

Edificios de estructura suspendida. Evolución en España y en el ámbito internacional

Suspended structure buildings. Spanish and international environment evolution

Jesús Gómez Hermoso^a

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Prof. Contratado Doctor.

jesusgomezhermoso@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se estudian los edificios suspendidos construidos en España entre los años 1961 y 2008, así como otros construidos en el resto del mundo entre los años 1964 y 2018. Estos edificios se han clasificado en tres categorías: “colgados”, “apoyados” y “otros”.

En el trabajo se realiza un estudio de la evolución en el tiempo de las tipologías estructurales, los materiales empleados (en particular en los tirantes y en las cabezas de los edificios colgados y en las vigas de transferencia de los edificios apoyados), la evolución de los procesos constructivos, la distribución geográfica, la evolución de la altura, del número de plantas suspendidas y de la esbeltez.

ABSTRACT

This document studies suspended buildings build in Spain between 1961 and 2008, as well as another buildings build in the Word between 1964 and 2018. These buildings have been classified in three categories: “hanging buildings”, “supported buildings” and “singular buildings”.

This document studies the evolution over time of structures typology, the materials (in particular the cable-stayed materials and head beams suspended buildings and supported transfer beams), the construction method evolution, the geographic distribution, the high evolution, suspended floor number and slenderness.

PALABRAS CLAVE: edificios altos, edificios suspendidos, edificio colgados, edificios apoyados, núcleo

KEYWORDS: tall buildings, suspended buildings, hanging buildings, supported buildings, core

1. Introducción

Esta ponencia nuestra el resultado de una investigación realizada en el curso 2019-2020 por Lucía Tarifa Lara y Jesús Gómez Hermoso en la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid y que se presentó como el Trabajo Fin de Máster de la primera.

La tipología de los edificios suspendidos se caracteriza porque su estructura resistente está constituida por uno o dos núcleos que transmiten todas las cargas del edificio a cimentación, siendo éste o estos núcleos los únicos puntos de contacto del edificio con el terreno de apoyo.

Se pueden distinguir, básicamente, dos categorías:

- Edificios suspendidos colgados, que son aquellos en que los forjados están apoyados tanto en el núcleo como en un sistema de tirantes o elementos a tracción. Éstos, a su vez, se encuentran anclados en una estructura superior denominada “estructura de cabeza” que permite la transferencia de las cargas de los tirantes al núcleo (ver figura 1).
- Edificios suspendidos apoyados, que son aquellos cuyos plantas transmiten las cargas a unas “estructuras de transferencia” que, a su vez, las transmiten al o a los núcleos (ver figura 2).

Se ha contemplado también un tercer grupo de edificios singulares que transmiten las cargas de las plantas a otros elementos estructurales como arcos, por ejemplo, que son quienes finalmente las transfieren al terreno de apoyo.

2. Edificios estudiados

Se incluyen en este apartado unas relaciones y clasificación de los edificios estudiados, que se recogen en la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 1. Edificios españoles suspendidos colgados

Edificio	Ubicación	Año	Altura (m)	Esbeltez (1)	Nº plantas colgadas
Torres Colón	Madrid	1976	85.5	11.5	21
Castelar / Catalana Occidente	Madrid	1983	50	8	10
Sede de la EMT	Madrid	2004	21.35		4
Bilbao Exhibition Centre	Bilbao	2006	92	9.5	9

(1) Esbeltez: Altura / ancho estructural en la base

Tabla 2. Edificios españoles suspendidos apoyados

Edificio	Ubicación	Año	Altura (m)	Esbeltez	Nº plantas apoyadas
Banco de Bilbao	Madrid	1981	107.85	12	6x5
Consorcio Zona Franca	Barcelona	2004	88		7
CEPSA	Madrid	2008	249.89	10	11+12+11

Tabla 3. Edificios españoles suspendidos singulares

Edificio	Ubicación	Año	Altura (m)	Esbeltez	Nº plantas colg/apoy
Sede JC Decaux	Madrid	1961	6		1
Parc de Recerca Biomédica	Barcelona	2007	36.94		9
Hotel ME Barcelona / Habitat Sdy	Barcelona	2007	120		24
Ciudad de las Comunicaciones	Madrid	2007			3
Teatros del Canal: teatro principal	Madrid	2008	40		2
Edificio Media-TIC	Barcelona	2009	38		8

Tabla 4. Edificios no españoles suspendidos colgados

Edificio	Ubicación	Año	Altura (m)	Esbeltez	Nº planta colgadas
Philips Nederland	Eindhoven	1964	54		12
Overbeek Huis / Europoint 1	Rotterdam	1965	56	6	10
Union Carbide (Seguros Monterrey)	Ciudad de México	1965			6
Finland House	Hamburgo	1966	50,5		13
Berlaymont Centre	Bruselas	1966	55		12
Lincoln Life / Kaden Tower	Louisville	1966	60		12
Ministry of Pensions / Tour Midi	Bruselas	1967	150	5.4	35
Complejo municipal de Marl: T1	Marl (Alemania)	1967	35	5.5	6
Complejo municipal de Marl: T2	Marl	1967	43	6.5	8
BP House	Antwerp	1967	57	9.5	12
Pacific Trade Centre	California	1967	44		11
Lincoln Savings and Loan Building	California		40		8
Casa de Irán	París	1968	38		8
P&O Offices	Londres	1968	58		10
Commercial Union	Londres	1968	118	8	24
Standard Bank	Johannesburgo	1968	140	10.7	10+10+10
Kleinwort Benson Fenchurch St	Londres	1968	90		20
Laboratorios Boehringer Ingelheim	Reims (Francia)	1968	25		5
Celanese Mexicana / SEMARNAT	Ciudad de México	1968	46.3		11
Oak Society Offices	Londres	1969	60	10.5	13
The Qube / Westcoast Transmission	Vancouver	1969	80	7.5	12
Universidad de Colonia	Colonia	1971	89	6.7	17
Sociedad Siemens de Saint-Denis	Saint-Denis	1971			7
Municipal Savings Bank Wuppertal	Wuppertal	1973	75	7	12
Pirelli	Buenos Aires	1974	95.3		10+10
Deutschlandradio	Colonia	1975	102		16
Hong Kong and Shanghai Bank	Hong Kong	1985	183	3.4	8+8+7+6+5
Norcon House	Hannover	1986			
Torre Dataflux / Avalanz	Nuevo León (Mx)	2000	166		12+12+14
111 Main Tower	Salt Lake City	2017	118		23
BMW Tower	Munich	1972	94.65		19

Tabla 5. Edificios no españoles suspendidos apoyados

Edificio	Ubicación	Año	Altura (m)	Esbeltez	Nº Plantas apoyadas
Olivetti Torre 1	Frankfurt	1972	52		7
Olivetti Torre 2	Frankfurt	1972	57		9
Federal Reserve Bank Building	Boston	1977	187.18		27
U. N. City	Viena	1978	113		24
Torre IBM	Buenos Aires	1980	70.58	6.6	16
Torre Cube	Zapopan (Mx)	2005	70		17
Four Season Hotel	Manama(Bahrain)	2015	201.5	6.3	18
150 North Riverside	Chicago	2017	220.8	18.4	41
Manhattan Loft Gardens	Londres	2018	143	14.3	15+15
1111 Sunset Boulevard	Los Ángeles	Proy.	174.35		49 / 27 / 17
Shenzhen Hytera Houhai Headq.	Shenzhen	Proy.	200		34

Tabla 6. Edificios no españoles suspendidos singulares

Edificio	Ubicación	Año	Altura (m)	Esbeltez	Nº plantas colg/apoy.
Museo de Arte	Sao Paulo	1968	24.75		2
Administración en Stade	Stade (Alemania)	1970	12.3		2
Marquette Plaza	Minneapolis	1973	64.6		10
Broadgate – Exchange House	Londres	1990	60		10
Eclipse	México	1996	92		14
Ludwing Erhard Hauss	Berlín	1999	38.6		9
Poly Corporation Headquarters	Pekín	2007	110		8

3. Evolución en el tiempo de la tipología suspendida

Los primeros edificios de este tipo se empezaron a construir en la década de 1960 y eran edificios del tipo “colgado”, siendo el primero de ellos el Philips Nederland de Eindhoven, construido en 1964.

En general, entre 1965 y 1975 se realizaron la mayor parte de los edificios suspendidos colgados; aproximadamente un 68% del total.

Los edificios de tipo suspendido apoyado aparecieron más tarde que los colgados, siendo el primero de ellos las torres Olivetti, en Frankfurt, construido en 1972.

Las últimas realizaciones de edificios apoyados, en los años que comprende este estudio, son el hotel Four Seasons, de Barein, realizado en 2015 y apoyado en dos núcleos, el 150 North Riverside, de Chicago, construido en 2017 y el edificio Manhattan Loft Gardens, de Londres, realizado en 2018.

En la etapa final de la investigación se encontraban en proyecto el complejo 1111 Sunset Boulevard, de Los Ángeles, con tres edificios diferentes apoyados, cada uno de ellos, en un núcleo central, y las oficinas centrales de la compañía china Hytera, en Shenzhen, con una torre con el mismo esquema de apoyo en un solo núcleo.

En el período 2015-2020 se ha llevado a cabo la construcción de los edificios colgados de 111 Main Tower, en Utah y las oficinas centrales de la Poly Corporation, en Pekín.

4. Distribución geográfica

Los países en los que se han construido más edificios colgados, empleando el esquema tradicional (núcleo, cabeza y tirantes) son Alemania, Inglaterra, EEUU, España, Holanda, Francia y México, siendo la tipología apoyada más habitual en EEUU y España.

La mayor parte de los edificios construidos entre 1960 y 1980 se llevaron a cabo en Alemania (26%), EEUU (13%), Reino Unido (13%), Holanda (10%) y Francia (10%).

En España el desarrollo fue más tardío. Hubo que esperar hasta la construcción de las Torres Colón, en 1976, cuando esta tipología empezaba a decaer en el ámbito internacional. En cualquier caso, debe considerarse que el proyecto y el inicio de la construcción de las Torres Colón data de la década de 1960, si bien, por razones urbanísticas, vio interrumpida su construcción durante algunos años en la finalización de la mencionada década y el comienzo de la de 1970.

5. Evolución en el tiempo de la tipología suspendida en España

En España el primer edificio suspendido colgado, construido en 1976, fue las Torres Colón (figura 1) y el primer edificio suspendido apoyado se construye en 1981, y es el edificio para el Banco de Bilbao, también en Madrid.



Figura 1. Edificios Torres Colón. Estructura suspendida colgada

Entre los años 2000 y 2010 hubo un notable incremento en la construcción de este tipo de edificios, tanto colgados como apoyados. Entre los edificios colgados hay que destacar la torre del Bilbao Exhibition Centre, del año 2006, y la sede de la EMT, de 2004, que mantienen la solución estructural clásica de los edificios colgados.

Entre los edificios de tipo singular deben citarse:

- Los Teatros del Canal, en Madrid.
- La Ciudad de las Comunicaciones de Telefónica, en Madrid.
- El edificio Media-TIC, en Barcelona.

En cuanto a los edificios apoyados, entre 2000 y 2010, cabe destacar:

- Torre Caja Madrid (anteriormente denominada Torre REPSOL y, posteriormente, Torre BANKIA y, actualmente, Torre CEPSA), en el Cuatro Torres Business Area, de Madrid (figura 2).
- Hotel ME, en Barcelona.

6. Evolución de altura sobre rasante

6.1 Edificios colgados

Los primeros edificios colgados construidos, en los años 1965 a 1968, tenían alturas alrededor de los 55-60 m como máximo.

Sin embargo, en estos años destacan por su altura:

- La Tour du Midi, en Bruselas, construida en 1967, con una altura de 150 m.
- Las oficinas del Commercial Union Bank, en Londres, de 1968, con una altura de 118 m.
- El edificio del Standard Bank, de Johannesburgo, de 1968, con una altura de 140 m.

La idea base en el diseño de los tres edificios es similar y consiste en dividir la estructura en “unidades estructurales” diferentes, articulando las plantas colgadas en “grupos de plantas”, de forma que cada grupo cuelga de una estructura diferente.

A finales de la década de 1960 y principios de la de 1970, se incrementó la altura de estos edificios desde 60 hasta unos 90-95 m.

Este límite fue superado en los edificios colgados más modernos, comenzando por las oficinas centrales del HSBC, en Hong Kong, construidas en 1985, con 183 m de altura y la torre Dataflux, construida en el año 2000, en México, con 166 m.

En estos dos últimos edificios el incremento de su altura puede explicarse por el empleo de dos núcleos situados en los extremos del edificio y estructuras de transferencia intermedias de las que cuelgan los bloques de plantas inferiores.

6.2 Edificios apoyados

Este tipo de edificio consigue alcanzar alturas superiores a las de los edificios suspendidos colgados, llegando a sobrepasar los 200 m. En general, en la altura de los mismos pueden influir el número de estructuras de transferencia que se

emplean, así como la propia configuración de éstas.

Por otra parte, la altura no está relacionada con el número de núcleos entre los que se puentean las plantas.

7. Evolución en el número de plantas suspendidas

7.1 Edificios colgados

Lo habitual es que en esta tipología los edificios cuelguen unas 10 a 12 plantas, una tendencia que es relativamente constante en el tiempo, si bien presenta algunas notables excepciones, como, por ejemplo:

- El Keiworth Benson Fenchurch Street, en Londres, con 20 plantas colgadas
- Las Torres Colón, en Madrid, con 21 plantas colgadas.
- El 111 Main Tower, en Utah, con 23 plantas colgadas.

Lo que se pone de manifiesto en este punto es que el número de plantas colgadas de una misma estructura de cuelgue está limitado.

7.2 Edificios suspendidos

En los edificios suspendidos apoyados se observa una cierta tendencia a aumentar la altura de la parte suspendida del edificio con el tiempo. Se pueden aplicar las mismas consideraciones que se hicieron con la evolución en altura de este tipo de edificios: la altura y el número de plantas suspendidas se puede incrementar bien disponiendo estructuras de transferencia intermedias entre núcleos, agrupando las plantas suspendidas en “bloques de plantas”, o bien aumentando la magnitud de dichas estructuras.

8. Evolución de la esbeltez

Aunque este es un análisis más relativo y menos representativo, la esbeltez de los edificios suspendidos colgados parece ser más o menos constante, con un valor alrededor de 6 o 7, siendo muy destacable el de 11,5 de las Torres de Colón.

La esbeltez de los edificios suspendidos apoyados es notablemente mayor que la de los colgados, alcanzando valores superiores a 15 e, incluso, el valor de 20 para el 150 North Riverside, en Chicago.



Figura 2. Torre CEPSA. Edificio suspendido apoyado

9. Consideraciones relativas a la esbeltez y número de plantas suspendidas

Uno de los principales problemas resistentes específicos de los edificios colgados lo constituye la desnivelación de apoyos que existe en cualquier piso entre las zonas apoyadas en el núcleo y las que cuelgan de los tirantes.

La desnivelación es tanto más importante cuanto más baja sea la planta en consideración y cuanto mayor sea el número de plantas.

En edificios colgados altos y estrechos, en algunos diseños, puede darse el caso de que la deformación diferencial señalada anteriormente sea tan importante que, a efectos prácticos, la acción de soporte de los tirantes exteriores se vea tan reducida que las plantas de pisos se comporten como si estuviesen en voladizo desde el núcleo.

Éstas serían las razones por las que, en un edificio suspendido colgado, el número de plantas colgadas (al menos el número de plantas que quedan suspendidas de cada estructura de cuelgue) y la esbeltez están limitadas.

En el caso de los edificios apoyados, la plataforma resistente se dispone a nivel de la primera planta y empotrada en el núcleo central; los tirantes se convierten en pilares y los problemas de desnivelación de apoyos se reducen drásticamente. Además, estas plataformas rigidizan los núcleos verticales hasta formar un macro-pórtico con ellos, lo que reduce los esfuerzos producidos por el viento y permite a esta tipología de edificios alcanzar mayor altura.

10. Evolución de los materiales estructurales

10.1 Núcleo

La gran mayoría de los edificios estudiados (87%) están contruidos con núcleo de hormigón y sólo un 11% tienen núcleo metálico. El 2% restante tienen un núcleo mixto.

Algunas de las razones que llevan a este desequilibrio en el uso de materiales son:

- El uso de núcleo metálico conlleva un mayor riesgo en caso de incendio.
- El uso de acero plantea mayores problemas en la conservación debido a la corrosión.

Por otra parte, dentro de las capacidades frente a esfuerzos de compresión, no era habitual emplear hormigón de alta resistencia (HAR) en los núcleos de edificios suspendidos. Lo habitual era emplear hormigones convencionales, con resistencias a compresión de 30 a 40 MPa. En este caso es importante tener en cuenta los años estudiados y en los que se construyeron estos edificios, en los que el uso de HAR era muy poco habitual.

Lo que sí resulta habitual es el empleo de varios hormigones, con diferentes resistencias a compresión, en función de la cota del núcleo. Así, por ejemplo:

- En la actualmente denominada Torre CEPSA, se emplearon dos tipos diferentes de hormigón: HA-40 y HA-55.
- En la Torre Dataflux se emplearon tres tipos diferentes de hormigón: HA-45, HA-35 y HA-25.

10.2 Tirantes

En los edificios suspendidos colgados la mayoría (un 80% de los estudiados) los tirantes son metálicos. En el resto de los casos se suelen emplear tirantes de hormigón pretensado.

El uso de tirantes de hormigón pretensado se restringe a las realizaciones llevadas a cabo en Alemania (cinco edificios), a las Torres Colón de Madrid y al Standard Bank de Johannesburgo. Esto puede explicarse, parcialmente, porque Alemania y España han sido países con una fuerte tradición en el hormigón pretensado.

Por otra parte, en los primeros años de la tipología colgada, para construir tirantes metálicos, se optaba por emplear mayoritariamente chapas o cables de acero, mientras que en los edificios colgados más recientes, que se han proyectado con tirante metálico, se han empleado de forma más extendida perfiles metálicos.

En general, el uso de tirantes metálicos es más extendido que el de hormigón pretensado

porque la primera tipología facilita la ejecución de las uniones con los forjados.

En cualquier caso, incluso con los tirantes metálicos, es difícil ejecutar una unión articulada perfecta entre tirante y forjado, ya que siempre hay, en la basa de conexión entre tirante y forjado, un esfuerzo de flexión que se transmite a la chapa. Por ello el uso de perfiles metálicos, capaces de absorber mejor estos esfuerzos de flexión, se ha impuesto al de chapa.

10.3 Estructuras de cabeza en edificios colgados

Las estructuras de cabeza en edificios colgados están realizadas con vigas metálicas en su mayoría (46%), y vigas de hormigón pretensado (30%).

Algunas de las principales para este uso mayoritario son:

- Mayor uso de soluciones metálicas o mixtas por ser más ligeras que las de hormigón.
- Estas soluciones permiten su prefabricación.
- El montaje de estas soluciones es relativamente fácil.

10.4 Estructuras de transferencia en edificios apoyados

En edificios apoyados se plantean una o varias plataformas de transferencia empotradas en el núcleo o núcleos y sobre las que se apoyan las distintas plantas.

Se trata de soluciones generalmente de gran canto, donde predominan las vigas metálicas (tipo cerchas) (41%) o las vigas de hormigón pretensado (42%). En menor medida se han empleado vigas de hormigón armado (17%).

10.5 Forjados en plantas suspendidas

Para la ejecución de los forjados de las plantas suspendidas se emplean, básicamente, tres materiales:

- Vigas metálicas, que pueden ser perfiles metálicos o vigas tipo Boyd. Lo más habitual es que sobre estas vigas metálicas apoye un forjado de chapa colaborante con hormigón vertido “in situ”.

- Hormigón armado, de forma que el forjado está constituido por una losa maciza, o es un forjado reticular.

- Hormigón pretensado, con un menor empleo. El empleo del forjado metálico sobre el de hormigón puede explicarse por su ligereza, por su menor peso propio y por su facilidad de montaje.

10.6 Comparativa de materiales estructurales empleados en España y en el Mundo. Distribución geográfica

El material predominante en tirantes de edificios colgados es el acero; no obstante, en Alemania, y en menor medida en España, hay un uso importante de tirantes de hormigón pretensado. En EEUU, Reino Unido y el resto de Europa (Bélgica, Holanda y Francia) se han empleado elementos metálicos en el 100% de los edificios colgados.

El material empleado en la estructura de cabeza está también muy condicionado por el país en que se construya el edificio, de forma que en Alemania y España el uso del hormigón pretensado está más extendido. En cambio, otros países, como Holanda, Bélgica, Reino Unido o EEUU, que tienen una mayor tradición en la construcción con acero, tienden al uso de este material.

11. Elementos de conexión

11.1 Edificios suspendidos colgados

Para la conexión entre el forjado y el núcleo se ha optado por una de estas soluciones:

- Soldadura de unas ménsulas metálicas que se dejan en el hormigón y que se sueldan a la viga de forjado si ésta es metálica, o a otra ménsula metálica dejada en el propio forjado.

- Dejar la viga simplemente apoyada en las paredes del núcleo sobre apoyos estructurales oscilantes que restringen el desplazamiento en las dos direcciones, pero sí permiten la rotación. Para realizar la unión entre tramos de tirantes, en el caso de que sean tirantes metálicos, chapas o perfiles, lo habitual es recurrir a uniones atornilladas.

En tirantes de hormigón pretensado una solución habitual es que cada tramo de tirante quede apoyado en una ménsula de hormigón ejecutada en la viga de borde del forjado, sobre un apoyo de neopreno.

Para la unión de los tirantes con la estructura de cabeza:

- Una opción para tirantes de hormigón pretensado es el empleo de un apoyo de neopreno entre la viga de cuelgue y el primer tramo de tirante (Torres de Colón).

- Otra opción es soldar los tirantes a unos perfiles metálicos colocados con anterioridad en la viga de hormigón (Edificio Castelar).

La estructura de cabeza puede colocarse sobre el núcleo mediante el empleo de apoyos estructurales oscilantes, o puede articularse en torno al mismo, en su parte superior o en diferentes alturas del mismo si existen varios niveles de cuelgue. En estos casos, puede ser necesario empotrar las vigas en ménsula que constituirán la estructura en el núcleo mediante el empleo de pretensado.

También será necesario ejecutar uniones de pretensado en los casos en que el tirante ancla directamente en la parte superior del núcleo (Torre Qube, en Vancouver).

11.2 Edificios suspendidos apoyados

En este tipo de edificios interesa estudiar cómo se ejecuta la unión entre el núcleo y las vigas de

apoyo. Entre las opciones más habituales se deben citar:

- Introducir una armadura postesa, que transmita las cargas horizontales de las vigas de transferencia al núcleo (Torre CEPSA y en el Manhattan Loft Gardens Tower).

- Constituir una unión apoyada entre ambos elementos (Edificio Banco de Bilbao, en AZCA, en Madrid).

12. Cimentación

La cimentación está más relacionada con las condiciones geotécnicas y geológicas y con las cargas transmitidas al terreno que con la propia tipología estructural.

La solución más habitual, por las citadas condiciones del terreno y por las generalmente altas cargas transmitidas al mismo por la estructura del edificio, es la profunda mediante pilotes.

Debe tenerse en cuenta otro aspecto, especialmente en los edificios suspendidos colgados. Hay que considerar los posibles asientos de la cimentación del núcleo para las diferentes hipótesis de carga, porque existen normalmente una serie de plantas de sótano con estructura a base de pilares cuya cimentación es independiente a la del núcleo. Esta estructura de los sótanos está, sin embargo, rígidamente unida al núcleo a través de los forjados y, si los asientos en cimentación del núcleo y de los pilares fuesen diferentes, podrían producirse fisuras en la estructura adyacente de sótano.

13. Edificios con singularidad de suspensión

Son aquéllos que se apartan del esquema tradicional de cuelgue de forjados y presentan un comportamiento estructural diferente. En este trabajo se ha recogido una muestra de los mismos, entre los que se encuentran:

- Edificios suspendidos que trabajan como pórtico en dos direcciones (Museo de Arte de Sao Paulo).
- Edificios suspendidos de una sucesión de pórticos (Ludwig Erhard Haus, en Berlín, o la sede JC Decaux, en Madrid).
- Edificios en los que sólo queda suspendida una parte de la estructura como, por ejemplo:
 - Edificio Eclipse, en México.
 - Oficinas centrales de la Poly Corporation, en Pekín.
 - La Ciudad de las Comunicaciones, de Telefónica, en Madrid.
 - El hotel ME, en Barcelona.
- Edificios con estructura de puente (Broadgate Exchange House, en Londres, y Marquette Plaza de Minneapolis).

14. Conclusiones

- Los edificios **suspendidos** se **empezaron** a proyectar y construir a mediados de la década de 1960. Las primeras realizaciones eran de tipo **colgado** y se concentraron, fundamentalmente, en Holanda, Alemania, Bélgica, EEUU y Reino Unido.

Los edificios suspendidos de tipo **apoyado** aparecieron más tarde, a principios de la década de **1970**.

- La tipología **colgada**, **más habitual** entre 1965 y 1980; **posteriormente** se ha utilizado menos en comparación con la tipología **apoyada**.
- Los edificios apoyados admiten mayores **esbelteces** y un mayor **número de plantas** que los colgados. En los edificios colgados pueden producirse desnivelaciones considerables en planta debido a la deformación de los tirantes, lo que condiciona el número de plantas colgadas. Estos problemas de desnivelación se reducen en edificios apoyados.

- Los **núcleos** son en su gran mayoría de hormigón. No es habitual el uso de hormigones de alta resistencia en los mismos.

- Los **tirantes** de edificios colgados suelen ser **metálicos**. Anteriormente se empleaban chapas de acero por su facilidad de montaje y de ejecución de las uniones; sin embargo, no absorben bien los esfuerzos de flexión que se producen en su conexión con los forjados. Hoy en día se emplean más los perfiles metálicos.

- El uso de **tirantes de hormigón pretensado** se ha focalizado en Alemania y España. Algo parecido, aunque de forma menos acusada, ocurre con las vigas de cuelgue: predomina el uso de hormigón pretensado en estos elementos estructurales en Alemania y España, optándose por el empleo de estructuras metálicas en otros países. Estas técnicas pueden explicarse por una mayor tradición y dominio de la técnica de pretensado en esos dos países.

- El tipo de **cimentación** de estos edificios está relacionado con las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno y las cargas que transmite la estructura al mismo. Es más frecuente la cimentación profunda mediante pilotes.

Agradecimientos

Agradecemos la información facilitada durante el desarrollo de la investigación a los siguientes ingenieros e instituciones: Mark Sarkisian (SOM), Mike Schlaich (Schlaich Bergermann Partner), Roberto Stark, Patrick Ladret (Freyssinet) y Fernando Martínez (Dywidag).

Referencias

- [1] Tarifa Lara, L., Gómez Hermoso, J. (2020), Edificios de estructura suspendida. Estado en el Mundo y aplicación práctica, TFM c. 2019-20, Universidad Politécnica de Madrid.