHE

Lo pequeño es bello: algunos ejemplos de estructuras de pequeña escala

Small is beautiful: some examples of small-scale structures

Juan Rey Rey^a, Jacinto Ruiz Carmona^b y Pablo Vegas González^c

^a Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Director en Mecanismo Ingeniería y Prof. Asociado en ETSAM (UPM)

^b Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Asociado en Mecanismo Ingeniería y Prof. Asociado en ETSAM (UPM)

^c Arquitecto Máster en Estructuras de la Edificación. Asociado en Mecanismo Ingeniería

RESUMEN

Habitualmente los proyectos más divulgados son aquellos de mayor tamaño o relevancia económica. Sin embargo, en no pocas ocasiones es en los más pequeños o de menor impacto mediático en los que se desarrollan propuestas más interesantes, arriesgadas o innovadoras. Esto puede deberse a varios factores: por una parte, en los proyectos de pequeña escala es más asumible tomar un cierto grado de riesgo en las soluciones propuestas, motivado en parte por la menor envergadura económica de lo que está en juego. Por otro lado, en este tipo de proyectos cada rincón del mismo es especial y único, descartándose así en muchas ocasiones de entrada las soluciones convencionales.

ABSTRACT

Usually the most popular projects are those of greater size or economic relevance. However, in some occasions, it is in the smallest or least media impact projects where the more interesting, risky or innovative proposals are developed. This may be due to several factors: on the one hand, in small-scale projects it is more acceptable to take a certain degree of risk in the proposed solutions, motivated in part by the smaller economic scope of what is at stake. On the other hand, in this type of project every corner of it is special and unique, thus frequently discarding the conventional solutions.

PALABRAS CLAVE: estructuras de pequeña escala, escalera, pérgola, mirador, vivienda unifamiliar, detalles.

KEYWORDS: small-scale structures, stairs, pergola, balcony, single family home, details.

1. Introducción

Los proyectos y obras de gran escala son los que habitualmente tienen un mayor impacto económico y social y los que cuentan con un grado de difusión mayor. Sin embargo, en ocasiones es en los más pequeños o de menor impacto mediático en los que se desarrollan

propuestas más interesantes, arriesgadas o innovadoras.

Parafraseando al economista alemán Ernst Friedrich Schumacher: “Small is beautiful” [1]. El presente artículo pretende dar difusión a algunos proyectos de edificación de pequeña escala en los que la estructura juega un

papel relevante, adoptando en la mayor parte de los casos soluciones no convencionales. En todos los casos presentados el Proyecto de estructuras y la Asistencia Técnica en obra ha corrido a cargo de Mecanismo Ingeniería.

Dentro del campo de la edificación, las viviendas unifamiliares son una tipología muy dada a la experimentación y a la apuesta por soluciones singulares desde el punto de vista estructural. En algunos casos las singularidades vienen de la mano de grandes luces o voladizos y en otras de su complejidad geométrica o formal. En el presente artículo se analizan algunos ejemplos de esta tipología como: Casa Campos en Salobreña, Vivienda “*Where Eagles Dare*” en Mallorca o Casa de las Hormigas en Collado Villalba.

Reduciendo todavía más la escala, cabe destacar que, en algunos casos, el diseño y cálculo de una escalera puede tener mayor complejidad técnica y requerir más horas de ingeniería que el propio edificio que la alberga. Así, se presentan también algunos ejemplos desarrollados en distintas tipologías estructurales: en voladizo, colgadas, etc.

Se presentan también ejemplos de otros elementos de pequeña escala como pérgolas, marquesinas o cubiertas ligeras, los cuales son frecuentemente proyectos de alta complejidad y de elevado interés. Se incluye dentro de esta clasificación el Mirador da Cova de Adegas Moure en Lugo y la instalación artística 1.78 de Janet Echelman en la Plaza Mayor de Madrid.

2. Marquesinas, pérgolas y cubiertas ligeras

Las marquesinas, pérgolas, cubiertas ligeras, etc. son en muchos casos construcciones auxiliares a las que, como tal, no se les presta una especial atención en el ámbito de la edificación y

tampoco, consecuentemente, en el de las estructuras. No obstante, es en este tipo de construcciones de pequeña escala y reducido presupuesto donde en muchas ocasiones se presentan las mejores oportunidades para experimentar e innovar. Un caso paradigmático en este sentido es el de los pabellones temporales [2] en la Serpentine Gallery en Kensington Gardens, en Londres, diseñados anualmente por un arquitecto de reconocido prestigio y en el que se han desarrollado a lo largo de los años propuestas tan interesantes desde el punto de vista estructural como la de Toyo Ito con Cecil Balmond (Arup) en 2002 (Figura 1) o la de SANAA con Arup en 2009 (Figura 2) [3].



Figura 1. Pabellón en la Serpentine Gallery (2002).



Figura 2. Pabellón en la Serpentine Gallery (2009).

Se presentan a continuación algunos ejemplos de estructuras de pequeña escala de este tipo en los que Mecanismo Ingeniería ha participado como consultores de estructuras.

2.1 Mirador da Cova

El Mirador da Cova es una pequeña construcción auxiliar proyectada por el estudio

de arquitectura gallego Arrokkabe Arquitectos como extensión de la bodega “Adegas Moure” en la Ribeira Sacra. Se ubica en una parcela con vistas privilegiadas a los cañones del río Sil (Figura 3). Tal y como se indica en la memoria del proyecto: “La edificación se planteó como una estructura abierta que se apoya en el muro que salva el desnivel entre la pista y el primer bancal. [...] Continuando con la estrategia de cosido e integración de los diferentes elementos existentes, se planteó una estructura ligera superpuesta al muro de contención...”. [4]



Figura 3. Vista general del Mirador da Cova sobre los Cañones del Sil (2019).

Desde el punto de vista estructural destaca la pieza del mirador, desarrollada en madera modificada acetilada -libre de biocida- debido a su alta durabilidad. Esta pieza se apoya en una estructura metálica y se ata a un volumen de hormigón armado visto que es el que le dota de estabilidad lateral. En algunos puntos se emplean chapas de acero para minimizar el impacto visual de los nudos en la estructura de madera (Figura 4).



Figura 4. Vista general de la estructura del mirador.

Cabe destacar también en este caso el tratamiento superficial de los materiales estructurales empleados: en el caso de la madera, en algunas partes de la obra se ha empleado el método japonés Shou Sugi Ban [5] (Figura 5), que consiste en calcinar superficialmente las piezas de madera, proceso que crea una capa superior que protege la propia pieza de madera expuesta a la intemperie.

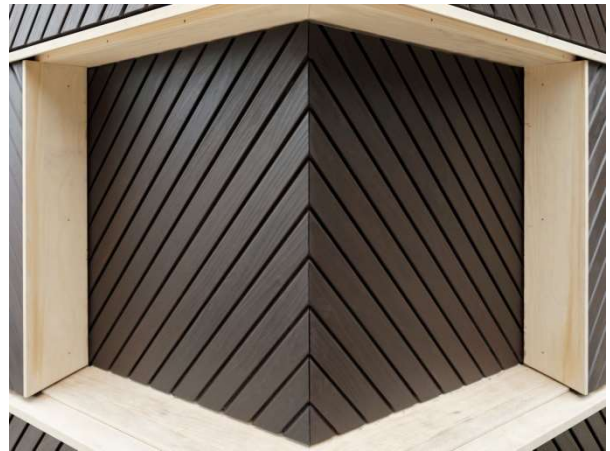


Figura 5. Madera al exterior con tratamiento Shou Sugi Ban consistente en calcinar superficialmente las piezas de madera.

En el caso de los hormigones se experimentó con el uso de piezas de madera clavadas en los encofrados para dotar a las superficies de hormigón de texturas acentuadas (Figura 6).



Figura 6. Tratamientos superficiales en hormigones vistos.

2.2 Escultura Flotante "1.78" en Madrid

Janet Echelman es una escultora y artista estadounidense conocida mundialmente por sus esculturas realizadas a base de redes, ubicadas a modo de exposiciones temporales en lugares clave del espacio público de ciudades como Londres, Los Ángeles o Vancouver (Figura 7).



Figura 7. Instalación de Janet Echelman en Vancouver (2014).

En 2018, dentro de los actos de celebración del cuarto centenario de la Plaza Mayor de Madrid, se instaló temporalmente la escultura flotante "1.78" sobre la estatua de Felipe III. Se trata de una pieza de 44 metros de largo y 35 metros de ancho formada por capas de fibra trenzada y anudada que se situó a 21 metros de altura. El título de la pieza, que se enmarca en la colección "Earth Time Series", hace referencia a los microsegundos de menos que tuvo el día que ocurrió el terremoto y posterior tsunami de Japón en 2011 (Figura 8).



Figura 8. Instalación temporal "1.78" de Janet Echelman en la Plaza Mayor de Madrid (2018).

El proyecto de estructuras para la instalación de esta pieza sobre la Plaza Mayor debía tomar en consideración varios condicionantes importantes: en primer lugar, que bajo el suelo de la plaza existe un aparcamiento subterráneo y por lo tanto la carga a disponer sobre dicho forjado es limitada. Adicionalmente, dado el carácter monumental y el grado de protección con el que cuenta los inmuebles que rodean la plaza, no era posible anclar la pieza a fachadas (que había sido la solución adoptada en general en otras ubicaciones) sino que debía preverse una estructura auxiliar específica.

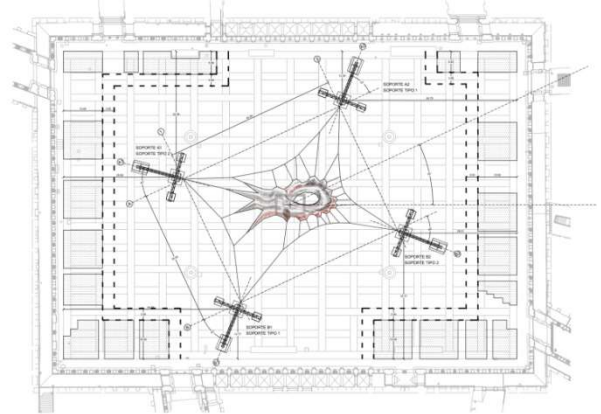


Figura 9. Esquema general en planta de la estructura auxiliar de soporte de la pieza tensada

Dado el carácter temporal de la pieza, se proyectaron cuatro mástiles triangulados, reciclando material del empleado habitualmente en el montaje de escenarios. La estabilidad del conjunto se aseguraba con unos tirantes a unos contrapesos que, además, debido a las limitaciones de peso sobre la plaza, debían ir sobre una subestructura de reparto de carga (Figura 9).

La puesta en carga de la estructura tensada se monitorizó a través de unas células de carga tanto durante el proceso de montaje, así como durante la vida útil de la pieza, contrastando estos datos con las velocidades de viento registradas en un anemómetro ubicado también en las proximidades de la instalación.

3. Viviendas Unifamiliares

Las viviendas son en muchos casos verdaderos bancos de prueba en los que testar soluciones innovadoras que posteriormente puedan ser implementadas en proyectos de mayor envergadura, siempre y cuando -lógicamente- superen con éxito dicho proceso (Figura 10).

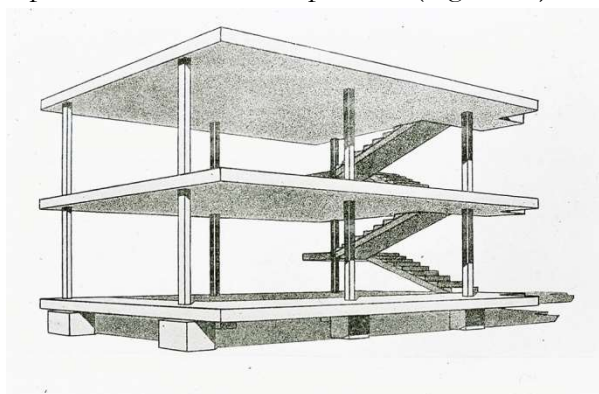


Figura 10. Maison Domino, Le Corbusier (1914).

Desde el punto de vista de la ingeniería estructural, aun tratándose generalmente de obras con presupuestos modestos, este tipo de proyectos generan en no pocas ocasiones grandes retos, que se podrían clasificar, sin ánimo de exhaustividad, en los siguientes grupos: (1) grandes luces o voladizos, (2) geometrías complejas y (3) procedimientos constructivos innovadores.

El voladizo es un elemento empleado con cierta frecuencia en este tipo de proyectos para dotar de singularidad a los mismos. Existen ejemplos célebres como el “Balancing Barn” de MVRDV con su voladizo principal de 15 metros (Figura 11).



Figura 11. Balancing Barn, MVRD (2010).

3.1 Casa de las Hormigas en Collado Villalba

En el caso de la Casa de las Hormigas, en Collado Villalba, este recurso se emplea en varias partes de la vivienda, destacando no obstante el volumen volado que contiene al dormitorio principal y que vuela sobre la zona de acceso y aparcamiento (Figura 12).



Figura 12. Casa de las hormigas en Collado Villalba.

El proyecto, obra de Espegel-Fisac Arquitectos (2010), estaba claramente orientado a abrirse hacia las imponentes vistas de la sierra de Madrid [6], dando a su vez la espalda al resto de viviendas de la urbanización (Figura 13). Recibió la distinción de obra nueva del COAM en 2011 [7].

Este concepto fue tenido muy en cuenta a la hora de plantear conceptualmente la estructura de la vivienda. Se trata por tanto de resolver un volumen de aproximadamente 9 metros en voladizo en el que en una de las caras

laterales se busca transparencia mientras en la otra opacidad. Dada la transparencia requerida en el frente abierto a las vistas, pronto fue descartada la opción quizás más evidente -y manida- de emplear el canto total del volumen para generar un elemento estructural de gran rigidez (sea una viga pared, sea una estructura triangulada). En cambio, en el frente trasero esta opción sí era posible.

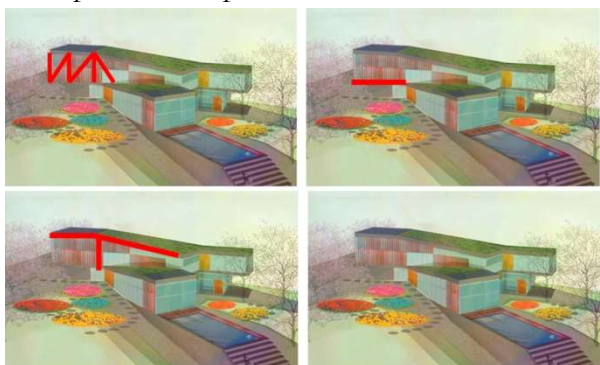


Figura 13. Esquemas estructurales tanteados.

Se exploraron una serie de alternativas (Figura 13), escogiéndose finalmente una propuesta poco convencional consistente en la construcción de una viga pared de hormigón armado en la fachada trasera opaca, aprovechando la totalidad del canto de la planta. Este elemento, con una relación canto/luz de aproximadamente 1/2, aportaba una gran rigidez y “resolvía el problema” en esa fachada.

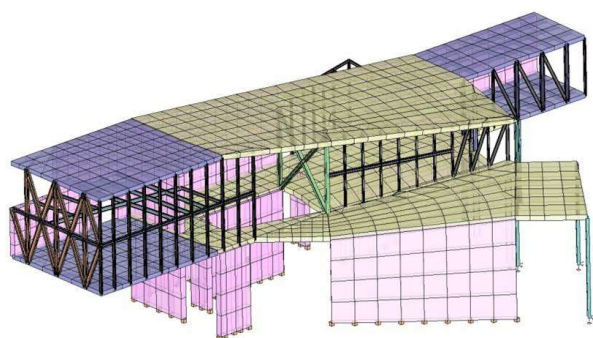


Figura 14. Vistas del modelo de cálculo en el que se aprecia la triangulación en el testero.

Para evitar replicar esta solución en la otra fachada, se optó por generar una triangulación metálica en la cara del testero del volumen en voladizo (Figura 14), colgando de este modo el extremo de la fachada en la que se

buscaba gran transparencia de la viga pared de hormigón de la otra fachada (Figura 15).



Figura 15. Vista general de la estructura del voladizo.

3.2 Vivienda "Where Eagles Dare"

La vivienda "Where Eagles Dare" puede clasificarse dentro del primer grupo de los enunciados anteriormente debido a sus importantes voladizos. Obra del estudio de arquitectura GRAS Arquitectos, liderado por Guillermo Reynés, destaca por sus líneas puras y los grandes volúmenes volados sobre la ladera inclinada hacia el Mediterráneo en Andratx, Palma de Mallorca (Figura 16).



Figura 16. Vistas desde el voladizo principal de la vivienda "Where Eagles Dare" en Palma.

La vivienda, que terminó de construirse en el año 2016, ha sido galardonada con el *American Architecture Prize* en 2017, siendo también finalista en el *World Architecture Festival* 2017.

A diferencia del caso anterior, en el que se emplea el recurso de aprovechar el canto total de una o varias plantas de la vivienda para generar elementos estructurales (normalmente celosías) de gran rigidez, en este caso, debido a

la gran transparencia que pretendía dotarse a todos los cerramientos, esta vía no era posible. Así, se exploró la opción de generar un emparrillado lo más rígido posible en cada uno de los planos horizontales (forjados) que constituyen el volumen principal volado. Tras un análisis de alternativas, en el que se barajó la opción de postesar los forjados (en este caso, en hormigón), se optó finalmente por una opción totalmente metálica, constituida por un emparrillado de vigas de acero conectadas a un forjado superior de chapa colaborante. El voladizo mayor es de aproximadamente 7 metros (Figura 17).



Figura 17. Modelo de cálculo de la estructura de la vivienda.

Para minimizar la cuantía de acero de la estructura y mejorar el comportamiento global de la misma, se introdujeron dos tirantes aprovechando una pequeña zona ciega en el interior del dormitorio principal en el que esto era compatible con la propuesta arquitectónica.

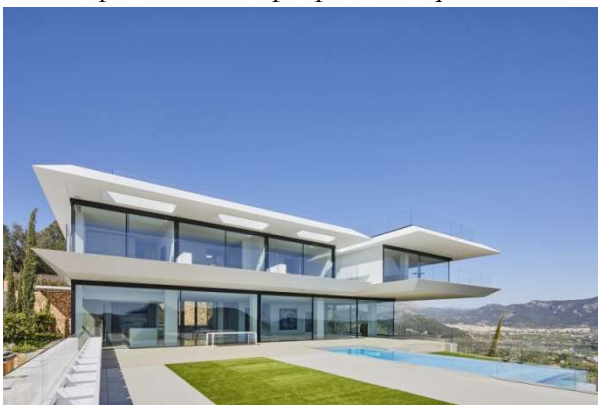


Figura 18. Vivienda "Where eagles dare" en el Puerto de Andratx, Mallorca (2016).

El diseño estructural finalmente construido dista indudablemente mucho de ser una opción económica y eficiente, si bien creemos responde de una manera ajustada y coherente a la idea arquitectónica inicial y a los importantes condicionantes existentes (Figura 18).

3.3 Casa del acantilado en Salobreña

El caso de la Casa del acantilado, en Salobreña (Granada), reúne en un mismo ejemplo tanto la característica de estar concebida en base a geometrías complejas como la de emplear en su materialización técnicas constructivas poco comunes en el mundo de la edificación convencional.

El proyecto está firmado por Gil-Bartolome ADW y, conforme a la arriesgada línea de trabajo emprendido por dicho estudio de arquitectura desde hace años, está basado en una configuración espacial compleja, en la que predominan las curvas y las formas libres [8].



Figura 19. Casa del acantilado en Salobreña (2015).

La vivienda se emplaza en un corte en la montaña, en un acantilado hacia el mar (Figura 19). La contención se resuelve con una pantalla de micropilotes anclada y la cimentación con una losa de hormigón de canto variable.

En cualquier caso, la pieza más singular de la vivienda es sin duda la cubierta, con formas curvas sinuosas (Figura 20), salvando la luz completa de la vivienda, dejando de este modo una planta totalmente diáfana.



Figura 20. Geometría irregular de la cubierta de la vivienda.

A la vista de los condicionantes de partida: formas curvas complejas, luces importantes y cargas bajas por tratarse de una cubierta; la primera línea de exploración fue el tratar de resolver la estructura mediante una serie de perfiles de acero curvados para adaptarse a la geometría propuesta (Figura 21). Era claro que, dadas las formas propuestas, el comportamiento predominante sería el de flexión, no pudiendo contarse con la forma para un mejor aprovechamiento de los materiales. Si bien esta opción era factible, fue descartada por su elevado coste.

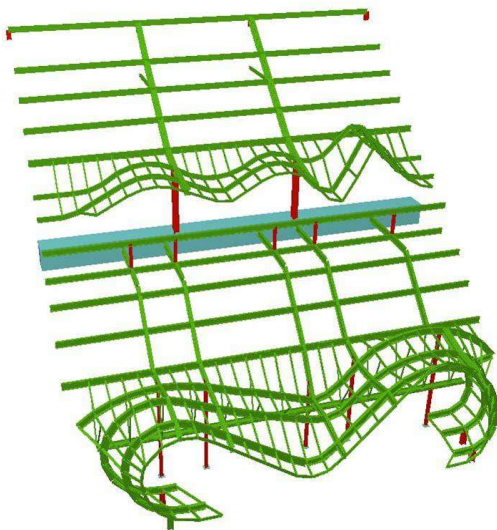


Figura 21. Esquema estructural en acero.

Ante esta tesitura, se testó la opción de resolver la estructura de la cubierta en hormigón armado, opción que había sido descartada inicialmente por su elevado peso

propio, pero sobre todo por lo costoso de los medios auxiliares que requería: cimbra, encofrados curvos con geometrías sin un patrón geométrico-matemático definido, etc. Para tratar de solventar las dos dificultades indicadas, se buscaron, conjuntamente con el equipo de arquitectos y técnicos de la Universidad de Granada, sistemas constructivos que posibilitasen la construcción de la cubierta en hormigón armado sin necesidad de cimbras y encofrados.



Figura 22. Pletinas de acero predeformadas que constituyen las líneas maestras de la geometría.

Así, se llegó a la opción finalmente construida basada en una serie de pletinas de acero curvadas (fácilmente debido a su pequeño espesor) que generaban las líneas maestras de la geometría de la cubierta (Figura 22). Estas líneas maestras eran posteriormente completadas por unas mallas de acero curvadas adoptando la forma buscada de la cubierta. Para evitar el uso de cimbras y encofrados se optó por el proyectado del hormigón en lugar de su vertido sobre moldes, técnica poco habitual en edificación, pero empleada habitualmente en obras como túneles.

De nuevo estamos ante una estructura lejana del óptimo como solución del paradigma de salvar una luz determinada soportando una carga dada. En este caso es la complejidad geométrica y los condicionantes constructivos las mayores limitaciones a las soluciones estructurales posibles.

Es también claro que no se trata de una solución de cubierta laminar al estilo de las que figuras como Torroja, Candela o Nervi proyectaron y construyeron magistralmente durante las décadas de los 20 a los 60 del siglo pasado. En este caso, el comportamiento predominante de la estructura es la flexión y su viabilidad se basa fundamentalmente en su pequeño tamaño (Figura 23).



Figura 23. Estructura de hormigón de cubierta.

La vivienda finalmente construida no deja indiferente y forma parte del documental de Netflix *“The World’s most extraordinary homes”* (2017).

4. Escaleras

Las escaleras podrían considerarse un subgrupo dentro de las viviendas y frecuentemente son elementos a los que se dota de un cierto carácter escultórico que hace que requiera de soluciones estructurales no convencionales.

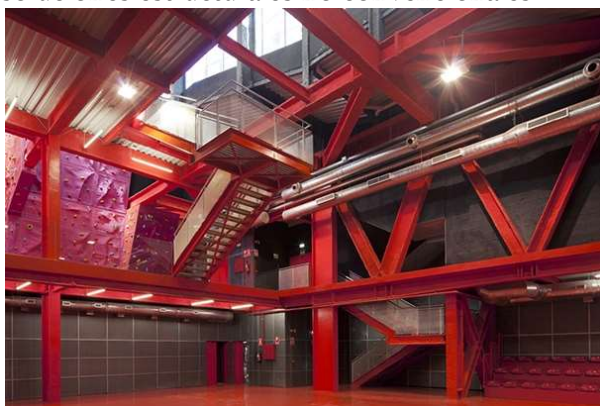


Figura 24. Escalera volada en Teruezilla.

Dentro de este grupo de estructuras de escaleras singulares podrían realizarse una

clasificación, distinguiendo entre las escaleras voladas, como las construidas en edificios como “Teruezilla” en Teruel, obra de Mi5 Architects + PKMN (Figura 24); escaleras colgadas como la escalera exterior del edificio de 118 viviendas en Coslada, de Temperaturas Extremas Arquitectura (Figura 25); escaleras de caracol como la de la vivienda Cárcavas de Langarita-Navarro Arquitectos (Figura 26); escaleras de vidrio, como la ubicada en la sede de CBRE en Castellana 200, Madrid (Figura 27) o escaleras de terrazo estructural como la construida en Beaulieu sur mer (Figura 28).



Figura 25. Escalera atirantada en edificio de 118 viviendas en Coslada.



Figura 26. Escalera de caracol en Casa Cárcavas.

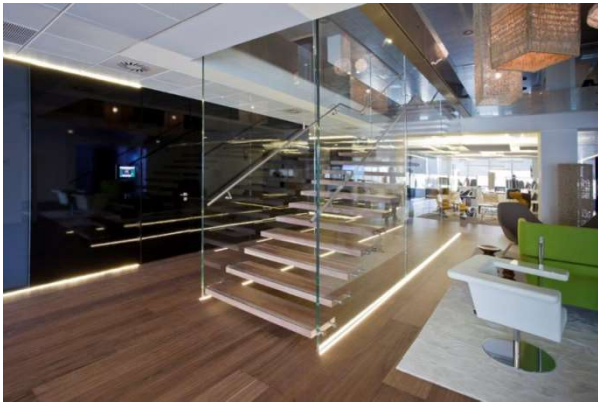


Figura 27. Escalera con paredes laterales de vidrio en la sede de CBRE en Madrid.



Figura 28. Escalera de terrazo estructural en vivienda en Beaulieu sur Mer, Francia.

5. Conclusiones

El presente artículo pretende reivindicar algunas estructuras de pequeña escala que no suelen tener difusión por su escasa relevancia económica pero que, en algunas ocasiones encierran interés desde el punto de vista constructivo y estructural.

Se recogen un total de nueve proyectos en los que Mecanismo Ingeniería ha participado como consultores de estructuras en los últimos años y que presentan como denominador común el importante papel que la estructura juegan en dichos proyectos y el empleo en muchos casos de soluciones no convencionales.

Referencias

[1] E. Friedrich, *Small Is Beautiful; Economics as If People Mattered*. New York: Harper &

Row, 1973.

[2] Bernabeu Larena, A., Gómez Mateo, J., Bernabeu Larena, J.; *The ephemeral robustness: structure for temporary constructions*. Structures and Architecture. London: Taylor & Francis, 2019.

[3] Bianchini, R.; *Serpentine Galleries Pavilions; a history*. Inexhibit. 2019. Consultado el 30 de enero de 2020.

[7] «Mirador da cova / Arrokae Arquitectos». www.arrokabe.com/portfolio/mirador/. 2019. Consultado el 30 de enero de 2020.

[5] J. Castaño Ruiz, J. Jaramillo Ordóñez; *Creación de una gama de acabados en madera para exteriores por medio del quemado y la carbonización*. Tesina, 2017.

[6] «Ants' House / Espejel - Fisac Arquitectos». *Plataforma Arquitectura*. 11 de julio de 2012. Consultado el 30 de enero de 2020.

[7] Madrid, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. «COAM - Distinciones 2011». www.coam.org. Consultado el 30 de enero de 2020.

[8] «La casa del acantilado / Gil-Bartolomé Architects». *Plataforma Arquitectura*. 2015. Consultado el 30 de enero de 2020.