



---

**Universidad de Valladolid**

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

# Sistemas de instalaciones en la edificación en altura

Rascacielos y sus necesidades técnicas

Alumno: Álvaro Bueno Barcenilla  
Tutor: Alberto José Meiss Rodríguez

# Índice

Índice .....	2
Resumen .....	3
Abstract .....	3
Objetivo del trabajo .....	4
El ascensor como germen del rascacielos.....	6
Primeros rascacielos .....	7
Rascacielos modernos.....	10
Actualidad.....	12
Sistemas de instalaciones en edificación .....	14
Fontanería.....	15
Electricidad .....	23
Acondicionamiento.....	29
Protección Contra Incendios.....	36
Energías renovables .....	43
La planta técnica.....	48
Equipamiento .....	49
Ubicación.....	50
Comunicación.....	51
Casos de estudio.....	52
<i>Burj Khalifa</i> . El máximo aprovechamiento del agua.....	52
<i>Kingdom Tower</i> . El transporte vertical como elemento esencial .....	54
<i>Pearl River Tower</i> . La incorporación de las energías renovables .....	56
Conclusiones.....	58
Referencias bibliográficas .....	59
Referencias fotográficas .....	61

## Resumen

Este trabajo académico analiza el estado de los sistemas de instalaciones en la arquitectura, así como su aplicación a la construcción en altura y, en especial, el empleo de estos a la arquitectura de rascacielos.

A lo largo de la investigación se procede a describir los diferentes sistemas y su funcionamiento y los enfoques más habituales que se toman para solucionar la serie de problemas que genera la edificación en vertical. Esta información, que se agrupa por sistemas para facilitar el análisis, se complementa con el estudio más en profundidad de la planta técnica. Finalmente, se analiza un caso de estudio para ver como las soluciones descritas en el trabajo se materializan en un rascacielos real.

### *Palabras clave*

Sistemas de instalaciones, Rascacielos, Planta técnica, Arquitectura en altura, Infraestructura.

## Abstract

This academic paper analyzes the current state of infrastructure systems in architecture, their application in high-rise construction and, particularly, the use of mentioned systems in the skyscraper architecture.

This essay describes those systems and their purpose individually, along with the problems linked to height and the related solutions. The information presented in this dissertation, classified by MEP categories, is then complemented by the analysis of the mechanical floor. Finally, a study case shows how the described solutions of this paper are included in the construction of a real skyscraper.

### *Keywords*

MEP systems, Skyscrapers, Mechanical floor, High-rise building, Infrastructure systems.

## Objetivo del trabajo

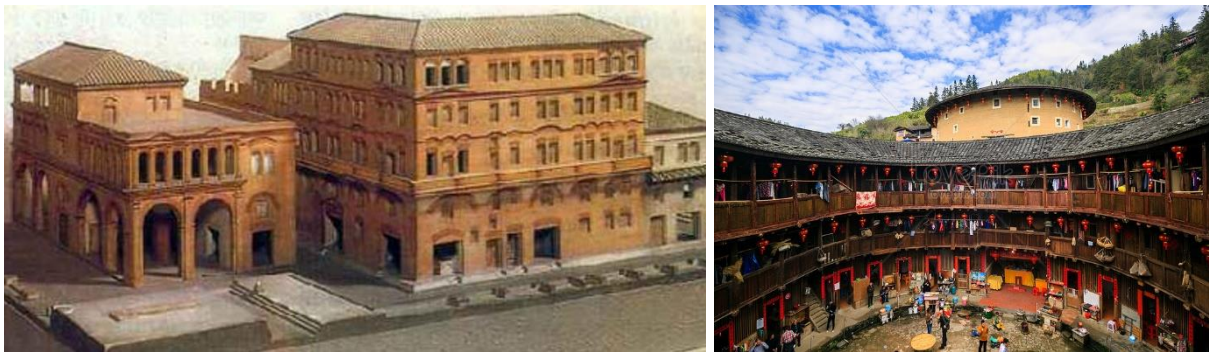
El presente Trabajo de Fin de Grado busca estudiar la problemática existente en las instalaciones en edificación de gran altura. Para ello, primero se analizará la evolución histórica que han sufrido los edificios en altura, desde los primeros rascacielos en Chicago y Nueva York hasta la actualidad de la arquitectura de rascacielos en Europa y España. Posteriormente el trabajo mencionará las diferentes instalaciones existentes que aparecen tradicionalmente en la arquitectura española y de la legislación vigente en cuanto a su aplicación y requerimientos. A continuación, y tras la parte inicial, se desarrollarán una a una las instalaciones mencionadas y la problemática que cada una debe enfrentar al proyectarse dentro de un edificio en altura, así como ejemplos y/o referencias. Tras este análisis, el trabajo estudiará las soluciones en conjunto y como se han estandarizado algunas propuestas. Por último, y para finalizar, se mostrarán unas conclusiones sobre el estudio planteado en este trabajo.

La razón principal para la elección de este tema en el Trabajo de Fin de Grado es la investigación y el aprendizaje de nuevas soluciones en el proyecto de instalaciones. Debido a su naturaleza diversa, la gran mayoría de las instalaciones sólo se muestran de manera muy resumida, especialmente si comparamos con otras áreas de estudio en la carrera de Arquitectura. Esta situación implica que las instalaciones no pueden enseñarse de manera intensiva puesto que agrupan un conjunto muy amplio de necesidades (fontanería, calefacción, electricidad, gas, incendio, etc.) y existe una limitación temporal por el plan de estudios. Por esta razón la enseñanza de instalaciones, aunque suficiente para conocer las soluciones más habituales y los cálculos más frecuentes; se queda corta en cuanto a las instalaciones más específicas (telecomunicaciones, suministro de gases en complejos hospitalarios, instalaciones de energías renovables, etc.)

En definitiva, el presente trabajo tiene como objetivo el estudio del método de aplicación de las instalaciones en las edificaciones en altura. Este análisis busca complementar la información adquirida durante la carrera de arquitectura mediante la investigación de nuevas instalaciones y soluciones.

La arquitectura original era eminentemente horizontal, puesto que no había grandes limitaciones de espacio. Los primeros ejemplos de arquitectura vertical fueron grandes monumentos: mastabas, pirámides, obeliscos, mausoleos, etc. La razón de su verticalidad es la de servir como elemento referencial y evitar que se comparase el monumento con otros tipos de arquitectura más mundana. Es cierto que cualquier arquitectura vertical ha requerido siempre de innovación tecnológica para poder edificarse, pero, a diferencia de la edificación en altura, la arquitectura monumental no requería grandes espacios interiores que acogieran usos habitacionales. Esto ha permitido que los grandes monumentos hayan alcanzado mayores alturas que la edificación tradicional.

Sin embargo, la edificación en altura no es reciente. En la Antigüedad ya existían ejemplos de arquitectura de apilamiento. Durante la época romana se construía de manera habitual edificios con varias plantas apiladas denominados *insulae*.<sup>1</sup> Estos edificios, precursores de los bloques de viviendas modernos, alcanzaban varias plantas de altura superando algunos los 20 metros de altura. La construcción con muros de carga permitía la superposición de planos de uso hasta cierta altura, por lo que en el mismo solar podían construirse varias unidades residenciales. No obstante, la falta de conocimientos técnicos y la gran disponibilidad de espacio inhibieron el apilamiento de estancias restringiendo, en la práctica, la altura máxima de las edificaciones. Esto no significa que la arquitectura en altura fuese inexistente. La mayoría de las ciudades de la historia se han edificado utilizando esta tipología en mayor o menor medida, como por ejemplo los *Tulun* (China, siglos XIV y XV) o el bloque *Hausmann* (Paris, segunda mitad del siglo XIX). Pero, la falta de necesidad de mayor aprovechamiento de espacio coartó el desarrollo técnico necesario para seguir construyendo edificios de mucha mayor altura.



1. Izquierda: Recreación *insulae* romana. Derecha: *Tulun*

Además, el apilamiento de planos generó un problema de comunicación. A mayor número de plantas, mayor número de escalones era necesario para acceder a los últimos niveles. De hecho, esta situación propició que en las ciudades europeas de los siglos XVIII, XIX y principios del XX se creasen en el mismo edificio viviendas para gente de diferente clase social. Las primeras plantas se destinaban a la población más pudiente y las últimas, que tenían una peor conexión vertical, eran dedicadas para las clases más pobres.<sup>2 3</sup>

A finales del siglo XIX surgieron nuevos materiales con características técnicas novedosas. La creación de estos materiales constructivos, en especial los perfiles de acero, y la investigación

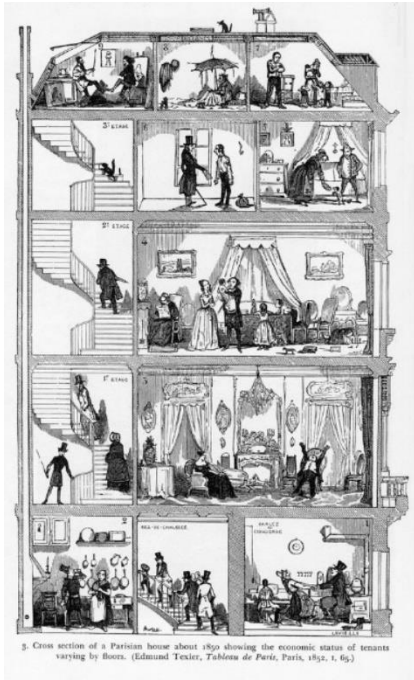
---

<sup>1</sup> (Aldrete, 2004)

<sup>2</sup> (Abdel & Harrouk, 2021)

<sup>3</sup> (Earthly Mission, 2021)

acerca del comportamiento estructural permitió la aparición de un nuevo tipo de arquitectura. La arquitectura de rascacielos. Pero, para que este nuevo modelo de arquitectura fuera útil y eficiente era necesario algo más, el transporte vertical. Los rascacielos no habrían sido posibles si Elisha Graves Otis no hubiera inventado el ascensor de seguridad en 1852.<sup>4</sup>



2. Izquierda: Bloque Hausmann. Derecha. Ilustración siglo XIX de la distribución de las clases sociales en los bloques de vivienda

## El ascensor como germen del rascacielos

La comunicación vertical entre plantas es uno de los retos más importantes de la arquitectura en altura. No es útil crear un edificio alto con espacios habitables en las plantas superiores si el acceso hasta ellas es tedioso, difícil y/o agotador. Esta es la razón por la cual la comunicación vertical es uno de los dos limitadores de altura en edificación junto con la resistencia de los materiales.

Precisamente la aparición en de un sistema capaz de transportar personas y mercancías verticalmente mediante energía externa revolucionó el mundo de la edificación. Ya no era necesario subir tantos tramos de escalera para llegar a las plantas más altas, otrora inaccesibles. El ascensor permitía democratizar el acceso a todas las plantas, puesto que todas quedaban en la práctica a la misma distancia de la calle. Incluso propició una inversión, las clases pudientes ahora preferirían las últimas plantas, alejadas del ruido de la calle y con mejor acceso a iluminación.

En 1852 Elisha Otis inventó el primer ascensor de seguridad. El concepto de montacargas ya era conocido previamente, pero fue E. Otis quien desarrolló el primer sistema de seguridad que impedía la caída de la cabina en caso de que el cable de soporte se rompiese. El propio Otis realizó una presentación en directo en el *Crystal Palace* de Nueva York en 1854 en el que un ayudante cortaba el cable del ascensor mientras el inventor estaba en la cabina.<sup>5</sup> La demostración de la eficacia del freno de seguridad fue un éxito que evidenció que el transporte vertical mediante ascensor era seguro para su uso por parte de las personas. Tal fue el éxito que en 1857 el primer ascensor de este tipo fue instalado en un edificio comercial en Nueva York, concretamente en el

<sup>4</sup> (Enciclopedia Britannica, 2021)

<sup>5</sup> (Enciclopedia Britannica, 2021)

*E.V. Haughwout Building*. Tuvieron que pasar 13 años para que, en 1870, el *Equitable Life Building* se convirtiera a su vez en el primer edificio de oficinas en disponer de un sistema similar de transporte vertical.

El siguiente paso trascendental en el mundo de los ascensores se dio en 1880 en Alemania. Werner von Siemens diseñó el primer elevador eléctrico. En los siguientes años Frank Sprague diseñaría un sistema similar al que complementaría añadiendo mejores mecanismos de seguridad, mando de control para elegir la planta, operación automática, etc. Gracias a todas estas mejoras, la empresa de Sprague se popularizó y en 1895 fue comprada por la compañía de Elisha Otis, Otis Elevator Company.

El diseño de ascensor eléctrico recuperó el sistema de poleas que tenían los primeros elevadores y montacargas, pero que había sido desechado en los sistemas de elevación mediante pistones, eliminando la limitación de altura que poseen los ascensores hidráulicos. A diferencia de los ascensores tradicionales, la polea de los ascensores eléctricos está accionada por un motor en vez de ser accionado de manera manual mediante trabajadores o animales. Esta diferencia permitía optimizar el espacio puesto que el motor eléctrico administraba más fuerza. Esto implicaba que el ascensor eléctrico podía alcanzar mayores velocidades y cargas que los primeros ascensores de tracción manual.

La cada vez más frecuente utilización del ascensor fomentó la innovación tecnológica en el sector: se desarrollaron puertas interiores y exteriores, tanto para las cabinas como para el hueco del propio ascensor; se optimizó el motor que accionaba la cabina, reduciendo el espacio necesario y pudiendo colocarse en el mismo hueco del elevador; y se mejoraron cada vez más los sistemas de seguridad.

La estandarización del suministro eléctrico en los edificios generalizó la colocación y utilización del ascensor eléctrico. Y, desde finales del siglo XIX, la innovación técnica en el transporte vertical ha permitido el crecimiento de las construcciones aumentando progresivamente la altura de los nuevos edificios y permitiendo la aparición de un nuevo modelo de arquitectura hasta entonces imposible: el rascacielos.

## Primeros rascacielos

Los primeros rascacielos se construyeron en las grandes ciudades estadounidenses a finales del siglo XIX. De entre todas ellas son remarcables Chicago y Nueva York. En la primera se construye en 1884 el *Home Insurance Building*. Se trata del primer edificio con estructura metálica y hormigón armado y, debido a su altura de 42 metros, es considerado el primer rascacielos de la historia. Estableció un récord de altura en la época y mostró el camino hacia el cual se dirigiría la edificación en altura.

El soporte del edificio es uno de los primeros problemas que debe resolver el proyecto. Originariamente los edificios en altura se construían de manera similar al resto de la arquitectura tradicional. De hecho, las primeras construcciones en altura de finales del siglo XIX no se diferenciaban de la arquitectura de menor escala salvo por el hecho de la superposición de plantas.<sup>6</sup> Al igual que la arquitectura más modesta, los sistemas estructurales habituales eran el muro de carga o los soportes de madera. Con el aumento de las plantas se generalizó rápidamente la estructura de acero al ser más ligera. Esto permitía ascender más puesto que se reducía el peso al tiempo que aumentaba la resistencia.<sup>7</sup>

Mientras Chicago vivía una revolución a final del siglo XIX, la ciudad de Nueva York sólo había experimentado con 4 edificios de gran altura. Sin embargo, la construcción del *Flatiron Building* en 1902 supuso el comienzo de la llamada Primera Gran Era de los rascacielos. El *Flatiron*

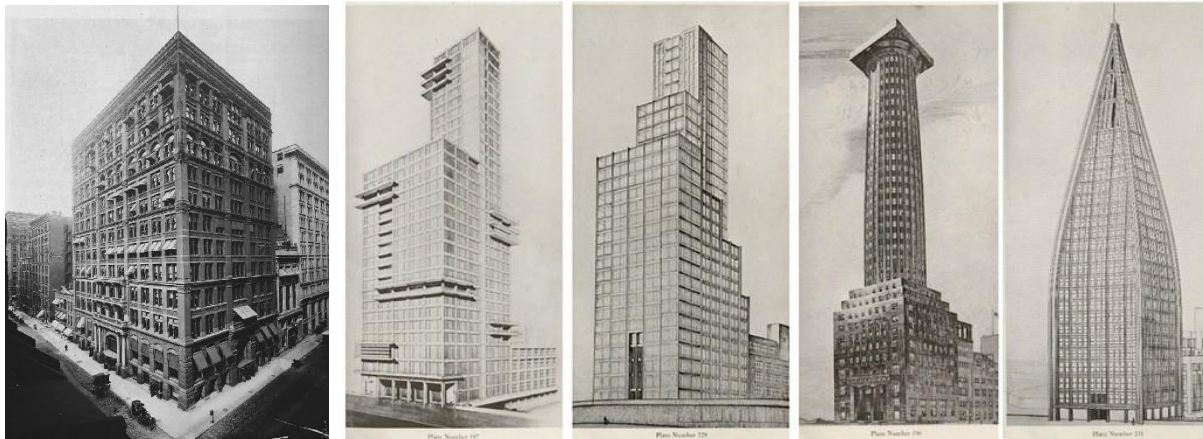
---

<sup>6</sup> (Buley, 1959)

<sup>7</sup> (Larson, 1987)

se convirtió rápidamente en un icono de la ciudad y fomentó la aparición de nuevos rascacielos en los siguientes años. Las dos primeras décadas del siglo XX implicaron mejoras en la construcción, por lo que se redujeron costes y el trabajo se volvió más eficiente. Se instalaron versiones más rápidas de ascensores que funcionaban con electricidad en vez de necesitar pistones hidráulicos. Los avances eléctricos supusieron una mejora en la iluminación e implicaron un aumento en requisitos mínimos de iluminación.

Otras ciudades de Estados Unidos se apuntaron al auge de los edificios en altura: la compañía General Motors construyó en 1919 el edificio que llevaba su nombre en Detroit, Michigan, que posteriormente pasaría a llamarse *Cadillac Place*; el actual *Centennial*, originalmente llamado *Union Trust Building*, fue construido en Cleveland, Ohio, en 1921; en Providence, Rhode Island, se levantó en 1928 el *Industrial National Bank Building*, etc. Los rascacielos estaban empezando a popularizarse y el *Chicago Tribune* aprovechó el auge para realizar un concurso de ideas para su futura sede. Llegaron propuestas de decenas de arquitectos, muchos de ellos reconocidos internacionalmente: Eliel Saarinen, Adolf Loos, Walter Gropius, etc. convirtiendo el concurso en un evento histórico de la arquitectura. Los ganadores, John Mead Howells y Raymond Hood plantearon un edificio neogótico que se construyó en 1925.



3. Izquierda: *Home Insurance Building*. Derecha: *Propuestas del concurso del Chicago Tribune*, de izq. a der: *Walter Gropius y Adolf Meyer, Max Taut, Adolf Loos, y Bruno Taut, Walter Gunther y Kurtz Schutz*;

Los rascacielos estadounidenses de principios del siglo XX actuaron como un reclamo turístico. Muchos países imitaron esta nueva arquitectura construyendo edificios similares. El *Commerce Court North* (1931) de Toronto o el *Edificio Kavanagh* (1936) en Buenos Aires son ejemplos de esta globalización. En Europa se levantaron edificios como el *Royal Liver Building* (1911) en Liverpool, el *PAST* (1910) en Varsovia, o el *Wilhelm Marx House* (1924) en Düsseldorf. Incluso en España se construyeron edificios similares como por ejemplo el *Edificio Telefónica*, construido en 1929 en Madrid. No obstante, la mayoría de las ciudades y países europeos promulgaron leyes o normativas que limitaban la altura de las edificaciones por lo que la gran mayoría de los edificios en altura planteados en Europa no llegaron a construirse.

Tras la importante caída del mercado de valores conocida como el Crac del 29, Estados Unidos estaba sumido en una profunda crisis económica. La Gran Depresión afectó a múltiples sectores y la construcción no fue una excepción. Las construcciones se ralentizaron y el auge de rascacielos que había existido en años previos se desvaneció. Aun así, durante los años 30 se continuaron construyendo edificios en altura. Algunos de ellos forman parte actualmente de los más famosos y conocidos de la historia incluso siendo iconos de sus respectivas ciudades. Durante esta época el formalismo de los rascacielos alcanzó nuevos niveles. Atrás quedaron los referentes neoclasicistas y renacentistas de finales del XIX. Los rascacielos de finales de los 20 y de la década de los 30 se volvieron más plásticos, como si fueran esculturas. Estas nuevas referencias, basadas



en el cubismo, la secesión vienesa, el fauvismo y el *ballet* ruso, eran parte de una nueva corriente artística (y por lo tanto también arquitectónica) denominada *art déco*.

El *Chrysler Building* recibió numerosas críticas tras su inauguración en 1930 en Nueva York. Gran parte de la población lo tachaba de anodino y con falta de originalidad. En la actualidad, la percepción general ha evolucionado y es considerado un ejemplo paradigmático del *art déco* estadounidense. El *Chrysler* obtuvo el título de edificio más alto del mundo cuando finalizó su construcción. No obstante, un año más tarde, perdió dicho título a manos de otro edificio de la misma ciudad: el *Empire State Building* que lo mantuvo hasta 1973. Con sus 381 metros de altura (443 metros si contamos la antena) el *Empire State* se ha convertido en uno de los iconos más reconocibles de Nueva York debido a su aparición en multitud de series y películas



4. Izquierda: *Chrysler Building*. Centro: *Empire State Building*. Derecha: *30 Rockefeller Plaza Building*

estadounidenses. Es un icono de la ciudad y se trata del rascacielos más visitado de Nueva York con cerca de 4 millones de turistas anuales. La mayoría de sus visitantes aprovechan para subir a ver las vistas desde el *Mirador de la planta 86*. Dos años después de su construcción, en 1933, se finalizó el *30 Rockefeller Plaza Building* también en Nueva York. A pesar de ser mucho menos reconocible el *30 Rock* no tiene nada que envidiar al *Empire State Building*. Famoso internacionalmente, especialmente por la plaza que hay a sus pies y en la que todas las navidades se instala una gran pista de hielo y un enorme árbol de navidad, también posee su propio mirador, *Top of the Rock*, que muchos turistas prefieren por la cercanía a *Central Park*.

El aumento de la altura implicó un estudio de la presión y fuerza del viento. Los primeros grandes rascacielos debían ser muy anchos en la base para soportar mejor los esfuerzos laterales del viento al tiempo que permitía la llegada de luz natural a la calle.<sup>8</sup> Las nuevas estructuras debían tener en cuenta no solo las cargas verticales debidas al peso del propio edificio y los usuarios sino también las cargas horizontales en las zonas superiores que genera la presión del viento en las fachadas.

Tras recuperarse de la Gran Depresión, la participación de Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial y la consiguiente crisis económica volvieron a afectar a la construcción de rascacielos, que se paralizó y prácticamente no se reanudó hasta mediados de los años 50 y 60. La crisis afectó a la práctica totalidad de los países occidentales, principales constructores de

---

<sup>8</sup> (Kayden, 2000)

rascacielos de la época. Por otro lado, los estados soviéticos, sin un problema económico tan remarcado por la guerra, pudieron permitirse la construcción de nuevos rascacielos, la mayoría siguiendo el clasicismo soviético. Ejemplos de esta nueva realidad arquitectónica fueron el *PKiN* (1955), construido en Varsovia; el *Hotel Ukrayina* (1961), en Kiev; o la *Academia de Ciencias de Letonia* (1946) que se construyó en Riga. Al mismo tiempo, países de Europa Occidental comenzaron a permitir la construcción de edificios más altos, eliminando las restricciones de altura máxima. Esto posibilitó la creación de nuevos edificios como el *Edificio España*, construido en Madrid en 1953, o la *Breda Tower*, inaugurado en 1954 en Milán.

## Rascacielos modernos

Desde la aparición del *art déco*, este estilo fue el prioritario en el diseño de rascacielos y edificios durante la década de los años 30 y principios de los 40. No obstante, el racionalismo, movimiento surgido en Europa, comenzó a experimentar un auge en la misma época. El *McGraw-Hill Building*, construido en Nueva York en 1931, y el *PSFS Building* de 1932, edificado en Filadelfia, Pensilvania; fueron los primeros ejemplos de la aplicación de este nuevo movimiento a la arquitectura de rascacielos.

El desarrollo de tecnologías y la investigación en materiales constructivos permitió que la arquitectura de mitad de siglo desarrollara un estilo diferente, habitualmente denominado Estilo Internacional. El sistema de muro cortina, el concepto de planta técnica y el uso del vidrio y acero como elementos característicos ha permitido englobar a estos edificios como rascacielos modernos. Este nuevo estilo, también conocido como racionalismo o Movimiento Moderno, surgió en los años 20 y 30 en Europa, aunque su aplicación a los rascacielos no se generalizó hasta finales de los años 50.

Entre los rascacielos más remarcables de la época destaca la *Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas*. El proyecto, diseñado por Le Corbusier, Oscar Niemeyer y Wallace Harrison, se construyó en 1952 en Nueva York y se ha mantenido hasta la actualidad como referente del poder de la ONU. El vidrio tintado con tonalidades azul verdoso del muro cortina se sustituye en las plantas 5ª, 15ª, 27ª y 38ª (plantas técnicas) por unas rejillas de 3 x 3 metálicas y abatibles. Se trata, por tanto, de uno de los primeros rascacielos que da un tratamiento exterior diferente a las plantas técnicas para diferenciarlas de las plantas habitables.<sup>9</sup>



5. Izquierda: Sede de la ONU. Derecha: Seagram Building.

<sup>9</sup> (Docomomo US, 2021)

El *Seagram Building*, edificado en 1958 en Nueva York, fue considerado por The New York Times como el culmen de la carrera de Mies Van der Rohe. El rascacielos marcó un punto de inflexión en cuanto a apariencia, sentando precedente sobre el aspecto estético que seguirían muchos rascacielos en los siguientes años. Mies planteó originalmente que la estructura de acero fuese visible desde el exterior, pero la normativa estadounidense obligaba a cubrir todos los elementos de acero con algún material ignífugo para minimizar los riesgos de incendio. El arquitecto propuso perfiles H de bronce para simular los montantes de la fachada mientras protegía los pilares reales de acero del interior del edificio.

Poco después se desarrolló en Canadá el complejo de oficinas *Toronto-Dominion Centre*. Construido entre 1967 y 1991, el complejo agrupa seis torres de oficinas y un pabellón. Siguiendo el estilo de Mies, las torres se formalizan como prismas rectangulares con fachadas idénticas en las 4 orientaciones. Sin embargo, a diferencia del *Seagram Building* y siguiendo la idea de la sede de las Naciones Unidas, en este complejo los rascacielos sí modifican los muros cortina a su paso por las plantas técnicas. Los vidrios de las plantas técnicas generan bandas horizontales de elementos opacos negros que “sectorizan” y dividen visualmente los edificios.

Tras los años 60 y con el comienzo del declive del Movimiento Moderno surgió un movimiento crítico con el Estilo Internacional. Este movimiento, denominado Posmodernismo se contrapone a la idea de austeridad y falta de variedad que planteaba el Racionalismo. El Posmodernismo agrupa multitud de corrientes artísticas diferentes, pero todas buscan en mayor o menor medida una mayor plasticidad. La forma vuelve a tener importancia por sí misma, se crean nuevas maneras de entender la arquitectura y los espacios. Se reintroduce la referencia como elemento trascendental. El deconstructivismo, el *high-tech* o el neofuturismo son sólo algunas de estas nuevas corrientes. Al mismo tiempo, con la llegada de nuevas propuestas arquitectónicas posguerra se plantean en los años 70 sistemas estructurales específicos que mejoran la resistencia del edificio a cargas horizontales como el viento. Estas nuevas tipologías estructurales se integran desde el inicio en el propio rascacielos y forman parte del formalismo del edificio.

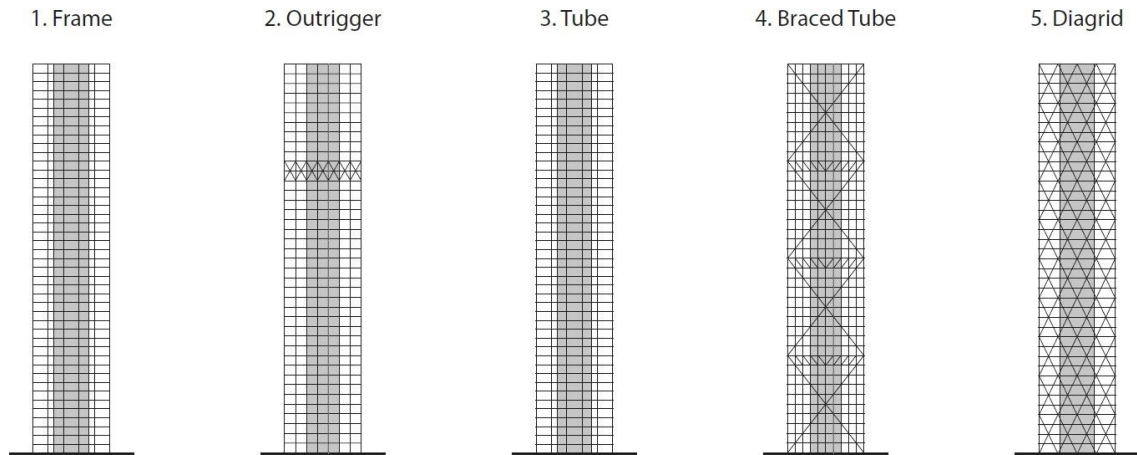
En la actualidad existen varias soluciones estructurales, agrupándose principalmente en 5 sistemas.<sup>10</sup> El más simple, el sistema *Frame*, se compone de pórticos de que forman una rejilla ortogonal siendo esta la tipología más habitual de la arquitectura actual, incluso en arquitectura de pequeña escala. El sistema *Outrigger* coloca pequeñas diagonales en una serie de plantas del rascacielos de forma que los esfuerzos laterales son absorbidos por la estructura de estas plantas, siendo habitualmente las plantas técnicas donde se ubican estas diagonales. El sistema *Tube* genera un elemento resistente en el interior del edificio, generalmente en torno al núcleo de comunicaciones, que se encarga de soportar la mayoría de las cargas y esfuerzos del edificio. El cuarto sistema, denominado *Brace Tube*, es una variación del sistema anterior al que se le añaden grandes diagonales en la fachada. Por último, el sistema *Diagrid*, se basa en la triangulación generada por pilares en diagonal evitando los pilares verticales. Esta nueva disposición de los soportes hace que las cargas verticales y horizontales se trasladen a la cimentación a la vez.

El sistema estructural puede verse complementado por elementos dinámicos y adaptativos que permitan mejorar su resiliencia y le mejoren su capacidad resistente ante cargas estresantes. Estas soluciones novedosas, que cae a medio camino entre las estructuras y las instalaciones, plantean que los esfuerzos y movimientos laterales sean absorbidos por elementos eléctricos, mecánicos e hidráulicos.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> (Lankhorst & Arts, 2019)

<sup>11</sup> (Weidner, Steffen, & Sobek, 2019)



6. Los 5 modelos estructurales de rascacielos

## Actualidad

Los últimos 50 años han supuesto una proliferación de los edificios en altura. Cada uno con sus propias soluciones y aspecto estético. La enorme cantidad de nuevos rascacielos y su variada tipología permite agrupar a los rascacielos contemporáneos en diversas categorías:

Rascacielos escultóricos. Con una imagen sencilla y potente que en muchos casos se convierte en icono de la ciudad. Ejemplos de esta categoría son la *Sede de la CCTV* (Beijing, 2012), el *Burj Al Arab* (Dubái, 1999) o el *MahaNakhon* (Bangkok, 2016)

Rascacielos bioenergéticos. Rascacielos que incluyen soluciones de aprovechamiento energético mediante la integración de elementos como vegetación o sistemas de control de soleamiento. El *Bosco Verticale* (Milán, 2014), las *Torres Al Bahar* (Abu Dhabi, 2012) y el *One Central Park* (Sídney, 2014) son algunos de los rascacielos de esta categoría

Rascacielos con agrupación de plantas. El volumen del rascacielos no se formaliza de manera continua, sino que las plantas se perciben en agrupaciones. A esta categoría pertenecen edificios como el *TAIPEI 101* (Taipéi, 2004), *Torre Cepsa* (Madrid, 2013), *Post Turm* (Bonn, 2012) o *Pearl River Tower* (Guangzhou, 2013)

Rascacielos prismáticos o cilíndricos. Aquellos que más siguen la forma “tradicional” característica de los rascacielos del Movimiento Moderno y cuya forma principal es la consecuencia de la extrusión continua de la planta. Ejemplos de esta categoría son *Torre PwC* (Madrid, 2008), la *Gran Torre Santiago* (Santiago de Chile, 2014), *Torre Puig* (Barcelona, 2013) o *Tour Areva* (París, 1974).

Rascacielos varios. Rascacielos que no encajan claramente en ninguna categoría, como el *Bank of China Tower* (Hong Kong, 1990), o que encajaría simultáneamente en varias de ellas, como el *Aqua at Lakeshore East* (Chicago, 2009).

Mención especial requieren aquellos rascacielos que se diseñan con el objetivo de conseguir el récord mundial de edificio más alto. Para ello, por lo general, se deben plantear y construir con sistemas estructurales y de instalaciones vanguardistas. En muchas ocasiones sirven como prototipos de pruebas de estas nuevas tecnologías. El *Chrysler Building* (Nueva York, 1930), las *Torres Gemelas* (Nueva York, 1973), las *Torres Petronas* (Kuala Lumpur, 1999) o el *Burj Khalifa* (Dubái, 2010) han sido algunos de los pocos edificios que han conseguido formar parte de esta categoría.

Desde el siglo XIX hasta la actualidad, la arquitectura de rascacielos no ha parado de crecer. Nuevos estilos, nuevas formas, nuevos sistemas han surgido para poder construir nuevos rascacielos. Desde su origen, los rascacielos han buscado rentabilizar la superficie construible y para ello es necesario hacer habitable todas las plantas proyectadas. La integración de las

instalaciones en los edificios en altura es un reto necesario que cualquier rascacielos debe asumir para poder servir al propósito para el que fue diseñado: la habitabilidad.

Las instalaciones son los elementos constructivos que más rápidamente se han modernizado. Durante el último siglo han aparecido infinidad de servicios que requieren de instalaciones en los diferentes edificios. Estos servicios han mejorado incalculablemente el nivel de vida y habitabilidad de las construcciones actuales, pero las técnicas aplicadas a los rascacielos apenas difieren de las técnicas generales que se utilizan en la mayoría de la arquitectura de menor escala. Sólo algunos de estos sistemas requieren de un diseño específico para su aplicación en rascacielos debido principalmente a la altura y el riesgo de incendios.



7. Izquierda: Bosco Verticale. Centro: Sede de la CCTV. Derecha: Bank of China Tower

## Sistemas de instalaciones en edificación

Los sistemas de instalaciones son esenciales para mejorar la salud pública. Surgieron como solución para sanear y aumentar las condiciones de vida de la población de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Gracias a los nuevos descubrimientos en el mundo de la electricidad y la hidráulica fue posible generalizar el suministro de agua y luz a las viviendas. De la misma manera, se generaron nuevos sistemas de saneamiento que evitasen problemas sanitarios que pudieran ser foco de infección. Evidentemente, no fue un proceso rápido, y este tipo de mejoras en las viviendas se aplicaron primero en las residencias de la clase alta y pudiente, llegando a la población más humilde décadas después.

Tras los sistemas de iluminación, abastecimiento de agua y saneamiento, se universalizaron los sistemas de calefacción mediante el uso de radiadores y el suministro de combustible. Esto permitió cubrir las necesidades básicas vinculadas a las viviendas.<sup>12</sup> Tras este hecho empezaron a aparecer nuevos sistemas de instalaciones cuyo objetivo era dar solución a nuevas necesidades: sistemas de telecomunicaciones para cubrir la necesidad de información y relación, instalaciones de protección contra incendios, sistemas de control de calidad de aire, ventilación, etc.

Actualmente, y debido a la proliferación de nuevas instalaciones, es habitual englobar a estos sistemas en 3 grandes grupos: fontanería, electricidad y acondicionamiento. En este trabajo se incluyen, además, otros 2 grupos: Protección Contra Incendios y Energías renovables.

El grupo de fontanería engloba a todos aquellos sistemas que se basan en tuberías. Destacan principalmente por destinarse al transporte de líquidos, especialmente agua. También se incluye en este grupo los sistemas de suministro de gases combustibles y/o medicinales, debido a la utilización por parte de estos sistemas de tuberías en vez de conductos. Al mismo tiempo se excluye de esta categoría la calefacción que a pesar de utilizar tuberías está más vinculada con el acondicionamiento térmico.

La segunda categoría acoge todos los sistemas eléctricos y lumínicos, tanto de suministro como de consumo. También incluye los sistemas de telecomunicaciones y la domótica. Dentro de este grupo se incluye el transporte vertical, especialmente el uso de los ascensores, que han supuesto una revolución para la arquitectura en altura.

El tercer grupo lo forman los sistemas de acondicionamiento, que son aquellos cuya función es la de adecuar el espacio para alcanzar el confort térmico y acústico necesario, así como facilitar la salubridad del ambiente mediante la ventilación y la gestión de los residuos sólidos.

La cuarta categoría es la protección contra incendios. Considerada una instalación en sí misma, está formada por instalaciones que se interrelacionan entre ellas y que comparten el objetivo de la protección en situaciones de emergencia.

Por último, la quinta categoría agrupa a los sistemas de generación energética basados en recursos renovables.<sup>13</sup>

Cada agrupación basa su funcionalidad en una u otra tecnología. Incluso dentro de la misma categoría los diversos sistemas pueden no fundamentarse en los mismos efectos o descubrimientos científicos. Por eso es necesario comprender de manera genérica la situación actual de cada instalación. Comprender esta situación permitirá comprender cuál es la problemática que enfrentan cada uno de los sistemas en cuanto a su adaptación a la construcción de edificios en altura.

---

<sup>12</sup> Las necesidades básicas también incluyen acceso a la sanidad, correcta alimentación, ropa y calzado, seguridad, etc. Pero, por lo general, este tipo de necesidades no pueden ser cubiertas por las instalaciones en edificación.

<sup>13</sup> Únicamente se incluyen los renovables. Los recursos no renovables se agrupan en dos categorías principales: recursos nucleares, que no pueden ser utilizados en edificación salvo en aquellos lugares diseñados para su aprovechamiento (centrales nucleares); y los combustibles fósiles, que ya están incluidos en las otras categorías (combustible gaseoso en fontanería y los combustibles licuados o sólidos en acondicionamiento).

Por último, antes de proceder a pormenorizar cada instalación es necesario aclarar que en aquellos sistemas cuya función principal es el suministro o recogida de algún recurso sólo se tiene en consideración la parte proyectada, calculada y construida que afecte en medida alguna a la construcción, puesto que el resto del sistema forma parte de la instalación urbana. Es decir, la instalación sólo tiene en cuenta el sistema desde la conexión a la red municipal exterior, denominada habitualmente acometida.

## Fontanería

Como ya se ha mencionado, el primer grupo acoge las instalaciones vinculadas con los sistemas de tuberías. Originalmente este tipo de sistemas solo se utilizaban para suministro y recogida de materiales líquidos, pero actualmente este grupo también incluye el suministro de varios recursos gaseosos. Esta situación se debe a que las cantidades de gases requeridas son muy reducidas y pueden ser transportadas por tuberías en vez de por conductos.

### *Agua Fría*

La instalación de Agua Fría (en adelante AF) de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de transportar agua potable a presión y sin calentar desde una acometida hasta todos los puntos de consumo del propio edificio. Es importante poner en énfasis que el agua suministrada por este sistema no está calentada y su temperatura suele rondar la temperatura ambiente, aunque siempre por encima de los 3 - 4 °C para evitar congelaciones. Por esta razón la que la instalación se denomina (suministro de) Agua Fría.

El origen del sistema de suministro de AF se remonta a la época del imperio romano, principalmente con la creación de acueductos y tanques de almacenamiento, aunque su aplicación dentro de los propios edificios no se dio hasta finales del siglo XIX. Se trata, por tanto, de una de las instalaciones con mayor historia. La prioridad del sistema es asegurar el suministro de agua limpia a la población. Junto con los sistemas de saneamiento, el suministro de agua corriente se plantea como uno de los mayores problemas logísticos del urbanismo y arquitectura. Todo ello con el objetivo de mejorar la salud pública al reducir la posibilidad de focos de infección por aguas estancadas o contaminadas.

Actualmente el objetivo sigue siendo el mismo pero debido al desarrollo técnico existe mayor facilidad de acceso a dicho sistema. Históricamente el suministro de agua corriente se fundamenta en el experimento de los vasos comunicantes. Este experimento es consecuencia del Principio de Pascal<sup>14</sup> cuando la gravedad y la presión atmosférica son constante en todos los recipientes. Hoy en día se sigue utilizando el Principio de Pascal. Sin embargo, se aumenta la presión del agua para poder alcanzar mayor altura de suministro y, por lo tanto, conseguir abastecer de agua corriente lugares altos que de otra forma no tendrían acceso a ella.

Precisamente la presión es el objeto de análisis del Principio de Pascal. Si bien es cierto que el principio se aplica a un fluido estático, su aplicación puede generalizarse al campo de la dinámica de fluidos.<sup>15</sup> La variación de presión en el fluido hace que este se mueva a través de los conductos. Si la presión aumenta, el fluido alcanzará nuevas alturas, mientras que, si la presión se reduce, la altura del líquido se reducirá. Esta situación también se da a la inversa, a mayor altura menor presión del agua mientras que a alturas más bajas mayores presiones. Esto se deriva de la aplicación de la Ecuación de Pascal que establece que, teniendo en cuenta misma densidad de líquido y misma aceleración gravitacional, la presión varía de forma proporcional a la altura.

---

<sup>14</sup> Principio de Pascal:  $\Delta p = \rho g(\Delta h)$ . El incremento de presión es igual a la densidad del líquido por la aceleración de la gravedad por el incremento de altura.

<sup>15</sup> El Principio de Pascal también es conocido como presión hidrostática, que es una de las tres partes del conocido como Principio de Bernoulli.

Pero la presión no solo varía con la altura. Debido a que la instalación requiere de la continua circulación del agua las propias tuberías, cañerías y tramos de la red reducen la presión debido al contacto entre el líquido y las paredes interiores de las tuberías. Esto hace que a mayor distancia recorrida y a mayor número de cambios de dirección o velocidad más presión pierde el agua en su recorrido. Este fenómeno es conocido como pérdida de presión o pérdida de carga.<sup>16</sup>

Para ajustar la presión de cada tubería se emplean válvulas reductoras y grupos de presión. Los grupos de presión son bombas de impulsión que aumentan la presión del agua que reciben de manera que el agua puede llevar a mayor altura tras su paso por el grupo de presión. Hay que calcular cuidadosamente la nueva presión ya que dependiendo de las características de cada tubería (material, grosor, diámetro, rugosidad, etc.) la nueva presión del agua puede hacer estallar la red de cañerías. Esta es una de las dos razones principales por la que se colocan válvulas reductoras de presión, para evitar presiones excesivas en la red de tuberías. La segunda razón es limitar la presión de uso en los puntos de consumo.

El principal problema de esta solución es que únicamente es válida para alturas de 10 - 30 metros. A partir de los 25 metros de altura las tuberías inferiores soportan demasiada presión tras las bombas de impulsión, por lo que existe riesgo de fugas y mal funcionamiento, mientras que las tuberías superiores apenas tienen presión suficiente para cumplir los requisitos mínimos de presión en los puntos de consumo.

Debido a que las cañerías tienen una presión máxima de uso y los grupos de presión sólo pueden aumentar limitadamente la presión del agua, no existen muchas opciones para solucionar el problema y poder abastecer de agua a los edificios de gran altura y rascacielos. La solución principal a este problema es recurrir a la colocación en serie de varios grupos de presión. El agua es impulsada por el primer grupo hasta una determinada altura. A esa altura el agua vuelve a ser bombeada por un segundo grupo de presión para poder llegar a otra altura aún mayor. Si sigue siendo necesario elevar el agua, el líquido pasaría por una tercera bomba de impulsión, repitiéndose el proceso sucesivamente hasta llegar a la altura máxima.

Este planteamiento, si bien eficiente, genera un segundo problema: las bombas y los depósitos de agua ya no pueden estar agrupados en el mismo nivel y es necesario que se incluyan espacios específicos para los grupos de presión en varias de las plantas de los rascacielos. Esta situación, junto con las soluciones planteadas para otros sistemas de instalaciones, llevó a la agrupación de maquinaria en una serie de plantas especialmente diseñadas para instalaciones creando de esta manera lo que hoy en día conocemos como planta técnica.

Los rascacielos aprovechan la agrupación de las instalaciones en plantas técnicas para dividir el edificio en sectores y grupos de plantas. Esta división permite realizar el suministro de AF a cada agrupación de plantas desde la planta técnica más cercana. De esta forma, el rascacielos acaba simplificando su instalación total como una sucesión de instalaciones “tradicionales”. Es decir, cada grupo de plantas actúa como un edificio independiente a nivel de suministro de AF teniendo cada una su propia instalación análoga a la instalación existente en los edificios de pequeña y/o mediana escala.

### *Agua Caliente Sanitaria*

La instalación de Agua Caliente Sanitaria (En adelante, ACS) de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de transportar agua potable caliente a presión desde un calefactor hasta todos los puntos de consumo de ACS del propio edificio. La temperatura del agua suministrada suele oscilar entre los 55 °C y los 70 °C, debido principalmente a la necesidad de exterminar la bacteria *Legionella pneumophila*. No obstante,

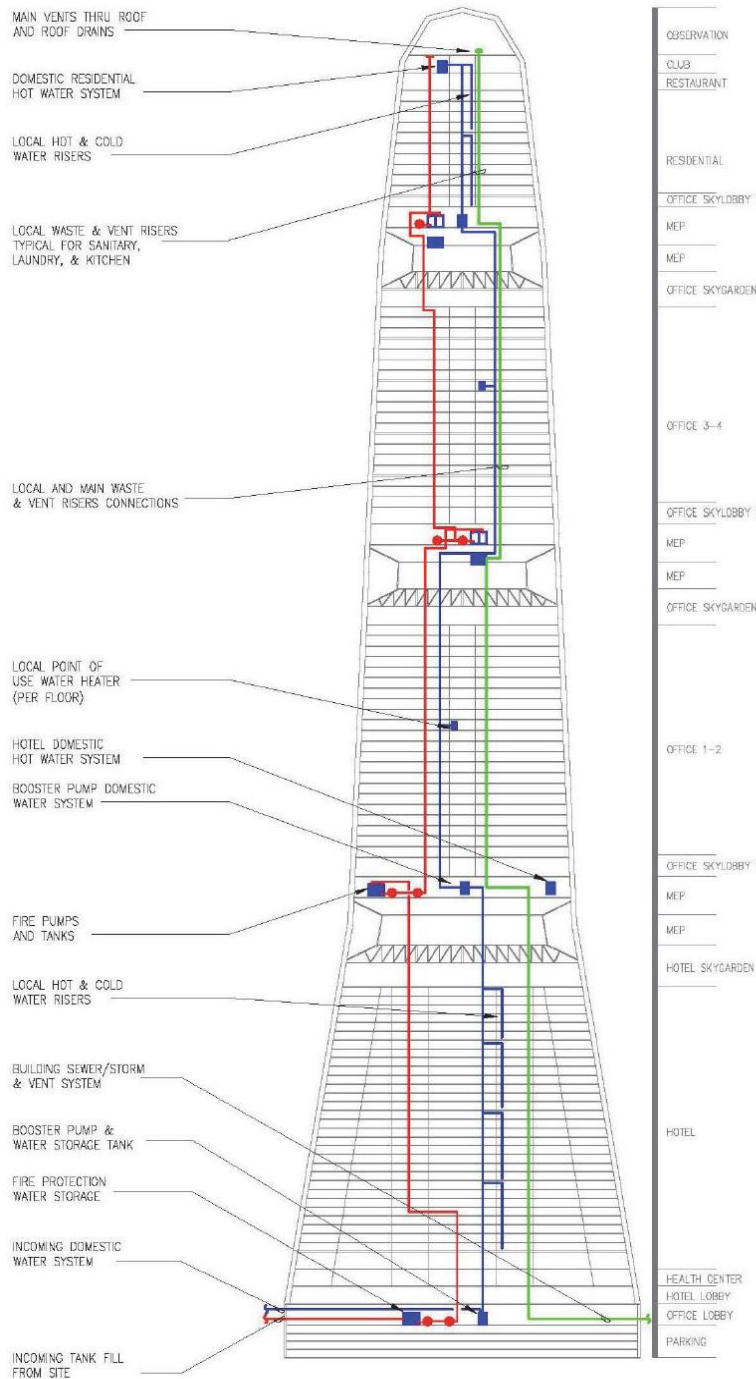
---

<sup>16</sup> El cálculo de la pérdida de carga se realiza habitualmente mediante la aplicación de la ecuación de Darcy-Weisbach y la ecuación Colebrook-White.



esta temperatura es excesiva para el consumo por lo que en los puntos de consumo el ACS se mezcla con AF para que el agua esté a una temperatura adecuada para el uso (30 - 45 °C).

A diferencia de la instalación de AF, el transporte de ACS es un sistema relativamente reciente. Si bien es cierto que desde el imperio romano se ha calentado agua para termas o baños públicos, el agua caliente no era un servicio en las edificaciones hasta la universalización de la electricidad y las calderas de combustión. Por esto mismo, no fue hasta la primera mitad del siglo XX cuando se comenzó a incluir el sistema de ACS en los edificios. Junto con el ACS se generalizó también la calefacción utilizando el mismo generador térmico para calentar agua para calefacción y para ACS.



8. Esquema tipo de AF, ACS y Saneamiento para un rascacielos genérico.

Si para entender la instalación de AF es necesario comprender la denominada pérdida de carga, el sistema de abastecimiento de ACS no es diferente. El mero hecho de desplazarse a través de una tubería o válvula hace que el líquido (en este caso agua caliente) pierda presión debido al contacto con las cañerías. Por eso es necesario que el proyectista encargado de diseñar la instalación procure reducir en lo posible las longitudes de las tuberías y los cambios de dirección, a fin de evitar recurrir a la colocación de grupos de presión innecesarios.

La red de suministro de ACS es una réplica de la red de AF, por lo que el elemento de regulación de presión es primordial. Dependiendo de la distribución elegida (individual, comunitaria o distrital) aparecerán unos reguladores u otros, pero todos cumplen la misma función que los elementos homólogos en la instalación de AF asegurando que el conjunto del sistema funcione de manera eficiente.

El sistema individual es el caso tradicional de instalación de ACS. Cada unidad de uso recibe el suministro de AF y mediante un suministro de material combustible calienta el agua para ACS y, generalmente, también calefacción. Los rascacielos evitan este sistema puesto que requiere introducir materiales explosivos e inflamables en un edificio muy sensible, con mayor dificultad de evacuación y con grandes riesgos en emergencias. Por ello, se prefiere los sistemas de calentamiento comunitario o por distrito.

En estos dos últimos casos el procedimiento de elevación de ACS hasta las plantas superiores es idéntico al proceso de elevación de AF: sucesión de bombas de impulsión que aumentan la presión para poder alcanzar la siguiente planta técnica en la que se encuentra el siguiente grupo de presión. El problema de este planteamiento (calderas comunitarias o sistema por distrito) es que triplican la cantidad de tuberías, puesto que en los calentadores individuales solo es necesario elevar AF al generarse el ACS en cada unidad de consumo, mientras que en los otros métodos es necesario añadir junto a la red de AF una red de impulsión de ACS y otra de retorno de ACS.

El sistema se ejecuta en los rascacielos de forma análoga al establecido en el suministro de AF. Cada planta técnica sirve a un grupo de plantas actuando como pequeños edificios independientes entre sí. Generalmente cada planta técnica da servicio a las plantas superiores, aunque cada vez más se utiliza el modelo inverso, sirviendo a las inferiores y dejando que el agua caiga por gravedad.<sup>17</sup> Aunque parezca menos eficiente, el calentamiento del agua se realiza en las plantas inferiores, mediante calderas y acumuladores, tratando de conseguir que el suministro de combustible recorra el menor espacio posible. La instalación por distrito se convierte en una opción deseable, puesto que evita recurrir a material inflamable en el interior del rascacielos.

### *Saneamiento*

La instalación de Saneamiento de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de evacuar desde diversos lugares del edificio hasta el sistema de alcantarillado urbano los residuos no sólidos, denominados aguas residuales y aguas pluviales. A mayores, las aguas residuales pueden dividirse en aguas negras o aguas grises en función del nivel de contaminación de estas.

El sistema de saneamiento se origina junto con los sistemas de suministro de agua. La sanidad pública requería de agua limpia, pero también de una gestión eficiente de los residuos, especialmente en las grandes ciudades. El alcantarillado se planteaba como una solución para evitar que los desechos se acumulasen generando focos de infección, y la colocación de letrinas y fosas sépticas se disponían separadas de las estancias habituales para evitar contactos y malos olores. Si bien es cierto que para la creación de nuevas ciudades tras la caída del imperio romano se priorizaba el abastecimiento de agua al saneamiento, existe mucha leyenda negra sobre la gestión de los residuos durante esa época. Durante la Edad Media se comprendía la necesidad de abastecerse aguas arriba y desechar aguas abajo para evitar contaminar el suministro de agua. No obstante, no

---

<sup>17</sup> (Simmonds, 2015)

fue hasta mediados del siglo XIX cuando se empezó a desarrollar la instalación moderna de saneamiento.

Aunque el desarrollo tecnológico ha permitido que la instalación sea mucho más higiénica y eficiente, el objetivo principal del sistema de saneamiento no ha variado. El fundamento teórico principal sigue siendo el mismo, común al suministro de agua; los vasos comunicantes. La diferencia con las instalaciones de AF y ACS es que, en el sistema de saneamiento, el agua (y los residuos que arrastra) no son transportadas por una variación de la presión, sino por la propia acción de la gravedad.

Si bien todos los tramos son necesarios para el funcionamiento, hay un mecanismo que tiene especial importancia. El cierre hidráulico supuso un cambio drástico en el sistema de saneamiento permitiendo que los aparatos sanitarios se integraran de manera más cómoda en la distribución de los edificios. Su función principal es evitar que los malos olores del interior de las cañerías se propaguen al interior de los edificios permitiendo que una bajante pueda ser utilizada por varias unidades de consumo diferentes al no tener que oler los desechos de los vecinos. A pesar de su eficacia y sencillez, la evaporación del agua del propio cierre hidráulico supone un problema importante. El uso de los diferentes aparatos hace que el agua contenida dentro del cierre se renueve manteniéndose siempre dentro de unos baremos mínimos. El problema surge cuando no se utilizan dichos aparatos durante un periodo largo, dando tiempo suficiente al agua a evaporarse, abriendo el conducto y permitiendo que los malos olores entren dentro del edificio. La solución pasa por generar un sistema separativo de aguas residuales y aguas pluviales. Este planteamiento supone la creación de dos sistemas de saneamiento, de forma que las bajantes y los colectores de uno no se comunican con los otros. Tiene la desventaja de duplicar la instalación y sus componentes, pero a cambio tiene como ventaja la posibilidad de utilizar el agua de lluvia como recurso. Este sistema separativo puede ser aplicado también separando las aguas residuales en aguas negras y aguas grises. Esto permitiría utilizar las aguas grises como una fuente de agua no potable tras el paso de estas aguas por una zona de filtrado.<sup>18</sup>

La red separativa evita que los gases pueden trasladarse a la red de pluviales y al no mezclar las aguas permite que las aguas de lluvia puedan ser un recurso utilizable, pero no evita que los gases se acumulen en el sistema de aguas residuales. Para ello es necesario generar un sistema de ventilación. El sistema más sencillo es la abertura superior de las bajantes, de forma que los gases acumulados dentro de estas puedan ser expulsados hacia el exterior del edificio. Peor esta ventilación puede no ser suficiente en algunos casos. Otra solución complementaria ayuda a absorber la diferencia de presión ejercida por la caída de aguas dentro de las bajantes. Al caer las aguas el aire situado bajo ellas es comprimido generando una sobrepresión. Al mismo tiempo, el aire sobre ellas tiene mayor espacio por lo que sufre depresiones. Para equilibrar estas diferencias de presión, que son especialmente peligrosas en sistemas con mucha altura (más de 30 metros), se plantea un sistema de ventilación mediante una tubería paralela a la bajante que conectada de manera regular a esta última permita que esas diferencias de presiones se “comuniquen” y se igualen. Al mismo tiempo permite que los gases de los tramos inferiores puedan disponer de mayor espacio para poder ser ventilados de manera efectiva.

El problema de la ventilación no es el único problema generado por la altura en la evacuación de aguas. Se ha de tener en cuenta en la construcción la altura de caída de las bajantes. Debido a que la caída se realiza por gravedad, a mayor altura, mayor golpe por impacto. Para evitar grandes impactos en las zonas inferiores de las bajantes<sup>19</sup> es necesario interrumpir la continuidad de las tuberías verticales añadiendo piezas especiales que generan quiebros. Precisamente estos quiebros hacen que la altura de caída libre de las aguas en el interior de las bajantes no sea tan alta. Al reducirse la altura se reduce el tiempo de caída, la consiguiente la velocidad máxima que adquieren

---

<sup>18</sup> El filtrado se puede realizar mediante un separador, depósito de decantación o depósito de neutralización.

<sup>19</sup> Las uniones entre bajantes y colectores se realizan mediante piezas especiales en forma de codo diseñadas de manera específica para soportar los impactos de caída de las aguas que se están evacuando.

los desechos y, por tanto, la fuerza con la que impactan dichos residuos en la pieza inferior de la bajante.

En los rascacielos, la gestión de las aguas es un punto esencial de las instalaciones de fontanería. Por lo general, la superficie de cubierta es reducida en relación con el volumen del propio edificio por lo que las bajantes de pluviales no suelen tener tanta carga de uso como el resto de las bajantes. Esto no sería un problema en la mayoría de los edificios, sin embargo, los rascacielos buscan la mayor eficiencia en la gestión de los recursos, y el agua de lluvia es un bien muy versátil, especialmente en las plantas superiores a las que cuesta tanto subir el AF.

Por lo general el agua de lluvia se almacena en tanques en las plantas superiores y solo se arroja a la red de saneamiento cuando los tanques se encuentran llenos, de forma similar a como se llenan las presas con el agua de los ríos. El agua de estos tanques se guarda para usos diferentes al consumo humano, principalmente riego de plantas y jardines en azoteas y atrios y al almacenamiento de agua para la lucha contra incendios mediante sistemas de rociadores. Sin embargo, este sistema también puede usarse, si así se ha diseñado, para abastecer de agua a aparatos no destinados al consumo, como son lavadoras, sistemas de radiadores, incluso inodoros. La falta de superficie en cubierta hace que el sistema tradicional de captación de agua de lluvia sea insuficiente, por lo que en algunos rascacielos como el *Burj Khalifa* se ha planteado un sistema de captación en fachada. Esto implica que el agua que escurre por las fachadas, generalmente muros cortina, es recogida mediante unos salientes que sirven como sumideros para posteriormente ser almacenadas en los aljibes de agua pluvial. De hecho, este sistema no es práctico únicamente en caso de lluvias, también lo es con altas temperaturas. Las estancias interiores de los rascacielos, al igual que muchos edificios de pequeña escala, son climatizados para cumplir con los requisitos de ventilación, temperatura y humedad. Esta diferencia de ambiente entre el aire interior y el exterior conlleva una condensación de la humedad. Esto suele ocurrir en todo tipo de edificio, pero solo es remarcable en aquellos edificios que cuentan con gran cantidad de superficie de fachada (como son los rascacielos). La condensación, que ocurre en el lado del cerramiento con el aire más caliente, puede acabar escurriendo por la fachada en momentos de especial calor en el exterior. Al poseer tanta superficie de fachada, la cantidad de agua condensada es suficiente para ser recogida y almacenada como si de agua de lluvia se tratara. El agua condensada también puede ser recogida mediante drenajes en las centralizaciones de equipos de climatización, puesto que, debido al cambio de temperatura, el agua se condensa en los equipos y acaba escurriendo hasta el sistema de drenaje. El sistema de evacuación de esta agua se realiza mediante sistema separativo, pues no es apta para el consumo, pero sí para otras funciones, como riego de zonas verdes o suministro de agua para PCI.

En cuanto a las bajantes de aguas grises y aguas negras, la cantidad de plantas existentes en los rascacielos obliga a las bajantes a ser extremadamente anchas por lo que en los edificios más altos pueden optar por unificar las bajantes por tipología en las plantas técnicas.<sup>20</sup> Esto permitiría reducir el diámetro de las bajantes “individuales” y reduciendo la longitud de tuberías de los sistemas de ventilación secundarios y terciarios. De esta forma se consigue que cada sección del rascacielos actúe como si fuera un edificio independiente mientras que las bajantes unificadas de las plantas técnicas trabajan como un ramal interno al edificio del sistema urbano de alcantarillado.

### *Suministro gases combustibles*

La instalación de suministro de gases combustibles de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de abastecer de gases combustibles el edificio. El suministro de gases combustibles es importante a la hora de ofrecer

---

<sup>20</sup> En España, de manera similar a como se realiza en otros países, el cálculo del diámetro de las tuberías obliga a que el tamaño de toda la bajante sea igual al diámetro en el punto de mayor uso (por lo general el punto inferior, pero no siempre), de forma que el resto de la bajante se encuentra “sobredimensionada”.

un sistema eficaz para alimentar de combustible las calderas y calentadores, así como las cocinas u hornos de gas.

La historia del suministro de combustible es muy reciente, apenas un siglo. La dificultad para almacenar gases y la utilización de otros recursos hacía prácticamente imposible generar combustión (controlada) mediante el uso de gases. Con el almacenaje a presión en bombonas y depósitos se pudo empezar a distribuir gas para calentar agua. Aunque existen diversos gases combustibles, la gran mayoría de ellos se suministran mediante bombonas o contenedores similares. En la práctica, esta instalación se utiliza para suministrar habitualmente gas natural, mediante una red urbana de distribución; y gases licuados del petróleo (en adelante GLP), utilizando depósitos en el edificio. Los GLP son habitualmente más conocidos como gas propano y gas butano.

Al igual que el resto de las instalaciones de fontanería, la distribución se realiza mediante la aplicación del Principio de Pascal. Si bien es cierto que los gases, a diferencia de los líquidos ocupan todo el volumen disponible, sí que requieren de una presión mínima para poder suministrarse y, posteriormente, utilizarse de manera efectiva. Precisamente por ello es trascendental el cálculo de la presión en los diferentes puntos de la instalación. Dependiendo del gas se encuentra en estado gaseoso o licuado (por temperatura o presión) puede llegar a ser necesario algún grupo de presión. No obstante, en la práctica totalidad de las situaciones la presión mínima de consumo es tan baja que la pérdida de presión en las tuberías no es suficiente para reducir la presión por debajo de dicho umbral.<sup>21</sup>

La utilización de gases combustibles enfrenta actualmente dos problemas importantes en la construcción. El primero es la búsqueda de un equilibrio entre la eficiencia energética que posee la combustión frente a otros recursos como las resistencias eléctricas y el riesgo que supone la distribución y almacenamiento de recursos combustibles. Si bien es cierto que es una dicotomía existente en cualquier tipo de construcción, esta realidad afecta principalmente a los edificios en altura, y más concretamente a los rascacielos. El consumo que requieren a nivel energético es muy elevado, por lo que la utilización de gases combustibles sería una decisión muy eficiente. No obstante, la cantidad de gas que se transportaría y almacenaría dentro del edificio supone un riesgo tan alto de incendio y explosiones que prácticamente ningún rascacielos ha optado por incluir esta instalación. Esto supone que los rascacielos han tenido que buscar sistemas alternativos a la combustión para generar el calor necesario en el edificio, ya sea para ACS, para calefacción o climatización.

El segundo problema asociado a la instalación de gases combustibles es el cambio climático. La práctica totalidad de los gases combustibles son de origen fósil, derivados del petróleo. Esto significa que son recursos no renovables, y lo que es peor, son especialmente contaminantes al aportar gases de efecto invernadero. Aunque no todos los gases fósiles son igual de contaminantes. De hecho, el gas natural es uno de los más ecológicos en este aspecto. No obstante, debido a la contaminación, actualmente se está empezando a migrar hacia la combustión de hidrógeno, que únicamente produce agua. El problema de la combustión de hidrógeno es el suministro. Es una tecnología relativamente reciente y con dificultades de abastecimiento por no existir actualmente una red que lo distribuya.

Debido a estos problemas la arquitectura de rascacielos ha desechado casi por completo el abastecimiento de gases combustibles como fuente para calentamiento de agua o calefacción, a pesar de su excelente rendimiento térmico por lo que en la práctica es imposible encontrar ejemplos de rascacielos que posean esta instalación.

---

<sup>21</sup> En España la presión de suministro suele ser 400 - 500 kPa, similar al AF, pero la presión de consumo de los aparatos de gas debe ser de 5 kPa, frente a los más de 100 kPa, que requieren los puntos de consumo de AF.

### *Distribución gases medicinales*

La instalación de distribución de gases medicinales de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de abastecer el edificio con gases medicinales para el tratamiento de pacientes y personas enfermas.

El suministro de gases medicinales es análogo a la instalación de suministro de gases combustibles. Si bien es cierto que el suministro de gases combustibles puede estar conectado a una red urbana de abastecimiento de gas combustible, también es posible que la instalación sea independiente y el gas esté almacenado en depósitos rellenables. De igual manera, la instalación de gases medicinales requiere de un punto de almacenaje desde el que distribuir el gas.

La instalación de suministro de gases medicinales es en realidad un conjunto de instalaciones, cada una con sus requisitos de presión y con su propia red independiente. Sólo son necesarias en equipamientos hospitalarios y/o sanitarios, tales como hospitales, ambulatorios, centros de salud, clínicas médicas, odontológicas, veterinarias, etc.; y no necesariamente aparecen todos los sistemas en todos los edificios o locales.

De entre las instalaciones que pueden aparecer las más frecuentes son:

Oxígeno. Posiblemente el gas más conocido dentro del sistema de distribución de gases medicinales. La generación del oxígeno tiende a producirse en el propio edificio mediante licuado del aire a  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$  para poder separar los componentes individualmente. Posteriormente se vuelve a calentar hasta aproximadamente  $20 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  para poder administrarse a los pacientes.

Aire medicinal. El oxígeno no puede administrarse directamente pues es tóxico. Para poder solucionarlo, el oxígeno es mezclado con nitrógeno imitando la proporción existente en la atmósfera. De esta manera, el gas resultante posee un 21% de oxígeno y un 79% de nitrógeno. Esta tecnología está tan desarrollada que el proceso de generación de oxígeno y nitrógeno ya se puede realizar mediante el uso de máquinas portátiles. En el caso de la instalación, una vez generado el gas se distribuye mediante una red de tuberías que recorre el edificio y lo transporta hasta habitaciones y quirófanos. Es especialmente utilizado en unidades de cuidados intensivos (en adelante UCI).

Óxido nítrico. Conocido también como el gas de la risa, es un poderoso analgésico y es utilizado habitualmente como anestesia en todas las ramas de la medicina y odontología. La generación se puede producir en el hospital mediante el calentamiento de nitrato de amonio a  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  y es posteriormente filtrado de impurezas. Para su utilización se mezcla con oxígeno para lograr una mezcla de gases con un 21% y un 79% de oxígeno y óxido nítrico, respectivamente. La instalación de distribución requiere su transporte hasta las salas de quirófano. También es habitual en algunos países para la anestesia en clínicas dentales, pero el consumo es lo suficientemente reducido como para ser suficiente su suministro en bombonas.

Vacío medicinal. No es exactamente un gas, aunque el sistema lo trata como tal. En realidad, es la depresión del aire en el interior de la instalación. Esta presión inferior a la atmosférica permite a la instalación actuar como una aspiradora para limpieza de vías respiratorias, heridas, secreciones, etc. Es muy habitual en quirófanos y clínicas dentales. Para conseguir este efecto, los grupos de presión impulsan el aire en sentido contrario al habitual para generar una presión de aproximadamente  $-100\text{ kPa}$ .

Este grupo de instalaciones son muy específicas y no suelen aparecer generalmente en edificación habitual. En caso de aparecer solo cubren el espacio necesario dentro del edificio. Es decir, que solo aparecen puntualmente en el local en el que se encuentra la clínica o en los bloques en los que hay quirófanos (o UCI y habitaciones en el caso del aire medicinal). En el caso de rascacielos, estas instalaciones son prácticamente inexistentes, pero pueden aparecer en alguna planta si se plantea la incorporación de un hospital o clínica al mismo.

Debido a esta circunstancia, las distintas redes de suministro no cuentan con problemas asociados a la altura, ya que, por lo general, los edificios a los que abastecen no son especialmente

altos. No obstante, la generación de los diferentes gases en grandes hospitales puede requerir de gran maquinaria y el respectivo espacio que ocupan puede ser bastante considerable, por lo que requieren de un gran espacio para instalaciones.

En la actualidad hay pocos rascacielos que cuenten con locales clínicos o sanitarios que requieran de estas instalaciones, principalmente por la falta de practicidad de un hospital que posea tanta altura. El apilamiento excesivo en altura de un hospital puede ser contraproducente. Si bien es cierto que la mayoría de los hospitales apilan las plantas de habitaciones para pacientes, la falta de espacio en planta (horizontal) para el desarrollo de quirófanos, urgencias, consultas y resto de espacios especializados obliga a la necesidad de sobredimensionar los ascensores y montacargas debido al uso excesivo para cambiar de plantas. Esto puede llevar al colapso del hospital en casos de extrema urgencia. Es precisamente por esta razón por la que los hospitales no se han integrado en los rascacielos con la misma facilidad que otro tipo de locales o servicios. Los pocos que hay, como la *Memorial Hermann Tower* (Houston, Texas) o el edificio *The Belaire* (Nueva York), cuentan solo con la instalación en las primeras plantas del edificio,<sup>22</sup> haciendo en la práctica que la instalación en estos hospitales sea idéntica a la que puede aparecer en hospitales más bajos.

## Electricidad

Las instalaciones pertenecientes al grupo de electricidad son aquellas cuyo principal objetivo se relaciona directamente con el suministro o consumo de electricidad. Si bien es cierto que prácticamente todas las instalaciones requieren directa o indirectamente del suministro eléctrico, este grupo solo incluye aquellos sistemas eléctricos o electrónicos cuyo principal componente sea un circuito de cableado o similar.

### *Suministro eléctrico*

La instalación de suministro eléctrico de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de aportar un suministro ininterrumpido de corriente alterna desde una acometida hasta los puntos de consumo eléctrico del propio edificio.

La aparición de esta instalación ocurrió en el siglo XIX tras la aparición de los primeros dispositivos eléctricos, especialmente la lámpara eléctrica (más conocida como bombilla). La generalización de estos dispositivos requería del suministro eléctrico y la construcción de una red urbana para este suministro.

El sistema de suministro de corriente eléctrica se fundamenta en la inducción electromagnética para generar corriente alterna.<sup>23</sup> A diferencia de la corriente continua, que se caracteriza por tener un flujo de electrones siempre en la misma dirección, la corriente alterna va variando alternativamente la dirección del flujo, de ahí el nombre. La corriente continua se genera principalmente con el concepto de pila galvánica. Por el otro lado, la corriente alterna requiere de un alternador, que aprovecha la Ley de Faraday mediante el continuo movimiento de un campo magnético.<sup>24</sup>

En la actualidad el suministro eléctrico es trascendental. Prácticamente todo el resto de las instalaciones requieren directa o indirectamente de un suministro eléctrico para poder realizar su función de manera eficaz. Es fácil discernir esta necesidad en los sistemas de iluminación, de

---

<sup>22</sup> La instalación no siempre cubre todo el edificio, puesto que, dependiendo del rascacielos, el hospital puede no ocupar todas las plantas y el sistema no tiene por qué cubrir todos los espacios del hospital.

<sup>23</sup> Este fundamento físico se conoce como Ley de Faraday:  $\varepsilon = \Delta\phi/\Delta t$ . La fuerza electromotriz o tensión eléctrica es igual a la variación del flujo magnético respecto al tiempo.

<sup>24</sup> El generador eléctrico actual posee un imán o electroimán cuyo campo magnético se mantiene estático. Dentro de este campo magnético se introduce una bobina metálica que gira de manera constante y uniforme. Al girar, la bobina sufre un cambio estable y continuo del campo magnético a su alrededor induciendo una corriente alterna dentro de la bobina.

telecomunicaciones, etc. pero también es necesario para el funcionamiento de ascensores y otros elementos de transporte vertical, para el funcionamiento de calderas y grupos de presión, para los sistemas de intercambio de calor, para la refrigeración, etc. En definitiva, todo aquello que requiera de un motor o un elemento eléctrico para funcionar, necesita una conexión con el sistema de suministro eléctrico.

Pero a diferencia de AF, la caída de tensión no es el problema más importante de la instalación. En este caso, lo más importante es mantener la diferencia de voltaje entre las fases y entre ellas y el neutro. En el caso de España, lo habitual es que en Baja Tensión la diferencia de voltaje entre las fases es 400 V y entre cada una de las fases y el neutro, 230 V.<sup>25</sup> Realmente este problema es fácil de gestionar, basta con no colocar fusible en el neutro consiguiendo que en caso de defecto el neutro siga manteniendo sólo 230 V de diferencia de tensión con las otras fases.

Esta situación se da en la arquitectura habitual. Esto se debe principalmente a que la mayoría de las veces, la potencia necesaria para el funcionamiento de todo el complejo puede ser suministrada directamente en baja tensión al no ser un consumo excesivamente alto y tener una pérdida de tensión bastante reducida. Por el contrario, de manera excepcional, existen edificaciones que requieren de un consumo mayor. En este tipo de situaciones la caída de tensión es más remarcable. Para solucionar esto se ha de suministrar la corriente en Media Tensión al edificio.<sup>26</sup> Posteriormente, en el interior de la edificación se procederá a reducir la tensión a Baja Tensión mediante la aparición de algún transformador. El resto de la instalación se realiza de forma similar al resto de construcciones.

Este sistema es el utilizado de manera habitual en rascacielos. En vez de tratar todo el edificio como una sola unidad a efectos de diseño y cálculo, el rascacielos se divide en secciones, y cada una de ellas poseerá su instalación de suministro eléctrico. Toda la acometida se realiza en régimen de Media Tensión, actuando como si fuera la red de suministro urbana en el interior del edificio, mediante patinillos especiales y protegidos. De esta acometida de media tensión salen ramificaciones en las plantas técnicas que conectan con los transformadores. Tras cada transformador aparecerá una acometida, una CGP, una LGA, una distribución principal, una zona de contadores centralizados (en caso de ser necesario) y las posteriores derivaciones individuales.

### *Iluminación*

La instalación de iluminación de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de generar una iluminación adecuada para que pueda realizarse las funciones para las que cada espacio del edificio ha sido diseñado.

Siempre, durante toda la historia, se ha requerido la utilización de diversos objetos y métodos para iluminar los espacios más oscuros. Tradicionalmente se utilizaban velas o lámparas de aceite. Tras la invención de la lámpara eléctrica (más conocida como bombilla) a mediados del siglo XIX y la consiguiente generalización del suministro eléctrico que requería, la iluminación eléctrica se ha convertido en una de las instalaciones básicas en edificación.

A diferencia de otras instalaciones la instalación de iluminación no se fundamenta en un principio claro. Cada tipo de lámpara utiliza un fundamento diferente para emitir radiación visible (luz). La bombilla incandescente y los halógenos utiliza la incandescencia de los metales, mientras que las lámparas de descargas aprovechan la ionización de gases para producir esa incandescencia. Actualmente se han universalizado las lámparas LED que aprovechan la electroluminiscencia.

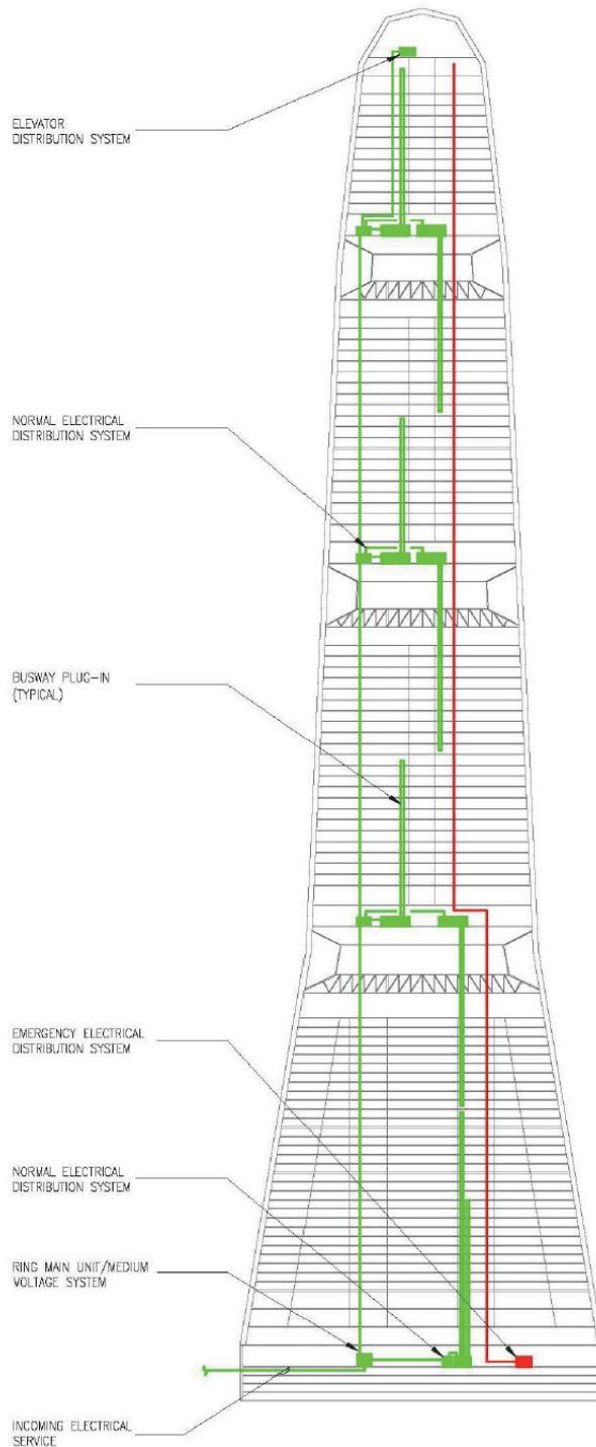
---

<sup>25</sup> Si bien es cierto que lo habitual en Baja Tensión sea 400 V (trifásico) y 230 V (monofásico), el REBT especifica que Baja Tensión es cualquier corriente alterna de menos de 1000 V o cualquier corriente continua de menos de 1500 V

<sup>26</sup> En España la Media Tensión es una categoría de Alta Tensión. Regulada por el RAT, la Media Tensión se denomina tercera categoría de Alta Tensión y recoge todas las instalaciones con un voltaje de entre 1000 y 30000 V



Pero la instalación no sólo agrupa luminarias. La instalación también incluye los mecanismos de control (interruptores y conmutadores).<sup>27</sup> Además, la importancia del sistema está más en el diseño, cálculo y colocación de las fuentes lumínicas que en las propias fuentes en sí.



2. Esquema tipo de Electricidad y suministro eléctrico de Emergencia para un rascacielos genérico.

<sup>27</sup> El sistema sólo valora la iluminación artificial, es decir, no se incluye el flujo aportado por el sol o fuentes externas al edificio. Debido a las molestias que pueden generar estas fuentes externas, es habitual que la instalación de iluminación cuente también con sistemas pasivos y activos de control lumínico (persiana, lamas, contraventanas, cortinas, etc.)

El sistema debe analizar el flujo y la eficacia luminosa de las lámparas, la iluminancia que reciben las diversas superficies de trabajo en función del uso de la estancia y la luminancia que recibe un posible observador. Este tipo de cálculos es trascendental para acondicionar lumínicamente los espacios, puesto que no se ilumina igual una clase, un dormitorio, una sala de conferencias, un almacén o un teatro.

Posiblemente la instalación de iluminación sea una de las que menos afección sufre por la construcción en altura. Esto es debido a que la iluminación de cada espacio es independiente del resto del edificio y puede ser analizado de forma individual. Al no tratarse de una instalación de suministro no requiere de diseños especiales para solucionar el problema del apilamiento en altura (como el caso de AF o ACS) o el aumento del consumo requiriendo utilizar sistemas urbanos en el interior del rascacielos (como el suministro eléctrico).

La única afección que puede ser de relativa importancia en la instalación de rascacielos es el ángulo de incidencia del sol. Al aumentar la altura de manera considerable, el ángulo de incidencia del sol puede variar en las primeras horas de la mañana y en las últimas de la tarde. A esto se añade, que al aumentar la altura se aumentan las horas de sol al día, puesto que amanece antes y anochece después. Esta situación puede suponer riesgos de deslumbramientos en según qué ocasiones, pero el estudio de esta circunstancia se realiza de forma similar a otros espacios sin estas características.

### *Telecomunicaciones*

La instalación de telecomunicaciones de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de recibir y transmitir señales, típicamente electromagnéticas, que sirven para realizar una comunicación a distancia. La instalación de telecomunicaciones es un grupo de redes de distribuciones de señales. Tradicionalmente incluye los servicios de voz y datos (teléfono, fax y similares), redes de difusión (radio y televisión) pero cada vez más se incluyen los distintos servicios de internet (banda ancha, fibra óptica).

La historia de este sistema comienza con la aparición del teléfono y el telégrafo a mediados del siglo XIX y la generalización de la radio y la televisión en la primera y segunda mitad del siglo XX, respectivamente. Si bien es cierto que la mayoría de estos sistemas transmiten las señales mediante cableado (teléfono o fibra óptica, por ejemplo), también se incluyen aquellas que recurren a antenas para la comunicación (radio o televisión por satélite).

Al igual que pasa con la instalación de iluminación, la infraestructura de telecomunicaciones no se fundamenta en un mismo principio, sino que cada tipo de telecomunicación suele depender de un principio físico diferente. El teléfono y el internet de banda ancha se basan en la transmisión de señales eléctricas a través de cableado específico. Estas señales son luego descodificadas en señales de diverso tipo: acústico, visual, etc. La radio y la televisión se basan en transmisión por radiofrecuencia. La radio recibe la señal directamente en el dispositivo gracias a una antena incorporada (de forma idéntica a los sistemas de telefonía móvil) por lo que no suele requerir de instalación propia. Por el contrario, la televisión recurre a cableado en el interior del edificio que conecta los diferentes televisores con una o varias antenas comunes, de forma que una sola antena da servicio a un grupo más o menos amplio de televisiones. La fibra óptica utiliza el concepto de ángulo crítico de reflexión interna<sup>28</sup> para transmitir señales mediante haz de luz en vez de recurrir a la transmisión eléctrica, mucho más lenta.

La transmisión eléctrica o electromagnética (que incluye la radiofrecuencia y los haces de luz) no están afectadas por la gravedad. Es decir, la transmisión de electrones y/o fotones no sufre por el cambio de altura, por lo que los sistemas e instalaciones de telecomunicaciones en edificación en altura sólo requieren de mayor cableado en el interior del edificio. En los rascacielos, los sistemas pueden incluir dispositivos de transformación de señales (principalmente de eléctrica

---

<sup>28</sup> En el campo de la óptica, el ángulo crítico es el ángulo que forma un haz de luz contra una superficie (pared interna de un cable, por ejemplo) a partir del cual no existe refracción y por lo tanto todo el haz es reflejado manteniéndose toda la información codificada en el haz

a óptica y viceversa) en áreas de las plantas técnicas, pero lo más trascendental en este tipo de edificios es que el patinillo de telecomunicaciones actúa como una ramificación interna del sistema urbano.

### *Domótica*

La instalación de domótica de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de controlar los diferentes aparatos de un edificio o local de manera automática para cumplir con las especificaciones establecidas por los proyectistas o los propietarios y usuarios. Es fácil entender que es la domótica si comprendemos su etimología. Domótica viene de *domus*, casa o vivienda en latín, y de *automática* (derivado de autónomo), que se gobierna solo o por sí mismo.

La domótica ha existido desde la aparición del microchip y de los consiguientes ordenadores. Sin embargo, los primeros sistemas de automatización eran muy caros y poco eficientes por lo que se utilizaban especialmente en fábricas y controles industriales. Pero, con el desarrollo de mejores procesadores y sistemas electrónicos no sólo se ha conseguido mejorar los ordenadores y los trabajos industriales, también se ha conseguido reducir precios y generalizar sistemas de automatización en edificación tradicional.

La instalación de domótica es, hoy en día, trascendental. Prácticamente todo aparato posee en la actualidad algún sistema de automatización. Los más conocidos son los que nos encontramos habitualmente en vivienda: termostatos, grifos temporizados, sensores de movimiento para iluminación o las propias alarmas de intrusión. No obstante, la domótica también incluye sistemas de automatización comunes, como activación de una caldera comunitaria, sistemas para evitar la sobrepresión excesiva en las tuberías, etc.

La instalación domótica de un edificio puede ser de tres tipos:

Arquitectura distribuida. Se trata del modelo más habitual, en este sistema la instalación no requiere de grandes elementos y/o redes de automatización, puesto que la automatización se monitoriza en el interior de cada aparato. Los termostatos, las vitrocerámicas inteligentes, los sistemas de detección de movimiento son ejemplos de este modelo.

Arquitectura centralizada. La inteligencia y automatización de este sistema se encuentra centralizadas en una serie de módulos colocados en armarios específicos. Estos procesadores reciben las señales de los sensores, toman las decisiones y mandan las órdenes a los aparatos para que se realicen los cambios. Este sistema es el modelo más habitual en edificación de gran tamaño, especialmente en arquitectura de un único o pocos propietarios. Hospitales, fábricas, sedes de empresas, etc. son ejemplos de este sistema.

Arquitectura mixta. Se trata de un sistema intermedio entre los dos modelos anteriores. Es el modelo menos habitual. Consiste en un sistema en el que los sensores actúan como arquitectura distribuida pero la conectividad entre los distintos elementos es tal que la información y las decisiones tomadas por los diferentes sensores se comparte al resto de los aparatos de forma que todo el local, recinto o edificio actúa sincronizadamente de forma similar a la arquitectura centralizada.

La instalación de domótica no suele estar planificada en aquellas edificaciones de varios propietarios, como puede ser la arquitectura residencial, y en los casos más sensibles con esta instalación como mucho se suele dejar algún tipo de patinillo especial para poder usarse en el futuro. Por el contrario, este sistema es cada vez más habitual en grandes construcciones y especialmente en rascacielos.

Los rascacielos poseen gran número de instalaciones, sistemas e infraestructura. Todas ellas cumpliendo con sus propias funciones y que deben ser controladas de forma minuciosa y precisa para evitar problemas. En edificaciones tan grandes como son los rascacielos existen multitud de sensores para todo tipo de situaciones y la gran mayoría de ellos están interrelacionados en un modelo de arquitectura domótica centralizado. Es trascendental la toma de decisiones a la hora de gestionar el transporte vertical (ascensores) para ser lo más rápido y eficiente posible. Es necesario

que los sistemas de domótica permitan una climatización eficiente de los espacios dentro del rascacielos. Incluso sistemas de riego automatizado para aprovechando la posible agua de lluvia.

Un ejemplo de cómo el sistema de domótica puede significar un aumento en la eficiencia energética de un rascacielos son las *Torres Al Babar*, construidas en 2012 en Abu Dhabi. La incidencia del sol en los edificios es tan importante, que las torres poseen una doble piel para reducir el soleamiento. En las horas de máxima exposición solar, la piel exterior de parasoles triangulares se encuentra desplegada evitando que el sol, y el calor, entre en el interior. Cuando la incidencia solar baja, los sensores del complejo detectan el cambio y desde el sistema centralizado que existe en los dos rascacielos, se manda una señal a los motores de los parasoles para que se plieguen por sí mismos. Esto permite que la luz entre los huecos de la piel exterior y los diferentes recintos interiores recuperen las vistas perdidas. El sistema de automatización también permite generar diferentes diseños, especialmente por la noche, abriendo y cerrando diversas áreas de la piel exterior, generando una fachada dinámica.

En definitiva, los rascacielos requieren de diversos sistemas de automatización y debe incluirse esta instalación desde las primeras fases del diseño del edificio para poder conseguir que el rascacielos sea lo más efectivo posible a la hora de lidiar con las diferentes situaciones que han de automatizarse.

### *Protección Contra Tormentas Eléctricas*

La instalación de protección contra tormentas eléctricas se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de proteger el edificio de la descarga directa de un rayo. El sistema de pararrayos no es una instalación en sí misma ya que no tiene ningún medio activo y todos sus componentes son elementos constructivos que actúan de manera pasiva, pero tiene una gran importancia especialmente en la arquitectura en altura.

Los primeros pararrayos se empezaron a generalizar a principios del siglo XX. Antiguamente ya se conocía la relación entre elementos altos y la mayor probabilidad de ser golpeado por un rayo. Árboles y estructuras como torreones y campanarios eran los objetos más susceptibles, por lo que cuando los edificios empezaron a crecer en altura se empezó a ver la descarga eléctrica como una amenaza.

Los sistemas de pararrayos son básicamente circuitos eléctricos que están pensados para estar descargados de forma habitual. En caso de descarga de un rayo, la tensión generada por el rayo utiliza estos circuitos para dirigirse desde el punto en el que ha golpeado al edificio hasta la toma de tierra. Todo este circuito se puede realizar porque la corriente eléctrica siempre viaja por el camino de menor potencial eléctrico.

Dentro de los sistemas habituales existen 2 tipos principales:

Pararrayos tipo antena. Su funcionamiento se basa en elevar un elemento metálico lo máximo posible. La punta de la antena, que es metálica, presenta menor potencial eléctrico que el resto del edificio por lo que en caso de descarga, el rayo golpeará sobre ella. Una vez golpeada, el rayo viaja por el resto de la antena hasta que llega al edificio y sigue por un circuito de cables que conecta la antena con la tierra. Dentro de este grupo existe también un subgrupo, denominado pararrayos de antena con cebador. Este subgrupo añade a la antena un aparato que ioniza el aire circundante y en la vertical del edificio. El aire ionizado presenta menor resistencia al cambio de fase por lo que se convierte en un camino de menor potencial que conduce desde la tormenta hasta la punta de la antena.

Pararrayos tipo malla. También conocido como pararrayos de jaula de Faraday por su funcionamiento. En este caso, en vez de colocar elementos verticales en los puntos más altos para atraer los rayos, se cubre todo el edificio con una malla metálica que puede ser cable o incluso perfiles metálicos. Su funcionamiento se basa en la polarización que sufren los conductores eléctricos ante la presencia de un campo electromagnético externo, es decir, cuando un rayo golpea el edificio se genera un campo electromagnético inducido por el propio rayo. Al crearse ese campo magnético la malla metálica se polariza e impide que la

tensión eléctrica entre dentro del edificio manteniéndose dicha tensión en la cara exterior de la malla eléctrica. La propia malla eléctrica sirve como conductor para dirigir la corriente eléctrica hasta la toma de tierra.

En los rascacielos lo más habitual siempre ha sido la colocación del primer tipo de pararrayos, especialmente hasta la segunda mitad del siglo XX. De hecho, en gran parte de los rascacielos del *art nouveau* la antena sirve como parte del formalismo de la fachada y el edificio. Son características las antenas del *Empire State Building* y el *Chrysler Building*, aunque en la actualidad rascacielos como el *Burj Khalifa* también llevan pararrayos de este tipo. Por otro lado, empieza a generalizarse la utilización del sistema de pararrayos tipo malla que no tiene una afección tan especial sobre el aspecto estético del rascacielos.

Tanto si se elige uno como si se elige el otro el sistema de protección contra tormentas eléctricas es esencial en el diseño de rascacielos pues supone una defensa más en la lucha contra el fuego y emergencias que se pueden generar en caso de tormenta eléctrica.

## Acondicionamiento

La tercera categoría de instalaciones de edificación agrupa los sistemas cuyos objetivos es la de adaptar el espacio y el entorno para mejorar la habitabilidad. Aunque los grupos anteriores (Fontanería y Electricidad) también colaboran en este proceso de mejora del espacio mediante la gestión de los suministros básicos y necesarios, los sistemas de Acondicionamiento tienen como objetivo facilitar la utilización de los espacios construidos mediante una mejora de necesidades no básicas.

### *Transporte vertical*

La instalación de transporte vertical de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de facilitar la comunicación vertical entre las diferentes plantas y espacios del edificio mediante sistemas activos.<sup>29</sup> Incluye principalmente los ascensores, aunque puede abarcar sistemas alternativos como escaleras mecánicas y similares.

La historia del transporte vertical comenzó con la presentación del primer ascensor de seguridad por parte de Elisha Otis en 1852. Fue precisamente este elemento el que permitió la creación de los rascacielos al eliminar, de manera segura para los usuarios, la barrera física que existía tras apilar varias plantas. Hoy en día, el ascensor moderno mantiene el concepto creado por Elisha Otis; una cabina de transporte de pasajeros que se mueve verticalmente dentro de un hueco existente en todas las plantas.

Sin embargo, la innovación tecnológica ha agregado multitud de sistemas de seguridad y eficiencia, al tiempo que a modificados algunos planteamientos como por ejemplo el sistema de movimiento. La propuesta de Otis se movía gracias a un gran motor y un sistema de poleas y, aunque el sistema de polea sigue siendo ampliamente utilizado, hoy en día se han mejorado los materiales y el espacio que utilizan. En algunos modelos se sustituyen las poleas y contrapesos por un sistema hidráulico de pistón, mientras que en otros modelos más infrecuentes el movimiento se realiza mediante piñón-cremallera.

Actualmente, la práctica totalidad de los edificios en altura poseen ascensores. Esto se debe a la dificultad de comunicación vertical en edificios de más de 6 - 7 plantas de altura. Si bien los ascensores ya son una realidad normalizada, los estándares de ascensores no son iguales en edificación tradicional (aunque sea en altura) y en los rascacielos.

Puesto que el sistema de transporte vertical se dimensiona en función de la cantidad esperada de ocupación de un edificio, a mayor altura de edificación y, por lo tanto, mayor número de plantas,

---

<sup>29</sup> Al únicamente incluir sistemas activos, no se incluyen escaleras o rampas no mecánicas. El transporte vertical mediante escaleras o rampas se realiza de manera pasiva por los usuarios.

es generalmente necesario un mayor número de ascensores y sistemas de transporte vertical. Esto suele generar un problema, puesto que un mayor número de ascensores suele suponer un mayor espacio inutilizable en cada planta, reduciendo la ocupación y, a su vez, el número de ascensores.

Este hecho supone un grave problema en los rascacielos. Debido al reducido tamaño de las plantas (en relación con el tamaño general del edificio) el espacio debe ser utilizado de manera óptima, maximizando el área útil de cada planta. Si se dispone de un sistema de ascensores tradicionales, en el que cada cabina utiliza un hueco individual, la pérdida de espacio en cada planta sería tan grande que los proyectos de rascacielos se volverían inviables. Por esta razón, se plantearon diversas soluciones para mantener el transporte vertical al tiempo que se reducía el espacio dedicado a este. De entre todas las soluciones que se plantearon, destacan el *sky lobby*, el sistema *doble-deck* y el sistema *multideck*.<sup>30</sup>

En el sistema de *sky lobby*, el transporte de los pasajeros no se realiza directamente desde la planta de vestíbulo principal a las plantas de destino.<sup>31</sup> En este sistema el vestíbulo principal conecta mediante ascensores-lanzadera<sup>32</sup> con uno o varios *sky lobbies* que sirven para distribuir de manera inicial a los pasajeros en función de su planta de destino. A su vez, los propios *sky lobbies* poseen un área de ascensores que dan servicio a una serie de plantas específicas. Esto implica, que salvo que el destino sea las primeras plantas,<sup>33</sup> un usuario del rascacielos tendrá que utilizar dos ascensores para llegar a su destino. Un primer ascensor-lanzadera que le traslade hasta el *sky lobby* correspondiente y posteriormente un ascensor normal que le lleve desde dicho *sky lobby* hasta la planta de destino. El sistema sería muy tedioso si no fuera por la velocidad y capacidad que tienen estas lanzaderas, que debido a la falta de paradas intermedias pueden realizar de manera eficiente su cometido. Pero, debido a que no todos los ascensores dan servicio a todas las plantas, puede utilizarse el mismo espacio para varios ascensores sin peligro de colisión de las cabinas.

A diferencia del sistema *sky-lobby*, el sistema *doble-deck* o doble cabina sí que permite a las cabinas recorrer la totalidad del edificio, por lo que cualquier ascensor da servicio a cualquier planta, como haría un ascensor tradicional. La diferencia de este sistema es que la cabina posee dos plantas duplicando el espacio utilizable por los pasajeros. De esta manera, un mismo viaje puede dar servicio al doble de usuarios. Para la correcta utilización de este sistema, el vestíbulo, que posee dos plantas conectadas mediante escaleras mecánicas, debe agrupar a los pasajeros en función de su destino. Dependiendo de la planta de destino el usuario deberá embarcar por la planta inferior o la superior del vestíbulo, pero el resto del viaje se realiza de manera similar al que realiza un ascensor normal. Este sistema, útil para pequeños rascacielos, duplica la efectividad de los ascensores, pero posee una gran desventaja. La velocidad de los ascensores es limitada y el viaje hasta una determinada planta puede verse retrasado al tener que parar en el doble de plantas para poder embarcar y desembarcar a un mayor número de pasajeros.

En el sistema de doble cabina ambas cabinas actúan como una sola de dos plantas. Por el contrario, en el sistema *multideck* o cabina múltiple, cada ascensor actúa de manera independiente, pero utilizando el mismo hueco para realizar el movimiento. En este caso, existe riesgo de colisión entre las cabinas, pero todo es controlado mediante un sistema digital centralizado que evita precisamente estas colisiones. Este sistema permite una mayor versatilidad a la hora de trasladar pasajeros evitando la duración de los viajes que caracteriza al sistema *doble-deck*, pero sigue siendo necesario que todo esté informatizado y no pueda manipularse desde el interior a fin de evitar conflictos y colisiones.

---

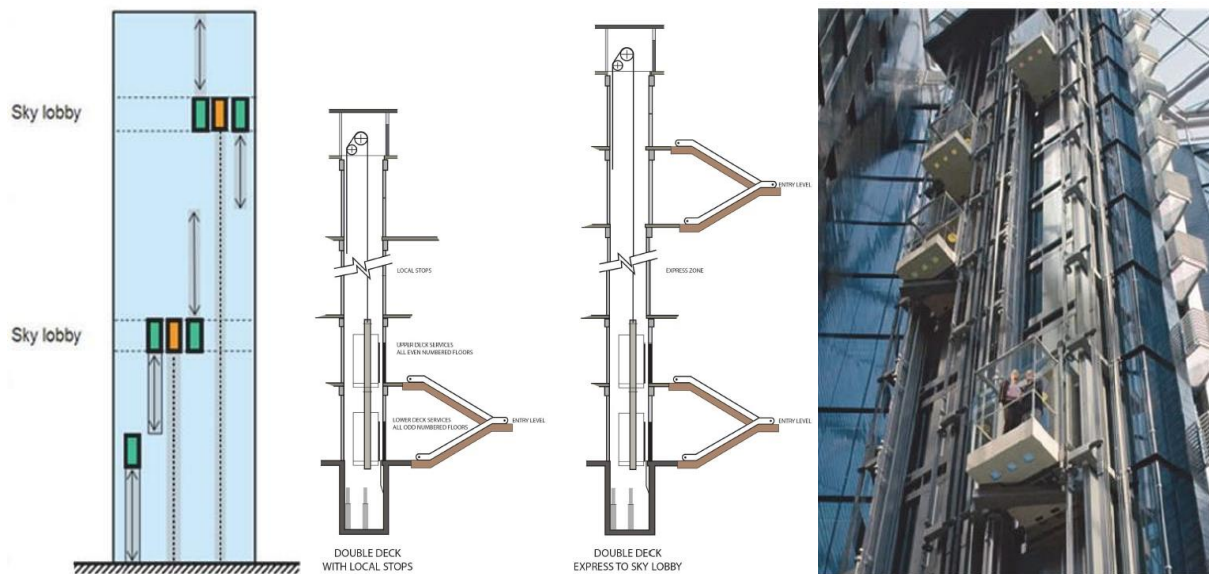
<sup>30</sup> (Simmonds, 2015)

<sup>31</sup> La planta de vestíbulo principal puede no ser la misma que la planta de acceso. En algunos rascacielos existen escaleras y rampas mecánicas que comunican el acceso con la planta de vestíbulo principal en la que se encuentran los ascensores. Por lo general, esto suele realizarse cuando el acceso posee un espacio a doble o triple altura.

<sup>32</sup> Los ascensores-lanzadera son cabinas especiales que realizan viajes entre el vestíbulo principal y los diferentes *sky lobbies* a gran velocidad. Poseen mayor capacidad que los ascensores normales y no realizan paradas intermedias.

<sup>33</sup> El *sky lobby* del primer grupo de plantas es el propio vestíbulo principal, por lo que no es necesario una lanzadera para acceder al mismo.

Estos tres sistemas son los más utilizados en rascacielos, aunque el sistema *sky-deck* es el sistema que se ha establecido como estándar. No obstante, el sistema *multideck* está empezando a cobrar fuerza, especialmente con planteamientos de ascensores que se trasladan no sólo en vertical sino también en horizontal. Además, existen ya planteamientos, como el diseño de ascensores de la *Jeddab Tower* (Yeda, Arabia Saudí), que combinan estas soluciones para mejorar aún más la eficiencia del transporte vertical.<sup>34</sup>



10. Izquierda: Esquema sky-lobby. Centro: Esquema Double-deck. Derecha: Sistema Multideck (modelo ThyssenKrupp Twin)

Aunque estos tres sistemas son los más utilizados, la innovación en este aspecto sigue desarrollando nuevos modelos. Uno de ellos es la configuración multidireccional sin cable. El planteamiento no es novedoso pues se basa en el funcionamiento de los *paternoster* que existieron en Europa Central a mitad del siglo XX. Estos *paternoster* cayeron en desuso por falta de seguridad en comparación con los ascensores tradicionales. No obstante, este sistema de configuración multidireccional permite utilizar múltiples cabinas en tan sólo dos huecos, uno de subida y otro de bajada, por lo que las cabinas realizan un bucle aumentando exponencialmente la cantidad de pasajeros que pueden

Mención aparte requieren los ascensores de servicio y mantenimiento. Este tipo de ascensores siguen la lógica de los ascensores-lanzadera del sistema *sky lobby* en el que sólo conectan el vestíbulo y una planta específica. En este caso, en vez de conectar con un *sky lobby* conectan con las plantas técnicas. De forma que el personal de mantenimiento y servicio no utiliza el mismo ascensor y puede acceder directamente a la planta técnica. Este razonamiento permite un acceso controlado a las plantas técnicas, generalmente con llave o algún tipo de identificación, al tratarse de un área sensible del edificio. Los ascensores de evacuación pertenecientes al sistema de Protección Contra Incendios también siguen un razonamiento similar a modo de lanzadera. Los ascensores conectan los espacios de refugio que existen en varias plantas del rascacielos con la planta de evacuación (generalmente el vestíbulo principal).

### Ventilación

La instalación de Ventilación de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la renovar de manera eficiente el aire existente mediante extracción o inyección de aire de manera que se asegure la calidad y la salubridad del aire interior.

<sup>34</sup> (Fortune, 2015)

La renovación del aire en el interior de los edificios es algo que se ha producido desde las primeras construcciones. El problema que enfrentaban es que los edificios habitualmente poseían habitaciones sin ventana o abertura hacia el exterior, por lo que parte de los espacios en los edificios debían ventilar a través de otros, lo que podía dificultar la renovación si la ventilación no se realizaba correctamente. Los grandes recintos cerrados (auditorios o similares) tenían incluso más problemas puesto que por lo general la única comunicaban con los espacios ventilados a través de las puertas de acceso al mismo, claramente insuficientes para renovar el aire en el interior de dichos recintos. Ventilar a través de otros espacios no es necesariamente malo, en gran parte de la historia de la arquitectura han existido espacios semipermeables intermedios entre el interior y el exterior. Ejemplos son las galerías, terrazas cubiertas, soportales, *solariums*, etc. El planteamiento de ventilación en estas circunstancias obliga a generar corrientes cruzadas para que el aire entre por un lado y salga por otro distinto.

Hasta hace pocas décadas, la ventilación sólo se realizaba de manera pasiva, mediante ventanas o rejillas que permitían que las corrientes de aire entraran. Hoy en día, la ventilación se puede realizar de manera mecánica mediante inyectores de aire que extraen aire del exterior y lo introducen en el interior del edificio al tiempo que extraen el aire viciado del interior, lo filtran y lo expulsan al exterior. Este proceso también se puede complementar con un sistema de intercambio de calor para precalentar el aire introducido a fin de reducir el coste de climatización y ser más eficiente a nivel energético.

Por lo general, la ventilación en uso residencial es eminentemente pasiva, manteniéndose, hoy en día, la necesidad de abrir ventanas para generar ventilación cruzada y renovar el aire fácilmente. Si bien es cierto que esto está cambiando y comienza a ser relativamente frecuente la aparición de sistemas de ventilación mecánicos en uso residencial, estos sistemas se utilizan principalmente en lugares de trabajo como oficinas y edificios de pública concurrencia, así como edificios públicos y similares.

Aunque los rascacielos pueden disponer de uso residencial, la realidad es que su tipología y forma de utilización es más similar a un edificio de pública concurrencia. En este aspecto, la ventilación en los rascacielos se realiza principalmente de manera mecánica. Esto se debe a dos razones principalmente.

Eficiencia energética. Utilizar un sistema mecánico permite controlar la cantidad de aire que entra y sale de un edificio, consiguiendo renovar eficientemente el aire. Además, se intercambia el calor entre el aire entrante (frío) y el aire saliente (caliente) para evitar perder demasiada energía mediante la renovación directa que ocurre mediante ventanas o rejillas. Este hecho es especialmente relevante teniendo en cuenta que la temperatura en el exterior se reduce con la altura,<sup>35</sup> al tiempo que aumentan las corrientes de aire, por lo que abrir ventanas en las plantas más altas de un rascacielos puede suponer una pérdida energética muy importante.

Seguridad. Debido a la altura que alcanzan los rascacielos, los ingenieros y arquitectos buscan reducir al máximo las posibilidades de imprudencia. La existencia de huecos en la fachada podría dar lugar a situaciones peligrosas, especialmente teniendo en cuenta la fuerza del viento que sufren estos edificios, dando como resultado caídas al vacío fortuitas o voluntarias.

Debido a estas razones, para los rascacielos y otros edificios de gran concurrencia y uso, la opción más eficiente es unificar el sistema de renovación de aire con los sistemas de climatización. De esta forma una sola instalación gestiona todas las necesidades vinculadas con el bienestar y acondicionamiento del aire.<sup>36</sup>

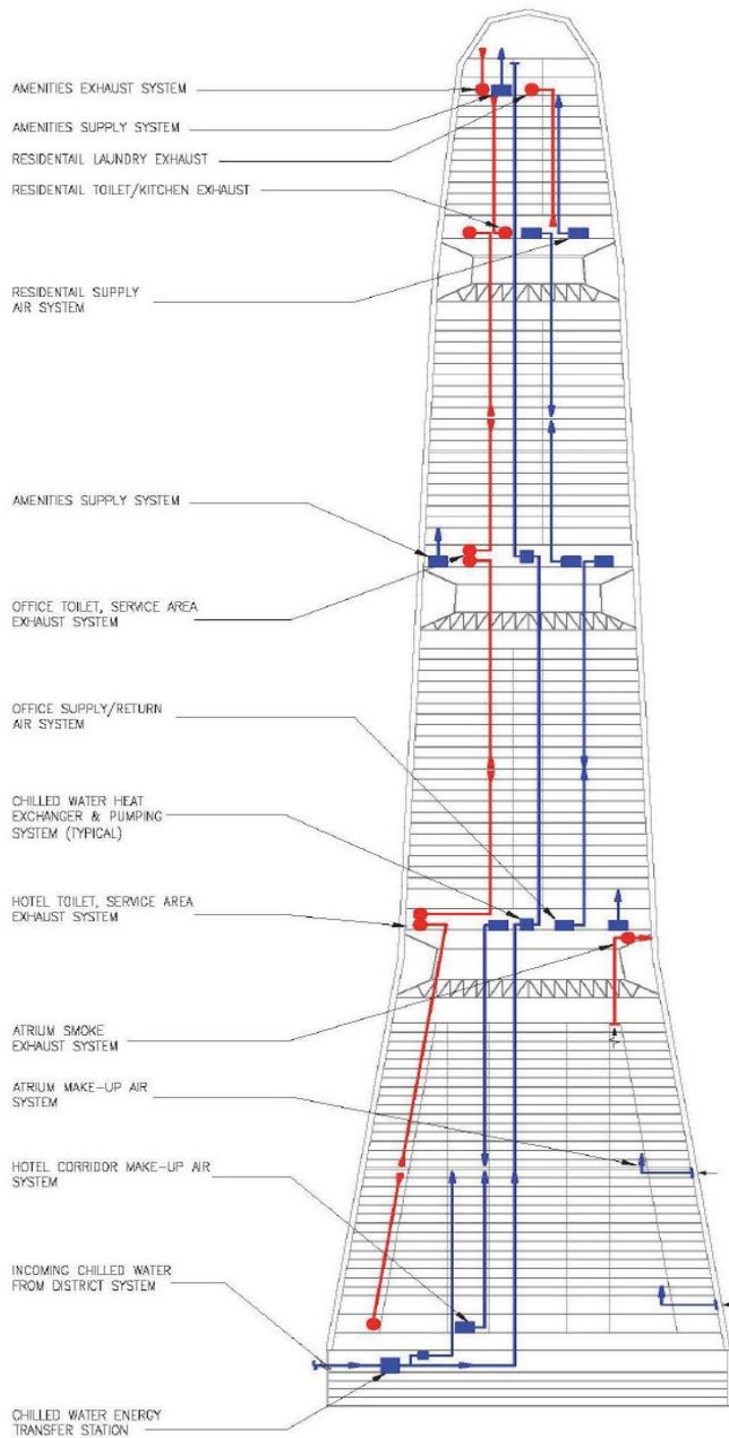
---

<sup>35</sup> La temperatura en la atmósfera disminuye con la altura a un ritmo de 6.5 °C/km. Esto implica una reducción de 1 °C por cada 154 metros de altura. Debido a la altura de los rascacielos, el aire exterior en las plantas más altas puede estar 2 o 3 °C por debajo de la temperatura que existe a nivel de la calle.

<sup>36</sup> (Yuan, Hu, Ding, & Li, 2016)



Sin embargo, los rascacielos también pueden aprovecharse de las ventajas de la ventilación natural. Edificios como la *Commercebanc Tower* (Frankfurt, 1997) permiten la entrada de aire exterior hacia un atrio o gran patio central que conecta el edificio. Esta entrada de aire posteriormente asciende al calentarse dentro del edificio y asciende por el atrio ventilándose por la parte superior. Este planteamiento, que utiliza el concepto de chimenea permite mejorar la ventilación del edificio complementándose con la renovación mecánica de los espacios compartimentados.



11. Esquema de Climatización y sistemas de extracción de aire para un rascacielo genérico.

### *Calefacción*

La instalación de Calefacción de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la alcanzar y mantener las condiciones de bienestar térmico.

La Calefacción es una de las instalaciones más antiguas. Los primeros asentamientos ya contaban con sistemas para calentarse, aunque normalmente se trataba simplemente de hogares, chimeneas, hornos y similares. Estos sistemas tenían como problema principal la distribución de calor. Estos métodos no permitían calentar toda la vivienda o el local puesto que el calor generado sólo alcanzaba los lugares más cercanos, quedando el resto de la estancia y vivienda a temperatura inferior. Hoy en día, tras la generalización de los sistemas de calefacción central y los distintos tipos de instalaciones de calefacción, la regulación térmica se puede conseguir en todo el recinto.

La mayoría de los sistemas de calefacción utilizan la convección y el cambio de densidades de un fluido debido a su cambio de temperatura para calefactar los espacios. La instalación de calefacción más habitual ha sido, tradicionalmente, el sistema de calefacción por radiadores. En esta instalación se hace circular agua caliente desde la caldera hasta los radiadores mediante un sistema tubular cerrado. El agua, enfriada tras el intercambio de calor, es devuelta a través de un circuito de retorno hasta la caldera, donde vuelve a calentarse y comienza de nuevo el ciclo. Existen otros sistemas que cambian el radiador por otros elementos, como el suelo o el techo radiante, pero el resto del sistema se mantiene igual. La diferencia está en la superficie que entra en contacto con el aire a calentar.

Aunque el funcionamiento del sistema se utiliza fundamentalmente para calefactar, la misma instalación puede usarse para refrigerar espacios y habitaciones haciendo circular agua fría a baja temperatura en vez de agua caliente. Este sistema es mucho menos eficiente puesto que los emisores tales como radiadores o suelos radiantes se ubican para favorecer la convección al calentar el aire. Esto es una desventaja al refrigerar, pero permite la utilización del sistema de calefacción en los meses más cálidos haciendo que una sola instalación puede funcionar durante todo el año.

Aunque la calefacción mediante agua caliente y emisores sigue siendo ampliamente utilizada en usos tradicionales, la construcción de rascacielos busca la mayor eficiencia posible, por lo que unificar todos los consumos energéticos e instalar un sistema de calefacción para todo el edificio es prácticamente inviable. La generación del calor (o el frío) en plantas técnicas no puede realizarse salvo que se opte por un sistema eléctrico, mucho menos eficiente. Dado que el calentamiento de agua en calderas se realiza por combustión y el suministro del combustible se prohíbe por razones de seguridad, la única opción posible sería la realización de un sistema similar al de ACS, con un grupo de calderas y acumuladores en sótano, grupos de presión en las plantas técnicas y sistema de ida y retorno.

Pero la opción más eficiente en los rascacielos es calentar directamente el aire, ya sea mediante bombas de calor o climatizadores que utilicen la red de suministro de ACS como abastecimiento, evitando duplicar la instalación. Este sistema, que se utiliza de manera habitual en los edificios de pública concurrencia y oficinas, tiene la ventaja de unificar la termorregulación de un edificio junto el resto de las necesidades que requiere el aire de estos lugares.<sup>37</sup>

### *Climatización*

La instalación de Climatización de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de acondicionar un espacio mediante la recreación de unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza de aire adecuadas.

Esta instalación es bastante reciente. Los sistemas que gestionan las distintas condiciones del aire para conseguir un bienestar cómodo se han ido perfeccionando de manera individualizada

---

<sup>37</sup> (Yuan, Hu, Ding, & Li, 2016)

durante la historia de la humanidad. La temperatura del aire, así como la renovación habitual de este, se han controlado desde las primeras construcciones. Por otro lado, el control de la humedad se ha visto más dificultado por las tecnologías de cada época.

Los sistemas de Climatización modernos utilizan unidades de tratamiento de aire. Estos equipos son aparatos que regulan los caudales de ventilación del aire para obtener una correcta renovación del aire de un local. La absorción y expulsión del aire permite al aparato filtrar las impurezas suspendidas, al tiempo que corrige la temperatura y la humedad del propio aire para garantizar las condiciones establecidas para el bienestar. De manera habitual la variación térmica se realiza mediante un suministro de AF y ACS. Incluyen uno o varios ventiladores que mueven el aire a través de un sistema de filtrado y dos serpentines (uno de agua fría y otro de agua caliente).

Este equipamiento puede ubicarse en varios lugares del edificio. Dependiendo de la cantidad de locales a los que de servicio el equipo será de mayor o menor tamaño, lo que influirá en su localización. La mayoría de los edificios de oficina utilizan el sistema de climatización por planta.<sup>38</sup> En esta distribución, los climatizadores se ubican en cada una de las plantas. Dado que dan servicio a menos espacios, su tamaño es menor y pueden alojarse fácilmente en pequeños cuartos de servicio. Sin embargo, lo habitual es que se ubiquen en el falso techo, maximizando el espacio disponible. Para poder alojar estos aparatos en el falso techo es necesario aumentar la altura libre de las plantas, pues generalmente la altura libre habitual no es suficiente para ello. Esto supone una reducción en el número de plantas si se mantiene la misma altura de edificio, por lo que el sistema ahorra espacio en cada planta a costa de reducir el número total de ellas. Además, este sistema requiere de un gran patinillo de ventilación por el que renovar el aire, puesto que la ventilación no se realiza directamente hacia fachada.

El modelo contrario es el modelo centralizado en plantas técnicas. Los equipos son colocados en estas plantas y dan servicio al resto de niveles mediante conductos de ventilación. Este modelo permite reducir espacio en los falsos techos y aumentar la eficiencia al utilizar el mismo equipamiento para conseguir más caudal de aire climatizado. La centralización de Climatización también permite la recolección del agua condensado. Debido a la gran cantidad de agua condensada que puede generarse, como por ejemplo en el *Burj Khalifa*, la centralización de los climatizadores permite la obtención de la condensación mediante un sistema separativo de bajantes.

Aunque en la arquitectura de baja escala puede ser admisible la toma de aire en multitud de zonas de la fachada, en los rascacielos el intercambio de aire exterior e interior se suele realizar en las plantas técnicas. Tanto si el modelo de climatizadores es centralizado o por plantas, los sistemas de climatización de los rascacielos aprovechan la toma de aire que existe en estas plantas para realizar la renovación. El modelo por plantas requiere una conexión entre esta toma de aire y el patinillo de ventilación que suministra el aire a los equipos de cada nivel. Por otro lado, el modelo centralizado conecta directamente con las tomas de aire y mediante un conducto común suministra aire climatizado a los distintos niveles.<sup>39</sup>

### *Gestión y recogida de residuos*

La instalación de Gestión y recogida de residuos de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de centralizar la recogida de residuos al tiempo que se realiza una gestión y almacenaje eficaz de los mismos.

Se trata de otra de las instalaciones más recientes en el mundo de la arquitectura, aunque en algunos países o continentes ha gozado de mayor presencia, especialmente en Norteamérica.

El sistema en sí se trata de una red muy similar al sistema de saneamiento de aguas negras con conductos, en vez de tuberías, que recogen los residuos (debidamente empaquetados en

---

<sup>38</sup> (Weicheng & Siying, 2013)

<sup>39</sup> (Simmonds, 2015)

bolsas) por gravedad y los almacenan en los niveles inferiores para su posterior recogida por parte del sistema urbano de residuos.

Al tratarse de un sistema de evacuación por gravedad, el tamaño de los conductos debe ser lo suficientemente amplio como para que las bolsas de residuos no queden encajadas bloqueando el conducto. De forma análoga al dimensionado de las bajantes de saneamiento, los conductos deben ser dimensionados para alojar tamaños importantes de residuos dejando un hueco de aire que permita evitar las sobrepresiones. Puesto que los objetos evacuados por este sistema son eminentemente sólidos, no se requiere necesariamente una red paralela de ventilación. Pero sí que es aconsejable mantener la ventilación primaria en la cabeza superior del conducto, a fin de que los gases y malos olores pueden ventilarse eficazmente.

Precisamente la gestión de los olores es un tema delicado en esta instalación. Al no trasladar líquidos no es posible recurrir al cierre hidráulico como barrera de separación entre el conducto y los espacios habitables. Esta falta de cierre hidráulico se suple con un sistema de cierre y compuertas, similar a los cierres de los contenedores de basura, que limitan el traspaso de olores.

La aplicación de este sistema a la arquitectura de los rascacielos prácticamente no requiere modificaciones o elementos específicos. La única excepción a esto es la aparición de quiebras en los conductos verticales que reduzcan la altura de caída directa. Estos quiebras, análogos a los quiebras de las bajantes de saneamiento, amortiguan los impactos que generan los residuos evitando que caigan directamente adquiriendo demasiada velocidad.

### *Acondicionamiento acústico*

La instalación de Acondicionamiento acústico de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de controlar el nivel acústico de un edificio o local reduciendo y amortiguando las grandes presiones sonoras.

El acondicionamiento acústico es una instalación muy reciente que en la mayoría de las ocasiones sólo se aplicaba a grandes recintos de música, como salas de conciertos, discotecas o salas de actos y anfiteatros. En las últimas décadas se ha confirmado la relación entre la salud y la cantidad de ruido que escucha una persona. Precisamente esta relación ha puesto de manifiesto la necesidad de acondicionar los espacios y los edificios para mantener unos niveles sonoros que sean sanos y seguros.

La instalación de acondicionamiento acústico suele componerse de elementos pasivos como espumas o aislantes acústicos que reducen la intensidad acústica que pueden atravesar las particiones, asilando un local de los contiguos. No obstante, los sistemas más eficaces consisten en sistemas hidráulicos y elásticos como amortiguadores y muelles que absorben las vibraciones de manera mucho más eficaz. Estos sistemas, con costes muy elevados, suelen destinarse a discotecas o auditorios, aunque cada vez es más habitual verlos en edificación tradicional.

Los rascacielos no suponen una necesidad de acondicionamiento acústico especial, más aún teniendo en cuenta que el ruido exterior es aislado eficazmente por unas fachadas que rara vez permiten la apertura mediante ventanas. El acondicionamiento entre plantas se realiza de forma similar a cualquier otra construcción, mediante láminas anti-impacto o aislamiento acústico. En caso de aparecer locales específicos como un auditorio o las propias plantas técnicas, se recurre a sistemas de amortiguadores que solucionen el problema.

## **Protección Contra Incendios**

A diferencia de la fontanería, la electricidad y/o el acondicionamiento, esta categoría es una instalación en sí misma, puesto que todos los sistemas que engloba tienen la misma función: proteger a los usuarios y al propio edificio en caso de incendio u otras emergencias.

La instalación de Protección Contra Incendios (en adelante PCI) de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es la de crear medidas de prevención y protección contra incendios al mismo tiempo que se facilita la evacuación de personas

en situaciones de emergencia. El sistema de PCI únicamente incluye medidas activas de protección contra incendios, excluyendo las medidas pasivas que forman parte del diseño, proyecto y construcción del edificio, siendo ejemplo de estas últimas los pasillos, rampas y escaleras de evacuación, así como puertas, tabiques u otros elementos constructivos que deban de disponer de resistencia al fuego al ser elementos de separación de los diferentes sectores de incendios. Si bien es cierto que la instalación de PCI sólo lo forman los medios activos, la sectorización de incendios (medio pasivo) es tan trascendental en el diseño de los edificios que merece su propio apartado en esta categoría de instalaciones. Principalmente por la aparición de medios activos que ya forman parte de la creación de los sectores de incendio.

Proteger los edificios y otras estructuras frente a los riesgos del fuego ha sido una necesidad trascendental desde los primeros asentamientos. La historia humana está repleta de ejemplos de incendios, tanto de origen natural como artificial. Roma, Londres o Chicago son sólo algunas de las ciudades que han sufrido incendios que las devastaron casi por completo. El Gran Incendio de Roma (64 d.C.) es posiblemente el incendio más famoso de la antigüedad arrasando una gran parte de la ciudad. Nerón aprovechó para desarrollar nuevos sectores en los terrenos calcinados y estableció medidas obligatorias de protección contra incendios.<sup>40</sup>

En la actualidad, y al igual que con el resto de las instalaciones, el desarrollo tecnológico y el conocimiento científico ha permitido que el sistema de PCI sea mucho más eficiente. Pero no solo son más eficiente, el requerimiento de las instalaciones de PCI ha crecido exponencialmente con la innovación técnica. Este crecimiento de la exigencia solo es comparable con el aumento de los requisitos mínimos en la seguridad estructural. Este hecho es comprensible al ser estos dos ámbitos de la construcción (la seguridad en incendios y emergencias y la seguridad estructural) los más importantes para la seguridad inmediata de las personas.

La propia instalación se considera una categoría propia, pues engloba sistemas de fontanería, eléctricos y de acondicionamiento específicos. No obstante, de entre todos estos sistemas, los más trascendentales por importancia son aquellos que sirven para transporte de agua u otros agentes extintores de incendio como puede ser dióxido de carbono, espumas, polvo químico, etc. Para ello se utilizan, por analogía con la instalación de AF, tuberías y cañerías para su transporte. No obstante, no son los únicos sistemas que forman la categoría, y todos ellos cumplen una función que se interrelaciona con las demás instalaciones del grupo para aumentar la seguridad en caso de incendio u otro tipo de emergencia.

### *Extinción de incendios*

El principal sistema de PCI se conforma principalmente por una serie de instalaciones pensadas para el suministro, transporte y posterior utilización de agua u otros agentes extintores con el objetivo de extinguir los focos de fuego en el edificio. De hecho, antes de hablar sobre la extinción de incendios es necesario explicar las cuatro clases de fuego que existen, puesto que no todos se extinguen con el mismo tipo de agente:

Clase A. Originado por combustibles sólidos (madera, cartón, papeles, telas, etc.)

Clase B. Generados por combustión de líquidos (ceras, parafinas, grasas, alcohol, etc.)

Clase C. Producido por combustión de gases (metano, propano, gas natural, etc.)

Clase D. Provocados por combustión de metales u otros elementos especiales.

Habitualmente, tendemos a pensar en el agua como agente extintor universal, pero solo es recomendable para la clase A, siendo mucho más adecuado la nieve carbónica o la espuma para la clase B y el polvo químico para las clases B y C. Para fuegos de clase D, se requiere de un polvo muy específico.

---

<sup>40</sup> La nueva normativa obligaba a construir con piedra, material ignífugo, la estructura de los edificios y los muros medianeros, evitando vigas y paredes de madera. También se exigía que el suministro de agua público (fuentes, abrevaderos, etc.) fuera custodiado para evitar que en situaciones de emergencia los depósitos se encontraran vacíos por el mal uso que existía habitualmente. (Tácito, 65 d.C.)

Debido a que pensamos sistemáticamente en el agua como recurso para la lucha contra el fuego, la mayoría de las instalaciones de PCI que más visualizamos son instalaciones de expulsión de agua. Si bien es cierto que dentro de este grupo las instalaciones más reconocibles son las Bocas de Incendio Equipadas (en adelante BIE) y los extintores portátiles, estos no son los únicos que aparecen. Existen muchas situaciones de incendio distintas por lo que se han desarrollado multitud de soluciones para la extinción de incendios. Las formas de extinción más habituales se pueden englobar en varios grupos:

Extintores portátiles. Posiblemente los elementos de extinción más reconocibles en los edificios. Se trata de un equipo de pequeño tamaño que contiene el agente extintor y cuenta con una pequeña manguera que debe apuntarse hacia el fuego para dirigir el agente contra el incendio. Se clasifican en función de la clase de fuego que pueden extinguir, no obstante, el más habitual es el extintor de polvo ABC que permite su uso en casi todo tipo de fuegos.<sup>41</sup> A diferencia de otros sistemas, los extintores no requieren de instalación de suministro ni transporte pues son elementos móviles que contienen en su interior el agente extintor hasta que se requiera su utilización. Tras su utilización, debe ser enviado a una empresa específica para su recarga. Debido a su naturaleza portátil e inconexa con ninguna red de suministro, pueden utilizarse de igual manera con independencia del lugar. Es decir, los extintores portátiles no tienen ninguna problemática vinculada a la altura.

Suministro de agua. La extinción por agua requiere del suministro. Por lo general, el suministro de agua se realiza mediante acometida propia e independiente desde el sistema urbano de suministro de agua. Esto es así para que, en caso de cualquier cierre de la acometida de AF para reparaciones en la red, el suministro de agua para PCI no quede anulado. Como sistema complementario a la acometida independiente pueden incorporarse aljibes para el almacenamiento de agua en el interior del edificio. De esta manera, si por cualquier razón, se necesitase temporalmente cerrar el suministro de agua en la red de PCI, existiría la posibilidad de utilizar el agua de dichos depósitos para la extinción de un potencial incendio. Descontando esto, el sistema de suministro de agua para PCI es idéntico al sistema de suministro de AF. Cuenta con el mismo sistema de distribución (acometida y distribución principal)<sup>42</sup> y debe dar solución al mismo tipo de problemas que la instalación de AF, especialmente la pérdida de presión, por lo que es necesaria la aparición de grupos de presión que impulsen el agua hacia las plantas más altas del edificio. La pérdida de presión es un problema especialmente importante en PCI, puesto que el agua debe salir a mucha más presión de la que habitualmente se requiere en AF o ACS, por lo que es trascendental que las tuberías sean mucho más resistentes<sup>43</sup> y la pérdida de presión sea la menor posible.<sup>44</sup> Tras el suministro se requiere del uso de dispositivos específicos para su utilización:

- BIE. Mangueras instaladas dentro del edificio. Habitualmente se ubican junto a un extintor de incendios. Al igual que los extintores portátiles están pensados para ser utilizado tanto por los usuarios del edificio hasta la llegada de los bomberos como por estos últimos.

---

<sup>41</sup> La estandarización del extintor ABC se debe a que los extintores están pensados para ser utilizados también por los usuarios de los edificios, que no tienen por qué conocer la clasificación del fuego. Con el polvo ABC se puede utilizar el mismo extintor para la gran mayoría de los fuegos, maximizando la eficiencia del extintor.

<sup>42</sup> No existen derivaciones individuales, puesto que todo el edificio o complejo es contabilizado como una única unidad de consumo, por lo que no es necesario la facturación individualizada del consumo. Esto es debido a que la extinción de un incendio es un beneficio general para todo el edificio y no únicamente para la zona de este en la que se ha generado el fuego.

<sup>43</sup> Las tuberías de PCI, que habitualmente tienen un acabado color rojo para poder identificarlas, deben soportar mayor presión de servicio. Se utiliza acero como material puesto que otros materiales habituales en AF y ACS como polibutileno, cobre, etc. no son capaces de resistir dichas presiones.

<sup>44</sup> Reducir la pérdida de presión implica reducir la cantidad de grupos de presión en aquellas zonas que tienen menor presión de la requerida.

- Rociadores automáticos. Sistema de extinción mediante elementos de difusión de agua colocados en los falsos techos. Los rociadores pueden no solo apagar pequeños focos sino humedecer y dificultar el avance del fuego a otras zonas.
- Hidrantes exteriores. Hidrante que se ubican en las fachadas de los edificios, a pie de calle, para uso de bomberos.

Suministro de agente extintor. Se trata de un sistema idéntico al sistema de extinción mediante el suministro de agua, pero en vez de transportar este líquido se utiliza como recurso otro tipo de agente extintor, como pueden ser espumas, nieve carbónica, polvo BC, polvo ABC. Aunque no es muy habitual, cada vez es más frecuente en espacios y edificios que requieran de una especial protección contra fuegos e incendios, como pueden ser bancos, bibliotecas, archivos históricos, museos, etc.

Columna seca. En edificaciones de mucha altura se exige la aparición de un sistema de columna seca.<sup>45</sup> Esta instalación es similar a un sistema de suministro, pero tiene algunas características distintas. Se trata de una red de tuberías que se instala en el edificio y que está vacía.<sup>46</sup> La columna dispone de una boca de entrada a nivel de calle que permite, en caso de incendio u otro tipo de emergencia, a los bomberos conectar la bomba de presión del camión y abastecer de agua a alta presión. Este suministro permite a los bomberos conectar sus propias mangueras a la columna seca en vez de directamente al camión, de forma que pueden actuar sobre los fuegos en las plantas superiores a las que no llegarían si no existiera la columna seca. La instalación en sí no requiere de grupos de presión por lo que el sistema está limitado a la presión máxima que pueda impulsar la bomba del camión de bomberos, siempre que esta no supere la presión máxima de las tuberías que conforman la columna seca. Actualmente, los grupos de presión que se instalan en estos vehículos pueden aportar una presión de 2000 - 4000 kPa. Esto se traduce en que el agua puede ascender a una altura de entre 200 y 400 metros, suficiente para la práctica totalidad de las edificaciones y siendo únicamente insuficiente para 40 edificios en todo el mundo.

Eliminación del comburente. Este método de extinción es diferente al resto. Este grupo no trata de arrojar un producto sobre el fuego con el fin de reducir su temperatura y/o aislar el oxígeno del fuego. En estos sistemas se busca separar el combustible del comburente mediante la eliminación de este último. En un fuego se requiere de combustible (aquello que arde y se consume) y de comburente (aquello que mantiene la combustión). El comburente más habitual es el oxígeno estando presente en la práctica totalidad de los fuegos e incendios. Debido a esto, uno de los sistemas más efectivos en la extinción de incendios es la aspiración del oxígeno de la sala, de forma similar a cuando se tapa una sartén con fuego para apagarlo. Este sistema es muy eficaz, pero debido a que suprime el oxígeno de un espacio no puede ser utilizado salvo en contadas ocasiones y sólo en zonas que sean intransitables o cuyos usuarios estén muy familiarizados con el protocolo en caso de activación de este sistema. En la práctica se rechaza su utilización debido a los posibles perjuicios que puede generar sobre las personas.

En los rascacielos son trascendentales los sistemas de extinción. En la mayoría de los casos, el tiempo de ascenso de los bomberos a la planta en la que se ha declarado un incendio es demasiado largo, por lo que el sistema de rociadores automáticos sirve como primera línea de defensa. En grandes incendios, los rociadores no son suficientemente efectivos, pero al menos, ralentizan la propagación hasta la llegada de los bomberos. En esta situación, la columna seca es trascendental pues proporciona puntos de conexión para las mangueras cerca de los focos del

---

<sup>45</sup> España requiere del uso de la columna seca cuando la altura de evacuación supera los 24 metros.

<sup>46</sup> En la mayoría de los casos es simplemente una tubería vertical con acceso desde los rellanos de la escalera de emergencia. Al encontrarse vacía de manera habitual, es necesario un tratamiento por la cara interior de las tuberías para evitar la corrosión.

fuego y un suministro con la suficiente presión como para que los profesionales puedan extinguir el incendio.

Sin embargo, en los rascacielos más altos, no es posible disponer de columna seca puesto que la altura de las plantas superiores es tal que los grupos de presión no pueden impulsar el agua tan arriba. Es por esta razón por la que en los grandes rascacielos se instalan aljibes de agua, habitualmente en las plantas técnicas, que sirven como reservas para su utilización en posibles incendios. De esta manera, se asegura un suministro constante de agua para emergencias durante 1 o 2 horas.

Esta situación es el planteamiento realizado en el rascacielos *Burj Khalifa*. El agua se impulsa hasta 4 aljibes localizados en las distintas plantas técnicas. Allí el agua se almacena hasta que se declara un fuego. Los depósitos están dimensionados para almacenar la cantidad de agua necesaria para la utilización de los dispositivos de extinción de incendios durante al menos 1 hora.<sup>47</sup>

### *Detección y alarma*

Si la extinción de los fuegos es la principal instalación de PCI, los sistemas de detección y alarma son las siguientes instalaciones en importancia.

Al principio únicamente consistían en una señal sonora que debía ser activada por los propios usuarios al ser testigos de un incendio, de forma análoga a los campanarios de iglesias con los incendios forestales o los avisos desde castillos y fortalezas cuando ocurrían ataques. Pero actualmente los sistemas de detección y alarma son parte integral de la instalación de PCI e incluso en algunos casos son los detonadores de los sistemas de extinción.

Los sistemas de detección se agrupan en función de la forma que tienen de detectar el fuego:

Detección manual. Es el sistema más tradicional y menos complejo. Consiste en una serie de pulsadores manuales situados a lo largo de los recorridos de evacuación que permiten activar la alarma. El resto de los sistemas actúan como instalaciones complementarias de forma que este sistema aparece siempre.

Detección por calor. Permite la detección automática del fuego gracias a cambios en la temperatura. Los dispositivos pueden ser: térmicos, que se activan cuando la temperatura del espacio o habitación llega a una determinada temperatura; o termovelocimétricos, que se activan si la temperatura del lugar aumenta mucho en un período muy corto de tiempo.

Detección por humo. Este sistema automático detecta fuego en función de la presencia de humo en el ambiente. Los dispositivos que se utilizan en este sistema pueden ser: ópticos, que se activan cuando el humo bloquea el lector visual; o de aspiración, que se activan cuando al aspirar parte del aire de la habitación se encuentra alguna molécula de humo.

Detección por llama. El último sistema de detección se activa cuando detecta la radiación (visible, infrarroja y/o ultravioleta) vinculada a una llama.

Todos los sistemas de detección presentan ventajas e inconvenientes. Para intentar contrarrestar al máximo los inconvenientes y evitar activaciones en situaciones normales sin fuego o, lo que es aún más problemático, la no activación en situaciones real de emergencia se procura instalar varios tipos de detectores.

Una vez activado el sistema de detección, este dispara el sistema de alarma. Los sistemas de alarma son principalmente dos y normalmente el mismo dispositivo puede realizar ambas funciones: señal acústica y señal visual. De esta forma, el aviso de incendio será percibido también por personas con dificultad auditiva o visual. Los dispositivos de alarma deben de seguir funcionando durante todo el tiempo de evacuación del edificio.<sup>48</sup>

En la actualidad y gracias a los dispositivos móviles y otros elementos personales los sistemas de alarma están comenzando a incluir envíos masivos de notificaciones a estos dispositivos, de

---

<sup>47</sup> (Weismantle & Antell, 2019)

<sup>48</sup> En cualquier edificio se ha de calcular la cantidad de personas que deben de evacuar, los recorridos de evacuación y el tiempo medio que se tarda en desalojar la totalidad de la edificación.



forma que la alarma no sólo es recibida por los usuarios que en ese momento se encuentran en el edificio sino por los usuarios habituales (residentes, trabajadores, etc.) que se encuentran a distancia. Además, esta tecnología también permite localizar a los usuarios dentro del edificio y generar individualmente su propia ruta de evacuación desde ese emplazamiento.<sup>49</sup>

Junto con la activación de la alarma el propio sistema de detección puede activar uno o varios de los sistemas de extinción. Los sistemas de rociadores son los principales sistemas de extinción que permiten esta automatización, aunque el sistema de detección también puede proceder a la extracción de oxígeno si el sistema está instalado.

Debido a su naturaleza eléctrica y electrónica, la altura no es un limitador y precisamente por ello, y al igual que el resto de las instalaciones eléctricas no sufre de problemática asociada a la altura. No obstante, la instalación de PCI en su conjunto debe disponer de una red eléctrica de suministro independiente del resto de la red y el circuito debe de disponer de un sistema de almacenamiento eléctrico para poder funcionar temporalmente en caso de corte del suministro eléctrico. La consecuencia de este planteamiento es la posible aparición de baterías eléctricas que permitan el suministro suficiente para el funcionamiento básico de estos sistemas. El problema surge cuando, a mayor número de plantas y superficie útil, mayor número de dispositivos eléctricos y, por lo tanto, mayor número de baterías y espacio necesario para su ubicación. Para ello, la mayoría de los rascacielos ubican estos elementos en las plantas técnicas.

### *Comunicación vertical en emergencias*

La instalación de PCI también incluye sistemas de evacuación y comunicación para situaciones de emergencia. El elemento por antonomasia de esta categoría es el ascensor de emergencia.

Habitualmente en caso de emergencia uno de los primeros puntos que se establece en el protocolo de actuación es la no utilización de los elementos eléctricos de transporte vertical, como pueden ser escaleras y rampas mecánicas o los ascensores. Esto se debe a que debido a la situación excepcional que supone dicha emergencia no se puede garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad de dichos elementos. No obstante, existen modelos pensados específicamente para poder ser utilizados como elementos de evacuación en emergencias y como transporte vertical para los cuerpos de seguridad y/o personal de extinción de incendios.

Los ascensores de emergencia son similares a los ascensores comunes, pero deben de disponer de una serie de elementos que no se piden para los ascensores habituales. Estos requisitos difieren según la normativa de aplicación, pero suelen incluir la capacidad de ser manejados desde la propia cabina permitiendo ignorar llamadas desde las diferentes plantas y el disponer de un suministro eléctrico temporal que permita al ascensor funcionar durante un periodo temporal relativamente amplio en caso de corte de suministro eléctrico.

La función principal de estos elementos dentro de la instalación de PCI es el transporte del cuerpo de bomberos rápidamente a las plantas en las que se ha declarado el fuego. Por esta razón es trascendental en edificación en altura, puesto que reduce el tiempo de actuación y por lo tanto aumenta las probabilidades de extinguir el fuego a la mayor brevedad posible. Además, aunque no sea su función principal, puede ser utilizado para facilitar la evacuación de personal con movilidad reducida o con otro tipo de discapacidad. De hecho, en los rascacielos más altos, la altura de evacuación es tal que es prácticamente inviable que los usuarios, incluidos los que no sufren ninguna discapacidad, puedan evacuar de manera veloz y efectiva el edificio recorriendo únicamente las escaleras de emergencia. Por ejemplo, en el *Burj Khalifa* se utilizan ascensores de emergencia para evacuar a los usuarios desde los refugios y espacios protegidos de las plantas 43, 76 y 123 directamente hasta la planta baja.<sup>50</sup>

---

<sup>49</sup> (Jia, Bonilha, Bora, & Li, 2016)

<sup>50</sup> (Kinateder, Omori, & Kuligowski, 2014)

Dentro de esta categoría de comunicación vertical en emergencias también se puede incluir los dispositivos de telecomunicación para emergencias. Su función no es el transporte de personas sino la comunicación, principalmente verbal, de dos o más personas. La situación más habitual es la comunicación de gente que se encuentra en áreas bloqueadas (como las cabinas de los ascensores cuando se bloquean, o las zonas de refugio en situación de emergencia) con personal de asistencia. La telecomunicación de este sistema no requiere de verticalidad, puesto que puede aparecer en museos, escuelas, hospitales, etc. Pero tiene especial trascendencia en edificaciones en altura puesto que la distancia entre las zonas obstruidas y el puesto de control puede ser considerable.

### *Sectorización y señalización*

El último apartado dentro de la instalación de PCI es la sectorización. El proceso de sectorización de incendios consiste en dividir el edificio en diferentes áreas, relativamente pequeñas, que estén aisladas entre sí de forma que, en caso de producirse un incendio en una de ellas, el resto de los sectores permanezca protegido del fuego el tiempo suficiente para evacuar el edificio.

La sencillez a la hora de sectorizar un edificio suele estar vinculada con la aparición de gran número de particiones. Por el contrario, cuanto mayor libre es la planta o la sección, mayor dificultad para sectorizar de manera eficiente la edificación. La mayor parte de la sectorización de incendios consiste en medios pasivos, es decir, elementos constructivos con gran resistencia al fuego que se colocan en la propia construcción del edificio. Tabiques, puertas, vestíbulos de independencia, etc. Sin embargo, existen elementos que forman parte de los medios activos de la instalación de PCI cuya función es la de complementar la sectorización. Un claro ejemplo son los retenedores de apertura de puertas cortafuegos<sup>51</sup> en los vestíbulos de independencia o las cortinas cortafuegos.<sup>52</sup>

Dentro de esta categoría también se encuentran las luces de emergencia, cartelería y otra señalización de emergencias. Al igual que en el proceso de sectorización, la mayoría de los elementos de esta agrupación son medios pasivos que se colocan a la hora de la construcción. Sin embargo, ya existen medios activos que permiten activar únicamente las luces de emergencia en situación real de alarma, evitando que estén siempre conectadas. Ejemplos mucho más modernos empiezan a utilizar pantallas led como elementos activos en la señalización de emergencias. Estas pantallas muestran anuncios, dan ayuda e información o simplemente sirven de decoración en situaciones sin emergencia, pero se transforman para servir de señalización visual (y acústica) cuando se detecta fuego u otro tipo de emergencia.

Ambos tipos de elementos, los de sectorización y los de señalización son elementos que apenas suponen problema a la hora de su inclusión en la arquitectura en altura y, por lo tanto, su añadido en los rascacielos no plantea grandes problemáticas más allá de los relacionados con el proyecto y diseño de este. Estos elementos forman parte activa de la instalación de PCI y son activados junto con el sistema de alarma y los sistemas de extinción automática, generando una protección completa y sistemática de todo el edificio.

---

<sup>51</sup> El sistema de retención de apertura de las puertas de protección permite que dichas puertas se encuentren abiertas en todo momento, facilitando el tránsito y la comunicación entre sectores. No obstante, cuando el sistema de detección se activa, los retenedores se desconectan, cerrando las puertas. Dichas puertas siguen pudiéndose abrir manualmente para la evacuación, pero se cierran solas para evitar la dispersión de las llamas.

<sup>52</sup> Las cortinas cortafuegos (similares a persianas) actúan en caso de incendio desplegándose y sellando el sector de incendio en el que se ha iniciado el fuego. Cuando se activan se comportan como tabiques con resistencia al fuego. Si están plegadas se encuentran, habitualmente, ocultas en el falso techo, dejando un espacio diáfano.

## Energías renovables

Este último grupo agrupa todas aquellas instalaciones dedicadas a la generación energética mediante la utilización de energías renovables. Si bien es cierto que existen numerosos sistemas basados en energías renovables no todos pueden ser adaptados a “pequeña escala” para poder ser instalados dentro de edificaciones y la gran mayoría de los que sí lo permiten se pueden englobar en 4 o 5 grupos.

Las instalaciones energéticas de energías renovables son las instalaciones con menor recorrido histórico en edificación. La historia no está carente de sistemas de aprovechamiento mediante recursos renovables, pero las instalaciones de esta categoría no han sido una necesidad en el interior de los edificios hasta las últimas 3 décadas de la historia.

### *Solar*

La instalación de energía Solar se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es el aprovechamiento energético mediante la captación de energía proveniente de la luz del sol.

La humanidad ha aprovechado el sol desde los orígenes, no solo como fuente de luz y como regulador de la vida diaria, sino también como recurso térmico. El secado de ladrillos, ropa, comida, etc. es sólo un ejemplo de ello. En el siglo XVII la creación de los primeros invernaderos en Inglaterra y los Países Bajos supuso la primera edificación que se aprovechaba directamente de este tipo de energía. Más tarde, las instalaciones solares surgieron a finales del siglo XX tras la crisis del petróleo de 1973. La idea de una futura escasez de combustible fósil planteó la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía. Y para muchos ingenieros y técnicos la solución estaba en mejorar nuestro aprovechamiento del sol.

Este planteamiento ha generado diferentes sistemas para el aprovechamiento solar, desde los *solariums* e invernaderos, hasta sistemas modernos como el muro *Trombe*. Pero estos sistemas son realmente sistemas pasivos, en los que la propia construcción del edificio se aprovecha de la incidencia solar. Por contraste, las instalaciones solares aprovechan dicha energía para funciones específicas.

La instalación de energía solar no es única. Existen diversos tipos en función de la energía generada, de las cuales las más habituales son dos: energía solar térmica y energía solar eléctrica. En edificación se ha generalizado la primera, mientras que la segunda es más habitual en grandes centrales para generación eléctrica a nivel nacional. No obstante, en los últimos años y especialmente en edificios de gran consumo eléctrico se ha comenzado a incluir también energía solar eléctrica.

Las placas solares son los elementos más reconocibles de este tipo de instalaciones, también son los elementos que condicionan la instalación y colocación del resto de elementos. Esto es debido a que las placas deben estar situadas en lugares con gran soleamiento e incidencia. Esto implica reservar un área exterior del edificio para colocarlas. En la mayoría de los casos suele ser la cubierta, pues suele suponer un gran espacio sin apenas uso. No obstante, en los rascacielos esta disponibilidad es prácticamente nula. La mayor parte de los rascacielos, tanto tradicionales como actuales, suele tener una cubierta reducida, aterrizada, o destinada a colocación de elementos como pararrayos o aljibes. En los pocos que cuentan con espacio para colocar placas solares, la superficie de cubierta no es suficiente para alojar la totalidad de las placas.

Debido a esta problemática, en los rascacielos más modernos se está empezando a optar por la colocación de placas solares fotovoltaicas en las fachadas. Las placas fotovoltaicas son más delgadas y pueden admitir dimensiones más pequeñas que las placas solares térmicas. Es esta versatilidad en el tamaño (y el correspondiente peso) el que permite su colocación en otras disposiciones: ancladas, colgadas, etc. Esta versatilidad no es posible con los paneles térmicos, puesto que se trata de un elemento de grandes dimensiones que actúa como intercambiador y acumulador térmico. Aunque el rendimiento de los paneles fotovoltaicos es muy inferior a los

captadores térmicos,<sup>53</sup> la electricidad generada por estos últimos puede ser utilizada en diversas funciones incluyendo Calefacción y ACS. Esto les otorga a los paneles fotovoltaicos una mayor versatilidad a hora de su aprovechamiento.

Esta solución se ha utilizado en la *FKI Tower* (Seúl, 2014) que, mediante una fachada quebrada en acordeón, ubica los paneles fotovoltaicos en los cantos de los forjados permitiendo la coexistencia entre grandes ventanales y paneles y aprovechando el espacio perdido que existe siempre en los cantos de los forjados en los muros cortina. Al mismo tiempo, la inclinación de los paneles se materializa como sistema pasivo de protección solar, actuando de forma análoga a un alero de cubierta que protege del sol de mediodía en primavera y verano.<sup>54</sup>



12. Paneles solares fotovoltaicos en la fachada de la FKI Tower

### **Eólica**

La instalación de energía Eólica se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es el aprovechamiento energético mediante la captación de energía cinética del viento.

Al igual que con la energía solar, el ser humano se ha aprovechado del viento desde prácticamente los inicios de la civilización. La utilización de molinos de viento es una constante en prácticamente toda la historia humana y ha permitido transformar la energía cinética del viento en energía mecánica.

Actualmente los sistemas eólicos están enfocados principalmente en el suministro de electricidad mediante aerogeneradores. Estos aprovechan el movimiento de las corrientes de viento para dar vueltas a un alternador y generar corriente eléctrica. Existen dos tipos principales de aerogenerador:

Eje horizontal. Denominados HAWT por sus siglas en inglés. Son los aerogeneradores más habituales. Tienen 3 palas y poseen una gran similitud con los molinos de viento tradicionales. Poseen una cabeza pivotante para girar según la dirección del viento. Debido a su tamaño y el efecto de frenado del viento que producen ocupan mucha superficie y deben disponerse separados unos de otros.

Eje vertical. También conocidos como VAWT por sus siglas en inglés. Aerogeneradores menos frecuentes. Suelen poseer 3 palas, pero pueden contar con más. Con cierto parecido con los anemómetros, no requieren un elemento pivotante extra pues sirve cualquier

---

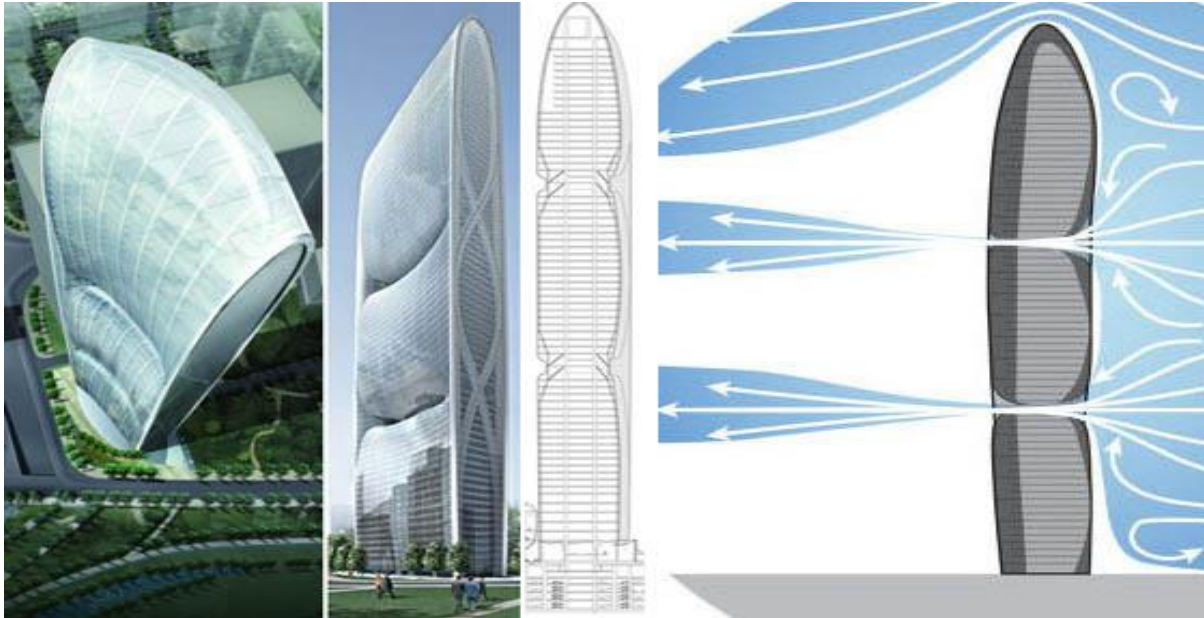
<sup>53</sup> (Inarquia, s.f.)

<sup>54</sup> La posición del sol de mediodía en el solsticio de verano es la más alta del año, por lo que los rayos solares inciden con la mayor verticalidad posible.

dirección del viento. A causa de la forma que posee no produce efecto frenado y pueden situarse muy juntos unos de otros.

Los aerogeneradores no están pensados para edificación, destinándose principalmente a generación de grandes potencias para el suministro urbano. Existen, sin embargo, variantes específicas para el suministro personal. No obstante, el requerimiento de grandes vientos hace poco eficiente estas variantes, y por lo general solamente son viables en zonas de montaña puesto que al aumentar la altura aumenta la fuerza del viento.

Los rascacielos no son una excepción a esto y no poseen vinculación alguna con los aerogeneradores. No obstante, comienzan a aparecer prototipos de aerogeneradores de eje vertical para ser incluidos en edificación, y más concretamente en rascacielos. Debido a su altura, los



13. Diseño de la Pearl River Tower para utilizar las corrientes de aire.

rascacielos poseen una ventaja frente a la arquitectura más tradicional: el viento es una constante en los pisos superiores, de hecho, ha de tenerse en cuenta a nivel estructural pues supone una fuerza nada desdeñable en las plantas más altas. Hasta ahora, el viento era simplemente un problema a nivel estructural y térmico, pero gracias a las propuestas como la planteada en el *Pearl River Tower* (Guangzhou, China, 2005) puede que este problema se convierta en una ventaja para la construcción de gran altura.

### *Geotermia*

La instalación de Geotermia se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es el aprovechamiento energético mediante la captación de energía térmica del subsuelo. La energía geotérmica es toda energía térmica generada en el subsuelo, destacando principalmente aquella vinculada a la actividad volcánica. A mayor temperatura, mayor energía y por lo tanto mayor aprovechamiento.

Esta instalación apenas tiene precedentes en la historia de la arquitectura ya que el único aprovechamiento de la geotermia significativo son las fuentes termales. Actualmente, la geotermia se utiliza principalmente en climatización, es decir, sirve para calefacción o refrigeración. Para ello se vale de la gran inercia térmica del subsuelo, pues a más de 3 metros de profundidad presenta una temperatura constante de aproximadamente 15 °C durante todo el año. También se utiliza para la generación de ACS al igual que la instalación de energía solar térmica.

El sistema de energía geotérmica es similar a la instalación de climatización tradicional aprovechando una bomba de calor para calentar o refrigerar un edificio captando o expulsando el calor al terreno en vez de al ambiente. Se trata de una instalación muy infrecuente en la arquitectura,

tanto tradicional como moderna. Principalmente se utiliza en pequeñas edificaciones aisladas que cuentan con gran espacio o terreno y requieren pequeños consumos de climatización.

Las variantes más potentes, vinculadas a alta actividad volcánica y similares, se pueden aprovechar para generación eléctrica en centrales o para calefacción y ACS en sistemas de distrito. Estas son las únicas posibilidades viables para el uso de energía geotérmica en edificios de cierto tamaño. Y, por la misma razón, es prácticamente inexistente en rascacielos.

### *Aeroterminia*

La instalación de Aeroterminia de una edificación se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es el aprovechamiento energético mediante la captación de energía térmica del propio ambiente.

Al igual que la instalación de geotermia, el sistema de aeroterminia aprovecha la energía térmica existente en un lugar, en el ambiente en este caso, para reducir la energía necesaria para climatizar un espacio, así como para la generación de ACS. A diferencia de la geotermia, el medio ambiente no tiene una temperatura constante durante el año, por lo que el rendimiento y el coste de funcionamiento de la bomba de calor no es tan favorable. Sin embargo, cuenta con la ventaja de no necesitar contacto con el terreno cercano ni realizar una excavación para alcanzar la temperatura necesaria. Esto permite la instalación de la aeroterminia en lugares elevados sin necesitar recurrir a un sistema de tuberías que conecte ese lugar directamente con el terreno para intercambiar el calor.

Esas características permitirían la colocación de bombas de calor para aeroterminia en diferentes plantas de un rascacielos, probablemente en las plantas técnicas, siempre que pudieran tener acceso directo con el aire exterior. Aunque pueda parecer que el aire a gran altura no puede ser útil para climatizar debido a su baja temperatura,<sup>55</sup> en realidad, el aire a cualquier temperatura posee energía térmica y por lo tanto puede utilizarse para climatizar los diferentes espacios de un rascacielos. Es precisamente la capacidad que tienen las bombas de calor. Aunque más efectivas a mayor temperatura del aire, las bombas de calor son capaces de calentar un espacio mediante el contacto con un aire más frío, pues toman la energía térmica del aire en vez de realizar un intercambio de temperaturas.

El sistema de aeroterminia es muy reciente, y en comparación con otros sistemas de energías renovables tiene, por ahora, muy poco desarrollo. Esto hace que, aunque en la práctica no existen bombas de calor aerotérmicas en rascacielos, no sería extraño encontrar en un futuro próximo rascacielos o edificios en altura con aeroterminia.

### *Biomasa*

La instalación de Biomasa se define como el conjunto de elementos técnicos y/o constructivos cuya función es el aprovechamiento energético mediante la captación de energía proveniente de la combustión de materia orgánica.

Posiblemente, la instalación más antigua de la historia puesto que la combustión de materia orgánica, ramas, hojarasca, madera, es habitual desde el propio descubrimiento del fuego. No obstante, la combustión mediante combustibles fósiles ha sido la habitual en grandes calderas desde la aparición de los sistemas de calentamiento comunales como radiadores o similares. Por otro lado, la combustión con biomasa se mantuvo hasta mediados del siglo XX como sistema de cocina y calentamiento individual. No ha sido hasta finales de los 80 cuando se empezó a plantear la biomasa como sustituto a los combustibles fósiles para calderas y otros grandes calentadores.

La instalación de biomasa no es una instalación propiamente dicha, se trata más de un sistema específico de generación de calor. En vez de realizar la combustión con recursos fósiles

---

<sup>55</sup> La temperatura en la atmósfera disminuye con la altura a un ritmo de 6.5 °C/km. Esto implica una reducción de 1 °C por cada 154 metros de altura. Debido a la altura de los rascacielos, el aire exterior en las plantas más altas puede estar 2 o 3 °C por debajo de la temperatura que existe a nivel de la calle.

ser realiza con materia orgánica. Si bien es cierto que se trata de un recurso renovable, especialmente la materia de origen vegetal, la combustión de biomasa sigue siendo contaminante al emitir CO<sub>2</sub>. Además, una gran desventaja de la biomasa es su pequeña capacidad calorífica en relación con los combustibles fósiles, haciendo menos eficiente la combustión cuando se toman cantidades idénticas de ambos combustibles.

La realidad es que la instalación de biomasa solo es viable cuando se requiere un sistema de combustión como principal elemento de generación de calor y cuando existen dificultades económicas o de distribución que hacen inviable la instalación de los sistemas de combustión fósiles. Si bien es cierto que la instalación de combustión por biomasa es viable en grandes bloques en altura, en los rascacielos es prácticamente inviable la utilización de cualquier tipo de combustión para calefacción o ACS (como ya se ha aclarado previamente en los apartados correspondientes), incluyendo en esta situación a la combustión por biomasa.

## La planta técnica

Desde la aparición de los primeros rascacielos a finales del siglo XIX y principios del siglo XX se pone de manifiesto la necesidad de agrupar la maquinaria técnica. Los primeros edificios en altura no requerían un elemento específico para realizar esta función debido a su limitado número de plantas, pero tras superar los 50 - 60 metros de altura, las últimas plantas comenzaban a tener dificultades con el suministro de servicios debido a la longitud de las instalaciones. Los sótanos de instalaciones no eran suficiente para alojar todo el equipamiento técnico y mantener, a su vez, unas distancias razonables de servicio y suministro.

La solución planteada a este problema fue el apilamiento. Si la arquitectura en altura se conceptualiza como el apilamiento de plantas unas encima de otras, la arquitectura de rascacielos se conceptualiza como el apilamiento de edificios en altura unos encima de otros. De esta manera, el sótano de instalaciones de uno se coloca sobre la cubierta de otro, convirtiéndose en una planta intermedia, pero de uso específico para instalaciones. Este mecanismo proyectual acabó creando lo que hoy en día conocemos como planta técnica.

Se denomina planta técnica a aquella planta cuya función es la de acoger la diferente maquinaria necesaria para el correcto funcionamiento de los distintos sistemas de instalaciones existentes en el edificio. A diferencia de los locales técnicos o de instalaciones que sólo usan una parte de la planta, en la planta técnica todo el espacio útil está destinado al uso de instalaciones por lo que en la práctica la planta técnica no forma parte del espacio habitable del edificio. Esta circunstancia puede parecer contraproducente, especialmente en los rascacielos, que buscan maximizar el espacio habitable. Sin embargo, destinar una planta completa al equipamiento técnico otorga una serie de ventajas que han ayudado y fomentado la creación de rascacielos:

Sectorización. La aparición de plantas técnicas intercaladas entre las plantas habitables permite sectorizar el edificio favoreciendo una mejor protección contra incendios. Sectorización que también permite agrupar diferentes usos y separar eficazmente a los usuarios.

Eficiencia. La centralización de maquinaria permite un mejor mantenimiento y control de las instalaciones evitando la aparición de problemas.

Seguridad. La manipulación malintencionada de los equipos técnicos se puede reducir limitando el acceso a la planta técnica mediante ascensores específicos.

La eficiencia se pone de manifiesto al centralizar los sistemas. Desde mejoras en el control de consumo y funcionamiento hasta el aumento del rendimiento de los equipos al trabajar en mayores cantidades. La centralización de las instalaciones debido a su eficiencia es una realidad en cualquier edificio, incluido los rascacielos.

Pero debido a la sensibilidad de la maquinaria que acogen las plantas técnicas requieren de sistemas especiales de aislamiento. Tanto suelos como techos deben cumplir con los requisitos de sectorización de incendios, a fin de evitar la transmisión de fuegos entre las plantas contiguas y la propia planta técnica. Se aprovecha además para aislar acústicamente estas particiones puesto que el ruido generado por el equipamiento técnico puede resultar incómodo para los usuarios de las plantas superior e inferior. La utilización de las plantas técnicas como elemento sectorizador refuerza más la idea de apilamiento de edificio en contraste con el simple apilamiento de plantas. Esta circunstancia permite generar en las plantas técnicas vestíbulos de independencia que sectorizan las propias escaleras generando incluso espacios para refugio en emergencias.

A esta situación hay que añadir la seguridad que requiere un espacio técnico. En prácticamente cualquier edificio los espacios de instalaciones tienen el acceso limitado y esto es algo que se mantiene en los rascacielos. Al tratarse de toda una planta designada a tal uso, es frecuente que los ascensores ordinarios no posean parada en ella, permitiéndose el acceso únicamente desde ascensores específicos para uso de mantenimiento y los ascensores de equipos de extinción. Estos ascensores, con características similares a los ascensores de emergencia,



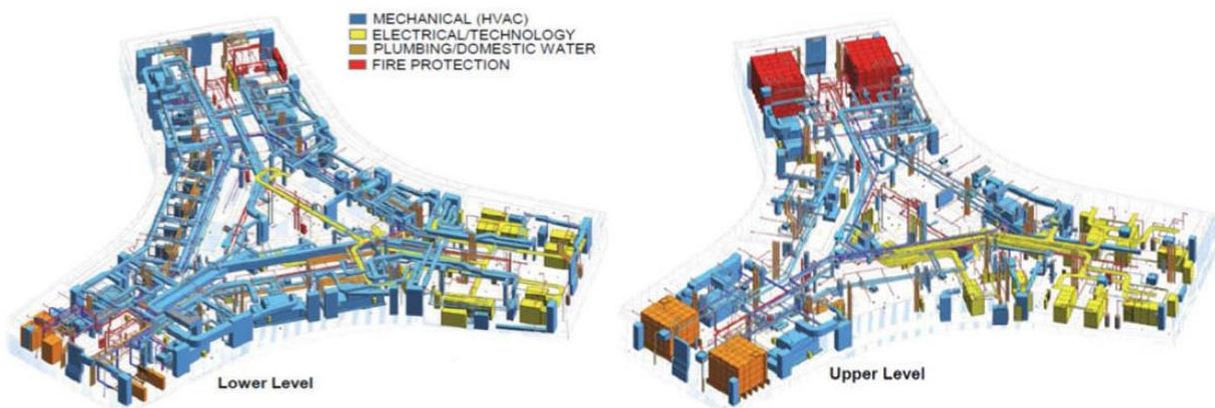
conectan las plantas técnicas entre sí para favorecer la comunicación entre ellas en caso de mantenimiento y requieren identificación para poder ser utilizados.

## Equipamiento

Estas características de la planta técnica mejoran el funcionamiento de un rascacielos, que busca la mayor eficiencia posible al tiempo que mantiene la seguridad para evitar riesgos tanto accidentales como intencionales. La planta técnica busca separar los equipos de los espacios habitables. Pero esta separación implica una agrupación de los sistemas, por lo que los ingenieros y arquitectos deben planificar correctamente cada uno de ellos para ocupar de forma eficiente el espacio existente dentro de las plantas técnicas. Los diferentes sistemas deben encajarse entre ellos para acomodar la totalidad de tuberías, conductos y cableado. Además, es necesario que aparezcan pequeños espacios de comunicación como pasillos entre la maquinaria para operaciones de mantenimiento y reparación. Por lo que los sistemas suelen agruparse por tipología y uso.

Uno de los primeros elementos a colocar es la parte correspondiente a la instalación de PCI. El equipamiento de PCI existente en una planta técnica suele consistir en un grupo reducido de bombas que impulsan el agua hasta plantas superiores y uno o dos aljibes que almacenan dicho líquido hasta que se requiere su utilización. Estos depósitos ocupan bastante espacio por lo que, como norma general, se ubican en un extremo de la planta, para dejar espacio al resto de elementos.

De forma análoga, los sistemas de suministro de AF y ACS se sitúan cerca del sistema de PCI, agrupando las instalaciones de fontanería y suministro de agua. Estas instalaciones no requieren de depósito de almacenamiento en las propias plantas técnicas, aunque en ocasiones puede resultar favorable disponer de ello y se plantean directamente en el proyecto.<sup>56</sup>



14. Equipamiento de una planta técnica tipo.

La instalación de electricidad es posiblemente la más problemática. Debido a la práctica dependencia de electricidad en todos los aspectos mecánicos del edificio, la red eléctrica requiere extenderse a todos los espacios. Por sí mismo, esto no supone un problema mayor que en cualquier otro edificio. Sin embargo, la ubicación en la misma planta de depósitos de agua y centros de transformación es un claro riesgo de fuego. Más, si se tiene en cuenta que el sistema de rociadores automáticos de la instalación de PCI deben disponerse en todas las plantas, y eso incluye las propias plantas técnicas. Aunque nunca puedes evitar el posible contacto con el sistema automático de extinción, los transformadores y elementos de control eléctrico, como fusibles y contadores se proyectan para estar lo más alejado posible de las instalaciones de fontanería, a fin de evitar problema si existe alguna fuga.

---

<sup>56</sup> (Simmonds, 2015)

La última instalación con un uso extensivo en las plantas técnicas de los rascacielos es la climatización. Otros sistemas que tradicionalmente aparecen en sótanos y locales de instalaciones de edificación de menor escala como pueden ser suministro de gases combustibles, calderas para calefacción o similares, son evitados de manera sistemática en el diseño de las instalaciones de un edificio y por lo tanto no aparecen en las plantas técnicas.<sup>57</sup> Del acondicionamiento térmico se ocupa el sistema de climatización que, cada vez más, aparece centralizado en las plantas técnicas. Debido al uso extensivo que se le da a esta instalación, los considerables equipos de climatización requieren gran consumo eléctrico al tiempo que generan gran cantidad de agua condensada. Los rascacielos más modernos ubican los equipos en áreas específicas destinadas a drenar esa agua para reutilización de forma similar al sistema separativo de aguas pluviales. Al tratarse de equipos que requieren drenados continuados, también se aconseja alejarlo de los sistemas eléctricos.<sup>58</sup> Los propios conductos recorren las plantas técnicas hasta su patinillo ocupando gran parte del techo.

Las plantas técnicas pueden, finalmente, acoger el sistema de automatización y domótica del edificio que por similitud se ubican cerca de los sistemas eléctricos, pero bien aislados para evitar inducciones magnéticas en los sistemas digitales. También pueden servir como alojamiento para los sistemas de control y maniobra de los ascensores o cualquier otro sistema automatizado que exista en los edificios.

## Ubicación

Las plantas técnicas no se colocan arbitrariamente. Su localización se relaciona directamente con la ocupación que hay en las plantas habitables a las que da servicio. Históricamente se han ubicado cada 10 - 15 plantas, aunque, actualmente la distancia puede ser mayor. Sin embargo, dado que habitualmente las plantas superiores de los rascacielos son más pequeñas y las instalaciones suelen requerir el mismo espacio, es frecuente que en los últimos niveles las plantas técnicas aparezcan con mayor frecuencia. Además, en la práctica totalidad de los rascacielos, las últimas plantas se destinan a sistemas de telecomunicaciones para el edificio o el barrio.

La ubicación de las plantas técnicas es importante, pues requieren de un tratamiento de fachada propio. Algunos rascacielos, como el *Taipei 101* (Taipei, 2004) utilizan esta circunstancia como parte del diseño propio del edificio. Debido a la necesidad de ventilación y renovación de aire, así como al requerimiento de termorregulación que necesitan los sistemas de climatización, se hace imprescindible la posibilidad de toma de aire exterior desde estos niveles. Tanto si el rascacielos cuenta con una fachada continua como si tiene bandas horizontales que se corresponden con las plantas técnicas, la fachada debe contar con sistemas de intercambio de aire con el exterior que sean controlados por los propios sistemas para regular la temperatura de la planta.<sup>59</sup>

Pero la fachada no es el único elemento del edificio que debe adaptarse en las plantas técnicas. La estructura también. Aunque los rascacielos más actuales utilizan sistemas estructurales que tratan de independizarse lo más posible de las plantas, algunos de los modelos estructurales más habituales requieren de un núcleo rígido con arriostramientos en algunas plantas.<sup>60</sup> El arriostramiento mediante celosías dificulta la utilización en las plantas habitables, mientras que las propias celosías pueden generar una delimitación virtual en la planta técnica a la hora de distribuir. Los equipos pueden ubicarse entre las cerchas y los conductos y tuberías pueden redirigirse para localizarse entre los huecos de las diagonales y montantes.

---

<sup>57</sup> De manera puntual pueden aparecer anecdóticamente en el sótano del propio rascacielos cerca de su acometida para generación de ACS para posteriormente ser el agua caliente impulsado mediante sus propios grupos de presión. Casi nunca aparecerá una caldera o calefactor de gases combustibles en una planta técnica.

<sup>58</sup> (Simmonds, 2015)

<sup>59</sup> (Simmonds, 2015)

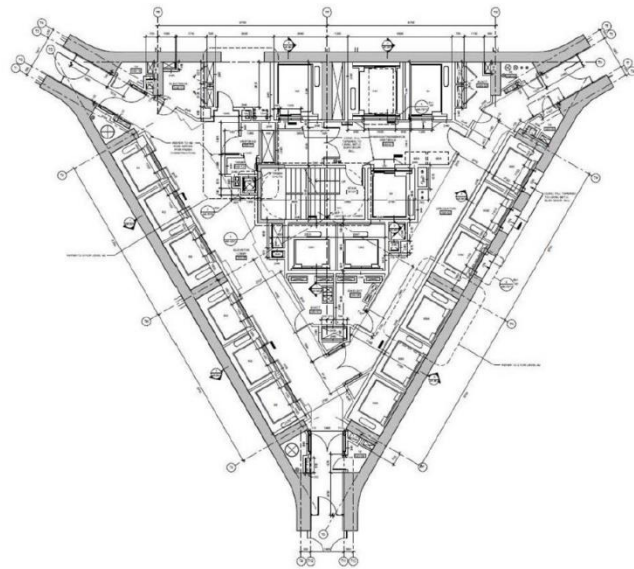
<sup>60</sup> (Lankhorst & Arts, 2019)

## Comunicación

Aunque el núcleo de comunicaciones no está directamente relacionado con la planta técnica, la centralización de las instalaciones requiere una especial conexión con los patinillos. El núcleo se plantea principalmente con el sistema de transporte vertical. La distribución mediante vestíbulos para absorber el gran número de usuarios requiere un gran espacio, por lo que ascensores, escaleras y vestíbulos ocupan la mayor parte del núcleo. El espacio restante se destina a patinillos de instalaciones.

Los diferentes patinillos deben alojar tuberías, conductos y cableado de distinto tamaño y cantidad. Debido al tamaño que ocupan, el patinillo de mayor requerimiento de espacio es el del sistema de climatización. No todos los rascacielos optan por un sistema de climatización centralizado en las plantas técnicas. Algunos optan por alojar los equipos en el falso techo, pero eso obliga a aumentar la altura libre entre plantas. En los casos que sí que centralizan la climatización, los conductos de recirculación de aire requieren un gran espacio que se aumenta con la cantidad de espacio y plantas servidas. Esto lleva a plantear el sistema de climatización de manera prioritaria en los primeros pasos del diseño del rascacielos, equiparándolo al transporte vertical. Junto con la climatización, los huecos de ventilación y extracción ocupan patinillos de gran tamaño, que pueden suponer un problema si no se plantean desde un inicio.<sup>61</sup>

El resto de las instalaciones suponen menor afección debido a su tamaño. Los sistemas de fontanería y PCI pueden adaptarse con cierta facilidad a la disposición, aunque su tamaño puede verse fácilmente aumentado si la planta técnica sirve a muchos niveles diferentes al necesitar cada una de ellas una derivación desde la planta técnica. Las instalaciones eléctricas y electrónicas son las más adaptables y simplemente requieren separación con el resto por razones de seguridad contra el fuego.



15. Izquierda: Celosías estructurales en plantas técnicas en el edificio Shimao International Plaza (Shanghái, 2006). Derecha: Núcleo de comunicaciones tipo.

---

<sup>61</sup> (Simmonds, 2015)

## Casos de estudio

La mejor forma de analizar y comprender la afección de las instalaciones en los rascacielos es mediante un análisis práctico de edificios reales. Lo ideal sería que un solo edificio agrupara todas las instalaciones, pero debido a que un mismo edificio no suele tener todas las instalaciones y que la documentación técnica de los rascacielos es información muy sensible es prácticamente imposible conseguir un caso de estudio que lo reúna todo. A pesar de que algunas instalaciones son básicas y aparecen en la totalidad de las edificaciones, no todos los sistemas son necesarios. Esto es especialmente destacable en el caso de las instalaciones de generación energética basadas en recursos renovables. Dado que el movimiento ecologista y las tecnologías verdes son muy recientes, únicamente algunos rascacielos muy modernos incluyen sistemas de esta categoría.

Como ya se ha comentado previamente, no todas las instalaciones tienen especial incidencia en la arquitectura en altura. Principalmente las instalaciones que más limitan la construcción de rascacielos son las instalaciones de fontanería, el transporte vertical y la protección contra incendios.

Para analizar estas instalaciones se proponen dos casos de estudio: El *Burj Khalifa* (Dubái, 2010) y la *Kingdom Tower* (Yeda, En construcción) que permiten describir dichos sistemas. A mayores, también se añade la *Pearl River Tower* como caso de estudio debido a su innovación en sistemas de generación energética mediante recursos renovables.

### *Burj Khalifa*. El máximo aprovechamiento del agua

Construido en 2010, el rascacielos *Burj Khalifa* se diseñó como un símbolo de modernidad para la ciudad de Dubái, en los Emiratos Árabes Unidos. Para ello, se planeó la construcción de una torre de 570 metros, por lo que se convertiría en el edificio más alto construido hasta la fecha superando los 508 metros que poseía el *Taipei 101* (Taipéi, 2003), líder en ese momento de la lista de edificios más altos. Las diferentes fases de proyecto aumentaron paulatinamente la altura prevista hasta los más de 700 metros. Tras la construcción se calculó que la altura real máxima es de 828 metros con respecto al suelo.<sup>62</sup>



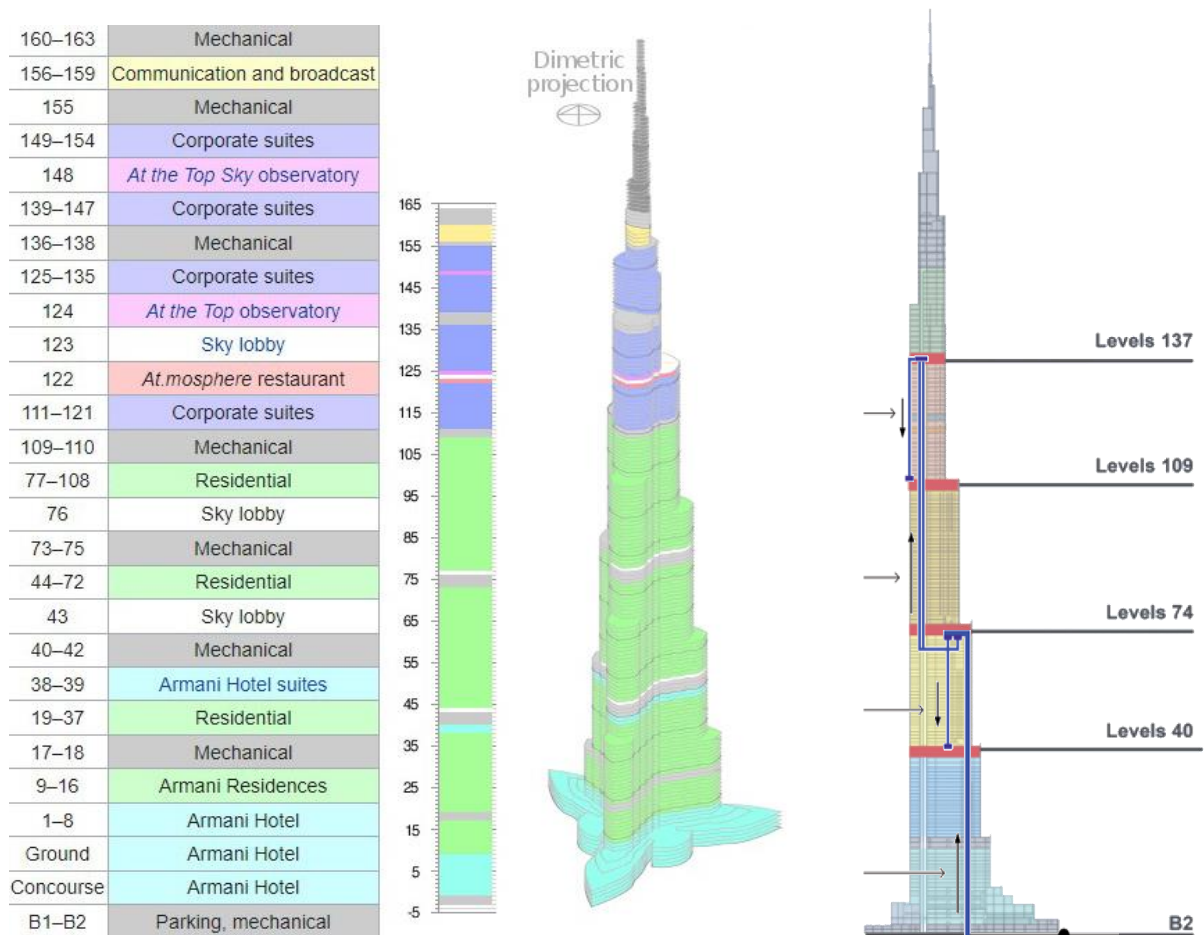
16. *Burj Khalifa*

---

<sup>62</sup> (Wikipedia, s.f.)

El edificio cuenta con 163 plantas, que acogen una multitud de usos diferentes. El uso mayoritario es el uso residencial, tanto público como privado, pero el uso comercial y de pública concurrencia también aparecen. Existen incluso plantas para infraestructura de telecomunicaciones a nivel urbano.

El suministro de agua se realiza de manera tradicional mediante una acometida que conecta el edificio con el sistema urbano. Por esta acometida circulan más de 945000 litros de agua al día, que dan servicio a los sistemas de suministro de AF y ACS, a los sistemas de climatización y mantienen los depósitos y aljibes del sistema de PCI. Esta cantidad de agua se eleva mediante grupos de presión colocados en los siete grupos de plantas técnicas.<sup>63</sup> Estos grupos de presión permiten al agua llegar hasta todos los puntos de consumo del rascacielos, elevando periódicamente la presión del agua. Debido a la temperatura que puede llegar a alcanzar el agua suministrada, superando los 40 grados en algunos momentos del año, el agua debe ser enfriado tras la acometida.<sup>64</sup>



17. Izquierda y Centro: Usos por plantas. Derecha: Esquema de suministro de agua y aljibes para PCI

Junto a estos grupos de presión existen unos aljibes especiales que sirven para almacenar el agua necesaria para el correcto funcionamiento del sistema de rociadores automáticos. Estos depósitos, ubicado en las plantas 40, 74, 109 y 137 son capaces de mantener el suministro de agua que requieren estos rociadores durante una hora, dando tiempo suficiente a la evacuación segura de los usuarios y a la llegada de los equipos de extinción. Este planteamiento mediante depósitos

<sup>63</sup> Las plantas técnicas se ubican en las plantas 17-18, 40-42, 73-75, 109-111, 136-138, 155 y 160-168.

<sup>64</sup> (Durie, 2012)

permite al *Burj Khalifa* no depender de un suministro estable y continuo para las funciones de extinción de incendios.<sup>65</sup> Además, el suministro desde dichos aljibes hasta los rociadores se realiza por gravedad. Esto implica que un posible corte de suministro eléctrico o un fallo en los grupos de presión, que dejaría sin suministro de AF y ACS al edificio, no afectaría al sistema de extinción.

Estos no son los únicos sistemas de gestión de agua que posee el *Burj Khalifa*. Está ubicado en una zona desértica con acceso limitado a agua potable, pero con una atmósfera húmeda debido al Golfo Pérsico. Precisamente por esta razón, el rascacielos incluye un sistema novedoso de recolección de agua condensada. La condensación que se produce en la cara exterior de la fachada del edificio debido a un contraste extremo entre el calor habitual de Dubái y el interior climatizado del edificio supone una importante fuente de agua que el *Burj Khalifa* aprovecha mediante un sistema separativo de bajantes. Este sistema recolecta 56 millones de litros de agua al año,<sup>66</sup> lo que supone un 16 % extra de agua al año y que se almacenan en un depósito separado del resto de la instalación de agua en el garaje del sótano. Esta agua se destina al mantenimiento e irrigación de los jardines y zonas verdes que existen en torno al edificio.

### *Kingdom Tower*. El transporte vertical como elemento esencial

La torre *Kingdom*, también conocida como *Jeddah Tower* por su ubicación en la ciudad de Yeda, Arabia Saudí, comenzó su construcción en 2013 pero debido a problemas con arrestos en las empresas contratistas, la construcción se ralentizó. El rascacielos sigue en construcción actualmente y aunque se esperaba que su construcción finalizara en 2020, debido a la pandemia de Covid-19 la edificación no se ha finalizado todavía.



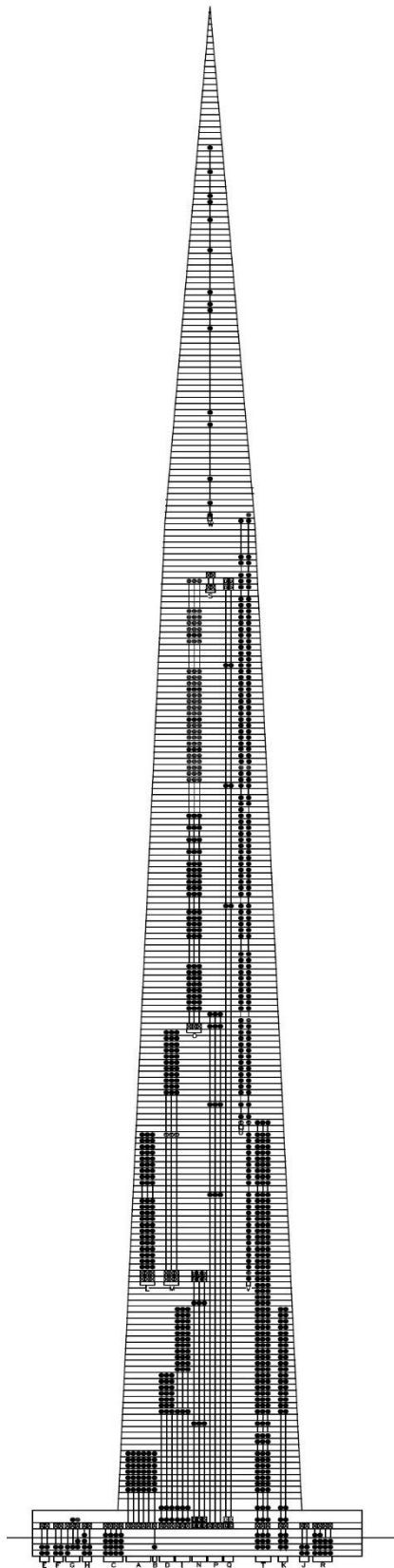
18. Izquierda: Recreación del estado final de la *Kingdom Tower*. Derecha: Estado actual (2020)

La *Kingdom Tower* tiene como objetivo alcanzar más de 1000 metros de altura, por lo que arrebataría el título de edificio más alto del mundo al *Burj Khalifa*. Debido a esta altura, el transporte vertical es esencial. Si bien es cierto que la instalación de Transporte vertical es primordial en cualquier rascacielos, el sistema de ascensores de la *Kingdom Tower* se ha diseñado para incorporar las últimas tecnologías.

---

<sup>65</sup> (Weismantle & Antell, 2019)

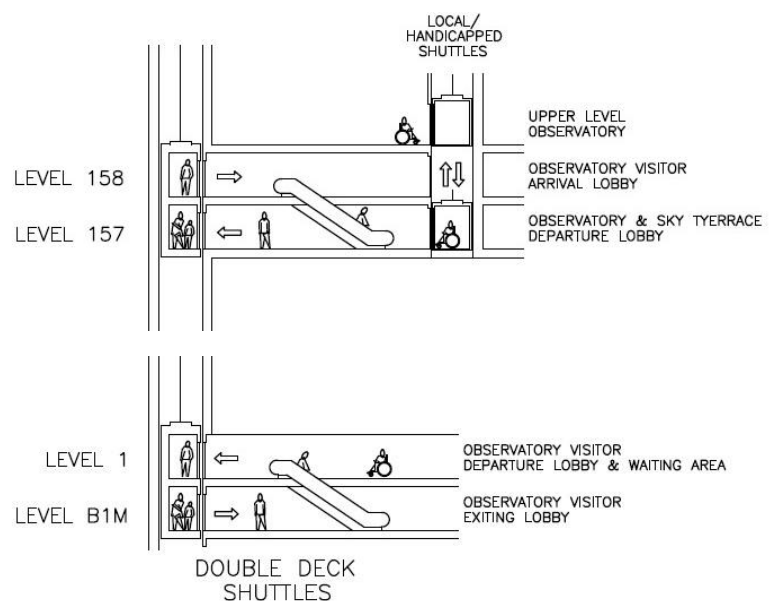
<sup>66</sup> (Burjkhalifa.ae)



Debido a las alturas extremas los proyectistas decidieron utilizar el sistema *sky lobby* para separar las zonas y desplazar gran cantidad de pasajeros gracias a los ascensores-lanzadera que se plantean en dicho sistema. El tráfico se separa por áreas y funciones, por lo que se establecen distintos núcleos de comunicaciones para evitar que los flujos de distinto destino (visitantes, empleados, personal de mantenimiento, usuarios habituales, etc.) se mezclen.<sup>67</sup> La utilización del sistema *sky lobby* mejora la eficiencia de la instalación de Transporte Vertical, pues los huecos de los ascensores locales pueden ser apilados verticalmente sin riesgos.

Aunque los ascensores-lanzadera se plantean originalmente como elevadores sin paradas intermedias, en este rascacielos se introducen 3 – 4 posibles paradas intermedias de uso restringido, para posibles emergencias y acceso de mantenimiento. Junto con estas paradas, las lanzaderas han sido modificadas para funcionar mediante el sistema *double-deck*.<sup>68</sup> Esto duplica de manera eficaz la cantidad de personas que pueden utilizar un mismo viaje hasta cualquier *sky lobby*. Las dos plantas de vestíbulo se conectan mediante rampas y escaleras mecánicas para que ambos niveles de la cabina sean totalmente accesibles.

El sistema de funcionamiento de los ascensores está totalmente automatizado. Este sistema agrupa a los usuarios sobre la marcha en función de su destino. Cuando un usuario llega a un núcleo de ascensores debe marcar su destino mediante un teclado numérico. Como respuesta recibirá la letra del ascensor asignado. El usuario deberá esperar y embarcar en



19. Izquierda: Esquema de paradas de los ascensores en la Kingdom Tower. Derecha: Sistema *sky-lobby* con ascensores-lanzadera *double-deck*

<sup>67</sup> (Fortune, 2015)

<sup>68</sup> (Fortune, 2015)

el ascensor indicado que automáticamente parará en las plantas destino de los usuarios que estén asignados al mismo. Para evitar que haya desajustes por manipulación manual y uso indebido del sistema, las cabinas no poseen panel de botones. De esta manera, se evita que un pasajero se monte en un ascensor que no le corresponde, aunque haya llegado al vestíbulo antes que el elevador asignado. La excepción a esta circunstancia son los ascensores de uso para equipos de extinción. Estos ascensores sí que poseen control desde la cabina para que el cuerpo de bomberos pueda realizar la evacuación de emergencia se realiza mediante ascensores. Los *Kingdom Tower Lifeboat Lifts* han sido diseñados para permitir una evacuación en un tiempo inferior a los 60 minutos. No obstante, aunque los elevadores de emergencia permiten evacuar en ese tiempo también existen escaleras de emergencia que conectan con las áreas de refugio que deben establecerse cada 15 o 20 plantas. Estos espacios, que son de obligada creación según la mayoría de las normativas de evacuación en edificios, permiten la espera de los usuarios hasta la llegada de las nuevas instrucciones de evacuación. Idealmente, los usuarios esperan allí mientras se gestiona la emergencia, pero tras los eventos del 11-S es poco probable que los usuarios esperen pacientemente dentro de un rascacielos afectado.<sup>69</sup>

### *Pearl River Tower. La incorporación de las energías renovables*

Diseñado para ser un edificio innovador a nivel energético, el rascacielos *Pearl River Tower* (Guangzhou, 2011) aúna sistemas eficiencia energética y aprovechamiento de recursos renovables punteros. El funcionamiento esperado de estos sistemas permite cambiar el paradigma de la generación energética fuera de los edificios, trasladando al interior de los rascacielos parte de la energía que requerirían del exterior.



20. Izquierda: Pearl River Tower. Derecha: Aerogeneradores instalados en la Pearl River Tower.

Una de las mayores afecciones que sufren los edificios extremadamente altos es la fuerza del viento. Tradicionalmente las fachadas, totalmente verticales, actuaban como frente interponiéndose en el movimiento del aire. La fachada principal de la *Pearl River Tower* se curva para redirigir este viento hacia los 6 huecos existentes que atraviesan el rascacielos. En el interior de estas 6 aberturas se colocan aerogeneradores de eje vertical que no requieren giro con el cambio

---

<sup>69</sup> (Fortune, 2015)



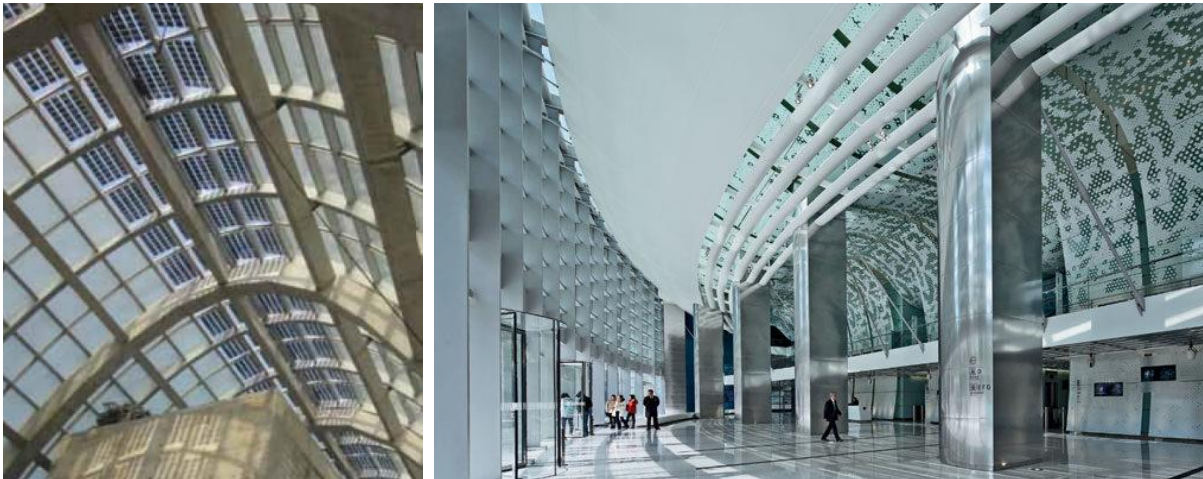
de dirección del viento. Según los estudios realizados por las consultoras de ingeniería la fachada curvilínea aumenta la eficiencia del sistema al dirigir el viento hacia los túneles, haciendo que las turbinas colocadas en dichos túneles generen 8 veces más electricidad que el mismo modelo colocado en campo abierto.<sup>70</sup>

Aunque el viento es trascendental en la gestión energética del rascacielos, también se han incluido paneles fotovoltaicos que aumentan la generación eléctrica. Estos paneles son colocados en las lamas que permiten controlar el soleamiento. Al ubicarse en estos elementos, los paneles son de tamaño reducido, pero pueden disponerse en la práctica totalidad de la fachada sin interrumpir la iluminación ni la visibilidad hacia el exterior. También se disponen en la zona superior de la fachada, área que correspondería con la cubierta. La propia fachada del edificio se dobla cubriendo con una superficie continua toda la cubierta. La fachada-piel se utiliza para el soporte de estos paneles que reducen la incidencia solar tan marcada en esa zona.

Pero la luz natural no sólo es filtrada mediante lamas o parasoles. También se utiliza un doble muro cortina. La fachada exterior permite la entrada del calor al hueco interior, mientras que la segunda capa, la interior, evita un excesivo soleamiento ayudada por las lamas. El espacio intersticial entre ambas capas permite una ventilación continua por lo que todo el edificio se mantiene termorregulado. Este planteamiento, similar al concepto de fachada ventilada, permite que el aire caliente ascienda y sea expulsado en vez de entrar en el edificio.

Pero no todo el edificio evita la luz. El vestíbulo principal de acceso, debido a su tamaño, requiere de sistemas de iluminación que alumbren la parte interior más alejada de la fachada. En muchos rascacielos, esto simplemente se resuelve mediante iluminación artificial, y aunque esa iluminación existe para momentos sin iluminación natural (noche, día lluvioso, etc.) los arquitectos e ingenieros de la *Pearl River Tower* plantearon un sistema de elementos reflectantes que redirigieran la luz hacia el interior del vestíbulo. Esto supone una reducción del consumo energético y permite al hall una iluminación más homogénea.

Gracias a todas estas instalaciones y sistemas, el edificio permite ahorrar un 30% de energía con respecto a los requisitos mínimos establecidos en la legislación china.<sup>71</sup> Esto no sólo le ha supuesto ser referente a nivel nacional, también ha permitido conseguir el certificado *LEED Platinum*.



21. Izquierda: Paneles solares en la parte superior. Derecha: Vestíbulo de entrada con paneles reflectantes en el techo.

---

<sup>70</sup> (Tomlinson, Baker, Leung, Chien, & Zhu, 2014)

<sup>71</sup> (Tomlinson, Baker, Leung, Chien, & Zhu, 2014)

## Conclusiones

La construcción de grandes rascacielos es el mayor exponente de la arquitectura contemporánea. Tras un comienzo lento a finales del siglo XIX, el siglo XX supuso una confirmación de que la arquitectura de rascacielos supondría un antes y un después en la historia de la edificación. Actualmente, los rascacielos son símbolo de poder económico y cultural sirviendo como elementos icónicos de ciudades, zonas o países.

Debido al auge de este tipo de construcciones, la innovación técnica ha tenido que enfocarse en desarrollar nuevos sistemas de instalaciones y estructuras que den solución a la problemática específica que poseen los edificios en altura, y más concretamente, los rascacielos. Son precisamente estos métodos y materiales los que han permitido que la construcción de rascacielos siga en auge. Pero no todos los sistemas han afectado de igual forma. De entre todos los existentes, algunos han influido de manera trascendental en el establecimiento del rascacielos como arquetipo paradigmático de la arquitectura contemporánea.

Aunque la innovación en materiales y sistemas estructurales ha sido importante para materializar estos edificios tal y como hoy los conocemos. Esta arquitectura no existiría sin alguna instalación. Destaca principalmente el ascensor (o los sistemas de transporte vertical) puesto que ha permitido salvar la barrera que supone la comunicación entre distintas plantas de un edificio. Esta problemática adquiere su mayor exponente en los propios rascacielos, haciendo inviable la construcción de uno sin la existencia de ascensores que comuniquen rápidamente y sin grandes esfuerzos los espacios entre sí.

Los sistemas de Protección Contra Incendios también han sido parte esencial de la morfología de los rascacielos. La necesidad de evacuación de edificios tan grandes y susceptibles de poseer gran número de ocupantes pone de manifiesto la necesidad de unos muy buenos sistemas de detección y evacuación. Los rascacielos pueden ser comparables a grandes centros comerciales y/o estadios en términos de números de evacuación, pero la propia tipología del edificio, que sólo permite la evacuación en una dirección, convierte a los rascacielos en edificios con gran riesgo. Es precisamente esta realidad la que exige unos sistemas de PCI punteros, que limitan y condicionan gran número de variables en la construcción, pero que ha permitido que los rascacielos sean edificaciones totalmente seguras.

Que el Transporte Vertical o la Protección Contra Incendios sean esenciales no significa que el resto de los sistemas sean intrascendentes. Las características del resto de los sistemas no se ven tan afectadas por el apilamiento de plantas en altura. Si bien es cierto que, de manera genérica, todas las instalaciones sufren algún tipo de modificación para adaptarlas a los rascacielos, en la práctica la gran mayoría de estas modificaciones supone la agrupación de las instalaciones en plantas técnicas.

La planta técnica extrapola el concepto del local de instalaciones al apilamiento de plantas. En un edificio de pocas plantas la maquinaria técnica necesaria para el correcto funcionamiento de las instalaciones tiende a agruparse en uno o varios locales, generalmente en el sótano o en la cubierta. Este planteamiento se refuerza en la construcción de rascacielos generando un espacio dedicado a los sistemas técnicos cada determinado número de plantas, a las cuales dará servicio la maquinaria colocada en dicho espacio.

En resumen, la innovación en el sector de los ascensores, los sistemas de PCI y la generalización de la planta técnica han permitido que los rascacielos vean cumplidos los requisitos técnicos que necesitan. La innovación en los sistemas de instalaciones ha permitido que los rascacielos sean una realidad.

## Referencias bibliográficas

- Abdel, H., & Harrouk, C. (25 de Junio de 2021). *ArchDaily*. Obtenido de ArchDaily: [https://www.archdaily.com/959373/evolution-of-the-house-plan-in-europe-from-the-industrial-revolution-to-the-interwar-period?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/959373/evolution-of-the-house-plan-in-europe-from-the-industrial-revolution-to-the-interwar-period?ad_medium=gallery)
- Aldrete, G. S. (2004). *Daily Life in the Roman City: Rome, Pompeii and Ostia*. Westport: Greenwood Press.
- Araujo, R., & Álvarez-Sala Walther, E. (2012). *Construir en ALTURA: Sistemas, tipos y estructuras*. Barcelona: Reverté.
- Bolin, R., & Gilchrist, R. (2012). Climate, Cladding and Conditioning Systems (One Size Fits All?). *CTBUH 2012 9th World Congress, Shanghai*, 325-334.
- Buley, R. C. (1959). *The Equitable Life Assurance Society of the United States*.
- Burjkhalifa.ae*. (s.f.). Obtenido de At the top. Fact Sheet: <https://www.burjkhalifa.ae/img/FACT-SHEET.pdf>
- Burton, C. (2017). Designing High Performance MEP Systems for Supertall Buildings: A Review of Challenges and Opportunities. *International Journal of High-Rise Buildings Volume 6 Number 4*, 301-306.
- Docomomo US*. (25 de Junio de 2021). Obtenido de <https://www.docomomo-us.org/news/united-nations-headquarters-campus-renovation-of-facades>
- Durie, F. (2012). Burj Khalifa: Creating the World's Tallest Integrated "Vertical City". *CTBUH 2012 9th World Congress*, 73-81.
- Earthly Mission*. (25 de Junio de 2021). Obtenido de Earthly Mission: <https://earthlymission.com/cross-sections-of-paris-buildings-from-the-1800s/>
- Enciclopedia Britannica*. (4 de April de 2021). Obtenido de Enciclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Elisha-Otis>
- Fortune, J. (2015). Elevator Designs for the Kingdom Tower. *The Middle East: A Selection of Written Works on Iconic Towers and Global Place-Making*, 56-65.
- Guruvappan, M., & Byczynski, N. A. (2019). State-of-the-Art Engineering for Supertall Residential Buildings. *2019 Chicago 10th World Congress Proceedings - 50 Forward | 50 Back*, 254-260.
- Inarquia. (s.f.). *Diferencia: Paneles Solares Térmicos vs. Fotovoltaicos*. Obtenido de <https://inarquia.es/diferencia-paneles-solares-termicos-paneles-fotovoltaicos/>
- Jia, Z., Bonilha, M., Bora, G., & Li, B. (2016). An Integrated Solution to Enable Safe Evacuation of Tall Buildings. *Cities to Megacities: Shaping Dense Vertical Urbanism*, 860-869.
- Kawase, T., & Sugiura, T. (2004). Report on the Mechanical and Electrical Technology of the Latest Tall Buildings in Japan. *CTBUH 2004 Seoul Conference*, 24-31.
- Kayden, J. S. (2000). *The Municipal Art Society of New York*.
- Kinateder, M. T., Omori, H., & Kuligowski, E. D. (2014). *The Use of Elevators for Evacuation in Fire Emergencies in International Buildings*. U.S. Department of Commerce.
- King, D. (2016). Challenges and Opportunities in Vertical Healthcare Design. *CTBUH Journal, 2016 Issue II*, 20-25.

- Lankhorst, G. L., & Arts, J. (2019). Life Cycle Analysis: Load-Bearing Structures of High-Rise Buildings in Western Europe. *CTBUH Journal Issue III*, 28-35.
- Larson, G. R. (1987). *The Iron Skeleton Frame: Interactions Between Europa and the United States*.
- Lee, J. (2016). Ventilation and Sound Attenuation Potential of Double-Skin Façades in Urban High-Rises. *CTBUH Journal, 2016 Issue I*, 32-37.
- Marriage, G., Sutherland, J., Allaf, N. J., & Finch, G. (2020). *Tall: The design and construction of high-rise architecture*. London: Routledge.
- Megri, A. C. (2011). Teaching High-rise Plumbing Design for Engineers. *2011 American Society for Engineering Education Annual Conference*.
- Schleier, M. (1986). *The Skyscraper in American Art, 1890 - 1931*.
- Shumeyko, V. (2016). The support systems of unique high-rise buildings.
- Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
- Song, D., & Su, K. Y. (2012). Effects of Vertical Meteorological Changes on Heating and cooling Loads of Super Tall Buildings. *International Journal of High-Rise Buildings Volume 1 Number 2*, 81-85.
- Tácito. (65 d.C.). *Anales* (Vol. Libro XV).
- Tomlinson, R., Baker, W., Leung, L., Chien, S., & Zhu, Y. (2014). Case Study: Pearl River Tower, Guangzhou. *CTBUH Journal, 2014 Issue II*, 11-17.
- Tse, K. C., Lam, H., Li, K., & Sung, M. (2016). Overcoming MEP and VT System Design Challenges in Three of the Tall Buildings in China. *Cities to Megacities: Shaping Dense Vertical Urbanism*, 899-906.
- Vaz-Serra, P., Mafella, G., & Egglestone, S. (2020). Implications of Flat-Pack Plumbing Systems For High-Rise Construction Efficiency. *CTBUH Journal 2019 Issue III*, 36-43.
- Weicheng, Z., & Siying, T. (2013). HVAC System Energy-saving Design for One Super-high Office Building. *International Journal of High-Rise Building Volume 2 Number 4*, 315-321.
- Weidner, S., Steffen, S., & Sobek, W. (2019). The Integration of Adaptive Elements into High-Rise Structures. *International Journal of High-Rise Buildings Volume 8 Number 2*, 95-100.
- Weismantle, P., & Antell, J. (2019). Fifty Years of Fire Safety in Supertall Buildings. *2019 Chicago 10th World Congress Proceedings - 50 Forward | 50 Back*, 94-100.
- Wikipedia*. (s.f.). Obtenido de Burj Khalifa: [https://es.wikipedia.org/wiki/Burj\\_Khalifa#Antecedentes](https://es.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa#Antecedentes)
- Willis, C. (1995). *Form follows Finance: Skyscrapers and Skylines in New York and Chicago*.
- Yuan, Y., Hu, J., Ding, J., & Li, Y. (2016). Addressing Energy Efficiency and Complexity in Tall Buildings. *Cities to Megacities: Shaping Dense Vertical Urbanism*, 841-850.

## Referencias fotográficas

1. Izquierda: Recreación insulae romana. <https://quevuelenaltolodados.com/2018/08/05/insula-la-vivienda-popular-romana/>
1. Derecha: Tulou. <https://es.lovepik.com/image-500606459/fujian-earth-building.html>
2. Izquierda: Bloque Hausmann. <https://recitsparisiens.wordpress.com/2016/05/31/le-paris-dhausmann-et-les-passages-couverts/>
2. Derecha. Ilustración siglo XIX de la distribución de las clases sociales en los bloques de vivienda. <https://earthlymission.com/cross-sections-of-paris-buildings-from-the-1800s/>
3. Izquierda: Home Insurance Building. <https://www.icasas.mx/noticias/primer-rascacielos-historia-home-insurance-building/>
3. Derecha: Propuestas del concurso del Chicago Tribune, de izq. a der: Walter Gropius y Adolf Meyer, Max Taut, Adolf Loos, y Bruno Taut, Walter Gunther y Kurz Schutz. <https://www.archdaily.com/880899/how-chicagos-tribune-tower-competition-changed-architecture-forever>
4. Izquierda: Chrysler Building. [https://es.wikipedia.org/wiki/Edificio\\_Chrysler](https://es.wikipedia.org/wiki/Edificio_Chrysler)
4. Centro: Empire State Building. [https://es.wikipedia.org/wiki/Empire\\_State\\_Building](https://es.wikipedia.org/wiki/Empire_State_Building)
4. Derecha: 30 Rockefeller Plaza Building [https://es.wikipedia.org/wiki/Rockefeller\\_Center](https://es.wikipedia.org/wiki/Rockefeller_Center)
5. Izquierda: Sede de la ONU. [http://es.wikipedia.org/wiki/Sede\\_de\\_la\\_Organizaci%C3%B3n\\_de\\_las\\_Naciones\\_Unidas](http://es.wikipedia.org/wiki/Sede_de_la_Organizaci%C3%B3n_de_las_Naciones_Unidas)
5. Derecha: Seagram Building. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-364394/clasicos-de-arquitectura-seagram-building-mies-van-der-rohe>
6. Los 5 modelos estructurales de rascacielos. Lankhorst, G. L., & Arts, J. (2019). Life Cycle Analysis: Load-Bearing Structures of High-Rise Buildings in Western Europe. *CTBUH Journal Issue III*, 28-35.
7. Izquierda: Bosco Verticale. <https://www.cronicademilan.com/bosco-verticale-el-nuevo-simbolo-de-milan/>
7. Centro: Sede de la CCTV. <https://www.msn.com/en-us/travel/news/chinas-weirdest-architecture/ss-BBq3OcY?ocid=UP93DHP&fullscreen=true#image=6>
7. Derecha: Bank of China Tower. <https://www.archiexpo.es/prod/josef-gartner/product-58213-1477371.html>
8. Esquema tipo de AF, ACS y Saneamiento para un rascacielos genérico. Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
9. Esquema tipo de Electricidad y suministro eléctrico de Emergencia para un rascacielos genérico. Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
10. Izquierda: Esquema sky-lobby. Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
10. Centro: Esquema Double-deck. Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
10. Derecha: Sistema Multideck (modelo ThyssenKrypp Twin). Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.

11. Esquema de Climatización y sistemas de extracción de aire para un rascacielo genérico. Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
12. Paneles solares fotovoltaicos en la fachada de la FKI Tower. <http://smithgill.com/work/fki/>
13. Diseño de la Pearl River Tower para utilizar las corrientes de aire. <http://muchodetodovariado.blogspot.com/2011/10/pearl-river-tower-guangzhou.html>
14. Equipamiento de una planta técnica tipo. Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
15. Izquierda: Celosías estructurales en plantas técnicas en el edificio Shimao International Plaza (Shanghái, 2006). [https://es.wikipedia.org/wiki/Planta\\_t%C3%A9cnica](https://es.wikipedia.org/wiki/Planta_t%C3%A9cnica)
15. Derecha: Núcleo de comunicaciones tipo. Simmonds, P. (2015). *ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems*.
16. Burj Khalifa. [https://viajes.nationalgeographic.com.es/ubicacion-exacta/burj-khalifa-mas-alto\\_14079](https://viajes.nationalgeographic.com.es/ubicacion-exacta/burj-khalifa-mas-alto_14079) [https://viajes.nationalgeographic.com.es/ubicacion-exacta/burj-khalifa-mas-alto\\_14079](https://viajes.nationalgeographic.com.es/ubicacion-exacta/burj-khalifa-mas-alto_14079)
17. Izquierda y Centro: Usos por plantas. [https://en.wikipedia.org/wiki/Burj\\_Khalifa#Floor\\_plans](https://en.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa#Floor_plans)
17. Derecha: Esquema de suministro de agua y aljibes para PCI. Weismantle, P., & Antell, J. (2019). Fifty Years of Fire Safety in Supertall Buildings. *2019 Chicago 10th World Congress Proceedings - 50 Forward | 50 Back*, 94-100.
18. Izquierda: Recreación del estado final de la Kingdom Tower. [https://elpais.com/cultura/2011/08/02/album/1312236001\\_910215.html](https://elpais.com/cultura/2011/08/02/album/1312236001_910215.html)
18. Derecha: Estado actual (2020). <https://constructionreviewonline.com/project-timelines/jeddah-tower-project-timeline-and-all-you-need-to-know/>
19. Izquierda: Esquema de paradas de los ascensores en la Kingdom Tower. Fortune, J. (2015). Elevator Designs for the Kingdom Tower. *The Middle East: A Selection of Written Works on Iconic Towers and Global Place-Making*, 56-65.
19. Derecha: Sistema sky-lobby con ascensores-lanzadera double-deck. Fortune, J. (2015). Elevator Designs for the Kingdom Tower. *The Middle East: A Selection of Written Works on Iconic Towers and Global Place-Making*, 56-65.
20. Izquierda: Pearl River Tower. <https://placotech.net/es/analysis/worlds-smartest-buildings-pearl-river-tower-guangzhou/>
20. Derecha: Aerogeneradores instalados en la Pearl River Tower. <https://placotech.net/es/analysis/worlds-smartest-buildings-pearl-river-tower-guangzhou/>
21. Izquierda: Paneles solares en la parte superior. Tomlinson, R., Baker, W., Leung, L., Chien, S., & Zhu, Y. (2014). Case Study: Pearl River Tower, Guangzhou. *CTBUH Journal, 2014 Issue II*, 11-17.
21. Derecha: Vestibulo de entrada con paneles reflectantes en el techo. <https://placotech.net/es/analysis/worlds-smartest-buildings-pearl-river-tower-guangzhou/>