



TORRES DE VIENTO

RELECTURA CONTEMPORÁNEA DE SISTEMAS ENERGÉTICOS PASIVOS

IRENE ORTEGO FERNÁNDEZ

TORRES DE VIENTO

RELECTURA CONTEMPORÁNEA DE SISTEMAS ENERGÉTICOS PASIVOS

Estudiante

Irene Ortego Fernández

Tutor

Ángela Ruiz Plaza

Departamento de composición arquitectónica

Aula TFG 3

Antonio Juárez Chicote, *coordinador*

Iñigo Corbeta Gutiérrez, *adjunto*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Universidad Politécnica de Madrid

Curso 2019/2020

Semestre de otoño

ÍNDICE

Resumen	3
1. Objetivos	4
2. Introducción	4
3. Torres de viento tradicionales	
3.1. Arquitectura vernácula en climas cálido-secos	6
3.2. Origen	8
3.3. Usos	9
3.4. Funcionamiento	10
3.5. Construcción	12
3.6. Clasificación	14
3.7. Problemas asociados a su uso	17
3.8. Modelos mixtos	17
3.9. Modelos según localización	19
4. Torres de viento contemporáneas	33
4.1. Ejemplos contemporáneos de diseño	34
4.2. Dispositivos	46
4.3. Comparativa de estrategias	53
5. Aplicación en España	54
5.1. Análisis de viabilidad	55
6. Conclusiones	63
7. Bibliografía	64

RESUMEN

El trabajo es una investigación sobre el potencial del uso en la arquitectura actual de las torres de viento.

Bajo la premisa de la necesidad de relectura contemporánea de estos elementos de refrigeración y ventilación pasiva, se analiza el sistema desde varios puntos de vista.

Primero se estudia en detalle las torres de viento tradicionales; su origen, funcionamiento, métodos constructivos, tipologías y variantes, de manera que aporte una base sólida de conocimiento sobre las mismas.

En segundo lugar, se exponen las dos vías de desarrollo y aplicación actuales que existen; la modernización estética de las mismas y el desarrollo de dispositivos basados en el funcionamiento de las torres, con ejemplos prácticos de cada uno de ellas.

Por último, para mostrar su potencial de aplicación en España, se realiza una aproximación sobre la viabilidad de su uso en el territorio español.

PALABRAS CLAVE

Torre de viento, Sistema pasivo, Refrigeración, Ventilación, Bioclimático, Sostenibilidad.

1. OBJETIVOS

El objetivo del trabajo es evidenciar la importancia y potencial de los sistemas energéticos pasivos propios de la arquitectura vernácula, en especial las torres de viento.

La relectura de estos sistemas energéticos pasivos es una estrategia clave, en la que se fusiona el desarrollo tecnológico actual con las pautas de diseño bioclimático del pasado.

No se trata de volver a replicar los modelos del pasado, sino de aprender sus estrategias y aplicarlas con las nuevas tecnologías y materiales.

Así, se busca resaltar su gran potencial de aplicación en la arquitectura contemporánea, como parte de la solución al problema de la sostenibilidad y eficiencia energética, además de concienciar y dar pautas sobre su uso.

2. INTRODUCCIÓN

La sociedad actual se encuentra en un momento de cambio debido al calentamiento global y agotamiento de los recursos naturales.

Según datos de la NASA, la temperatura media de la tierra ha aumentado 1,9°C desde 1880, y debido al cambio climático los veranos son más cálidos y olas de calor más frecuentes.

Como consecuencia a esta realidad, junto con el crecimiento económico y demográfico, especialmente en países emergentes y calurosos, cada vez más hogares y empresas recurren a la instalación de sistemas de aire acondicionado.

La refrigeración eléctrica de edificios supone ya un 10% del consumo eléctrico mundial, siendo una quinta parte de la electricidad total consumida por edificio.

El creciente uso de aires acondicionados en el mundo será la segunda mayor fuente de crecimiento de la demanda de electricidad en las próximas tres décadas.

“Se espera que la demanda mundial de energía de los acondicionadores de aire se triplique para 2050. El stock global de aires acondicionados en edificios crecerá a 5.600 millones en 2050, frente a los 1.600 millones de hoy en día” (AEI, 2018)

Así, sin nuevos estándares de eficiencia, el mundo enfrentará un elevado crecimiento de la demanda energética.

“Si bien la propiedad de sistemas de aire acondicionado mejorará la vida cotidiana, debe priorizarse el rendimiento de los mismos, ya que la demanda de electricidad para su uso es uno de los puntos más críticos del debate energético actual” (Birol, 2017)

Aunque pueda parecer que la única solución es la mejora de los sistemas actuales de aire acondicionado, la arquitectura y diseño de un edificio puede jugar un papel fundamental en la reducción de necesidad de uso del aire acondicionado.

"El arquitecto que construye el horno solar y luego introduce una gran planta de refrigeración para que sea habitable está subestimando la complejidad del problema y trabajando por debajo de los estándares adecuados de arquitectura." (Fathy, 1970)

La arquitectura vernácula nace como respuesta a las necesidades de hábitat en una región, y es una fuente de inspiración para desarrollos contemporáneos, con soluciones ancestrales a determinadas condiciones del clima.

"La supervivencia de las sociedades tradicionales a lo largo de miles de años indica que poseen conocimiento que aún puede ser de gran valor en su forma original como base para un nuevo desarrollo" (Shearer)

En cuanto a técnicas vernáculas de refrigeración, encontramos que en algunas regiones del Medio Oriente y Egipto, se han utilizado las llamadas torres de viento, cuyo objetivo principal es crear ventilación y refrigeración natural mediante el intercambio de aire exterior e interior del edificio.

Sin embargo, en las últimas décadas, se ha producido un fenómeno de globalización, en el que se ha realizado una arquitectura internacional, en ocasiones descontextualizada, que recurre al uso de equipos mecánicos para el acondicionamiento de espacios.

"Los arquitectos han sucumbido a la tentación de crear diseños actualizados que impiden alcanzar el objetivo principal de la arquitectura: ser funcional. Olvidan el entorno en el que van a implantar los edificios porque se siente atraído por innovaciones y artilugios nuevos y modernos. No se da cuenta de que la forma solo tiene significado dentro del contexto de su entorno." (Fathy, 1986)

Con el invento del aire acondicionado a principios del siglo XX, la refrigeración de espacios paso de ser parte de la solución formal del diseño de un edificio, a una instalación, independiente de las condiciones climáticas y del entorno del edificio.

Por otro lado, este cambio en los sistemas de ventilación, también ha tenido un impacto en la estética urbana de la ciudad, y ha supuesto una pérdida en la identidad de la misma.

"En el Cairo del siglo XIX, las hileras de torres de aire en los techos de las casas tenían un atractivo estético opuesto al del bosque de antenas de televisión que se extiende hoy sobre una ciudad moderna. El orden y la simetría de las torres de viento sugieren una cierta armonía, mientras que las antenas de televisión reflejan lo contrario." (Rosenthal, 1977)

3. TORRES DE VIENTO TRADICIONALES

3.1. ARQUITECTURA VERNÁCULA CLIMA CÁLIDO-SECO

Las torres de viento se desarrollan principalmente en Irán y los países colindantes, y para entender su funcionamiento, debemos analizar previamente las estrategias arquitectónicas y urbanas propias de su clima.

Clima cálido seco

Según la clasificación realizada por Arthur N. Strhler, las torres de viento tradicionales se desarrollan, en su mayoría, en climas cálido-secos, aunque también encontramos algunos ejemplos en climas cálido-húmedos.

Este clima se caracteriza por una radiación solar incidente de manera muy perpendicular la mayor parte del año, lo que genera gran irradiancia y temperaturas muy elevadas.

Por otro lado, debido a la baja humedad, se produce una nitidez atmosférica que favorece la llegada de más radiación solar y contribuye al aumento de las temperaturas durante el día. Por la noche, debido a esta transparencia, se produce la reirradiación nocturna, y, por tanto, una bajada significativa de la temperatura. (Neila, 2013)

Para latitudes entre los 25-40°, se detectan estaciones térmicas moderadas, con veranos cálidos e inviernos templados.

Por tanto, las torres de viento nacen en un contexto de climas cálidos-secos, con temperaturas muy elevadas durante el verano y durante el día, humedades relativas bajas y gran escasez de precipitaciones, lo que conlleva la falta de vegetación. Es decir, un clima desértico.

Estrategias urbanas y arquitectónicas

En estos climas, las estrategias principales son la protección de la radiación solar, la búsqueda de grandes masas térmicas, y distintos sistemas de enfriamiento, entre los que se encuentran los captadores de viento.

La estructura urbana de las ciudades tradicionales es compacta, con agrupaciones de casas adosadas, con calles estrechas sombreadas tanto por los edificios como por complementos.

El objetivo de esta estructura es lograr una ciudad en sombra, y reducir la exposición a la radiación solar directa durante el día y la temperatura en la calle.

Por otro lado, el trazado irregular y quebradizo de las calles dificulta la circulación del aire caliente diurno, mejorando la sensación térmica.

“El principal impacto de este diseño urbano, desde el punto de vista climático, es su efecto sobre la superficie de la envolvente y sobre el potencial para el desarrollo de dispositivos de ventilación natural. Cuanto más compacto sea, menor será el intercambio de calor entre el edificio y el aire ambiente” (Mahyari, 1996)

Por último, cabe mencionar la presencia de vegetación como elemento que permita el enfriamiento evaporativo.

En los edificios se busca una gran masa térmica, realizando paredes y techos gruesos para lograr una temperatura estable dentro del edificio, con huecos pequeños para que entre la menor cantidad de radiación posible. Además, las fachadas son de colores claros de manera que reflejen la luz solar.

La distribución de una vivienda suele girar en torno a un patio, rodeado por un pasillo por el que se accede a las habitaciones. (Fig. 3.1.1) El patio es el corazón de la vivienda, y tiene un tamaño tal que le permita mantener un área sombreada en verano, pero también recibir radiación solar en invierno.

La radiación solar en verano se produce en los muros este y oeste, y en invierno en el muro sur. Teniendo en cuenta esto, la pared sur del patio es el área más sombreada durante el año, y, por tanto, la habitación detrás de la misma es la empleada durante el verano.

“En Yazd y algunas otras ciudades de la meseta iraní, en el lado del patio donde se proporciona la máxima sombra, hay un gran arco abierto llamado *Iwan* donde generalmente se aloja un colector de viento” (Mahyari, 1996)



Fig. 3.1.1. Patio típico de Yazd con torre de viento sobre el *Iwan* (autor desconocido)

3.2. ORIGEN

Si bien no se ha descubierto información exacta sobre la antigüedad de las torres de viento, estas datan de hace 1.500 años aproximadamente.

A principios del califato abasí (750-1258 d.C), se descubrieron torres de viento, de forma puntual en la zona de la antigua Mesopotamia y de forma mucho más abundante en la actual Irán.

El conocimiento de los antiguos iraníes de las corrientes de aire y la abundancia del sistema en el territorio indica que este fue inventado y desarrollado en Irán.

Además, existen evidencias en la literatura del siglo XIII que describen las torres de viento en el la zona central y noreste de Irán, en las ciudades iraníes de Isphahan, Shiraz, Sirjan, Semnan, Teheran y en la provincia de Khorasan (Tavassoli, 1975). De hecho, hasta el terremoto de 2003, el edificio más antiguo con torres de viento era la ciudadela de Bam, antigua fortaleza situada en el sureste iraní.

Durante la expansión del islam, las torres de viento se fueron extendiendo a distintos países, como Iraq, Siria, Arabia o Pakistan, pero sobre todo tuvo un fuerte calado en Egipto. Alexander Badawy, un reputado arqueólogo egipcio escribió un artículo sobre la historia del aire acondicionado en medio oeste, en el que hacía referencia a la existencia, ya en el antiguo Egipto, de torres de viento desde la época musulmana.

“Era complicado encontrar una casa en el Cairo sin una torre de viento. Algunas eran extremadamente largas y caras, costando de cien a quinientos dinares. Otras, en las casas más pequeñas, eran baratas y no costaban más allá de un dinar” (Baghdadi)

Originalmente, las torres de viento eran conocidas como *Badhanj* (dibujador de viento), término que aparece en los escritos de las historias de las mil y una noches (850 d.C). Finalmente, derivó en *Badgir* (poseedor de viento), como actualmente se le denomina en Irán e Irak. Sin embargo, en los distintos países donde se implantaron son conocidas por otros nombres: *Malqaf* (ladrón de aire) en Egipto y *Badinge* en Siria.



Fig. 3.2.1. Ciudadela de Bam antes del terremoto de 2003 (autor desconocido)

3.3. USOS

- Acondicionamiento de espacios

El uso principal de las torres de viento, en el cual se centra el trabajo, es acondicionar espacios habitables, con la intención de mejorar la sensación de confort de sus ocupantes.

En la gran mayoría de los casos, las torres de viento sirven a espacios interiores, tanto públicos como privados, destacando su uso en viviendas, aunque en menor medida también acondicionan espacios exteriores, como plazas o patios.

- Cisternas

Otro uso de las torres de viento es mantener la circulación natural del aire en las cisternas públicas, además de mantener el agua fría en su interior.

En Irán existen numerosas cisternas, a las que el agua llega de las montañas. El agua llega a través de los *Qnat*, que son infraestructuras hidrológicas que captan el agua de las capas subterráneas y las conducen por galerías que evitan su evaporación.

Si bien todas las cisternas son subterráneas, conectadas a este sistema de canalizaciones, son fácilmente localizables pues sobresalen en la superficie con una cúpula abovedada acompañada por una o varias torres de viento. (Fig. 3.3.1)



Fig. 3.3.1. Cisterna con torres de viento, Irán (autor desconocido)

3.4. FUNCIONAMIENTO

Las torres de viento son una técnica pasiva de refrigeración, usada para enfriar el interior de los edificios, aprovechando el viento exterior para crear una ventilación natural, gracias a un intercambio de aire entre el exterior e interior del mismo.

Su estructura básica consta de una torre hueca elevada con una o varias aberturas enfrentadas a la dirección del viento, que conecta directamente con el espacio interior.

Estructuralmente las torres de viento se dividen en su interior en tantas partes como bocas de entrada de aire tengan, mediante muros verticales. Estas particiones, funcionan como torres, según la dirección del viento. Los canales no terminan a ras del techo, sino que continua hasta la altura de una persona, para que el aire llegue de manera más directa a los ocupantes.

Su funcionamiento es muy básico: El viento entra por uno de los laterales de la torre y desciende a través de canales hacia el interior del edificio. Este aire exterior circula por el interior y empuja el aire caliente, que asciende por los conductos libres, refrigerando el interior del edificio.

Su funcionamiento se basa en dos principios básicos:

- Por un lado, las torres de viento aprovechan las corrientes de aire generadas como consecuencia de la distribución no homogénea de la presión. De esta manera, debido a la diferencia de presión entre la parte superior e inferior de la torre, se produce el movimiento del aire en su interior. Así, el aire frío, más denso, provoca una corriente descendente por la torre.
- Por otro lado, cabe destacar el *efecto Venturi*, por el cual si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, la velocidad aumenta al atravesar esta sección. Por ello, al entrar el viento por el canal de la torre, la velocidad del aire aumenta y sale a una mayor velocidad por el espacio interior del edificio.

Así, se capta el viento exterior y se aprovecha su movimiento como estrategia de pérdida de calor, a la vez que se elimina el aire sobrecalentado del interior del edificio debido a la sobrepresión en el mismo.

Cuando no hay necesidad de uso de la torre de viento, se cubre las aberturas de aire, o se construye una pequeña puerta en la parte inferior de la torre que puede cerrarse.

Cuando no se dan las condiciones climáticas para el funcionamiento de la torre de viento, estas pueden funcionar espontáneamente como chimeneas térmicas de extracción¹, aunque esta no sea su función. (Neila, 2017)

Respecto a su altura, cuanto más alta sea, más fuertes son los vientos, y mejor resultado se obtiene. Por ejemplo, el viento se mueve un 30% más rápido a 15m que a 5m (Neila,2017).

Sin embargo, estudios realizados en Jordania, han demostrado que las torres de viento consiguen efectos bastante relevantes con tan solo 4 metros de altura (Badran,2003). Tanto es así, que el 60% tienen menos de 3 metros de altura sobre el nivel del del techo y solo el 15% se elevan por encima de los 5 metros. (Mahyari, 1996)

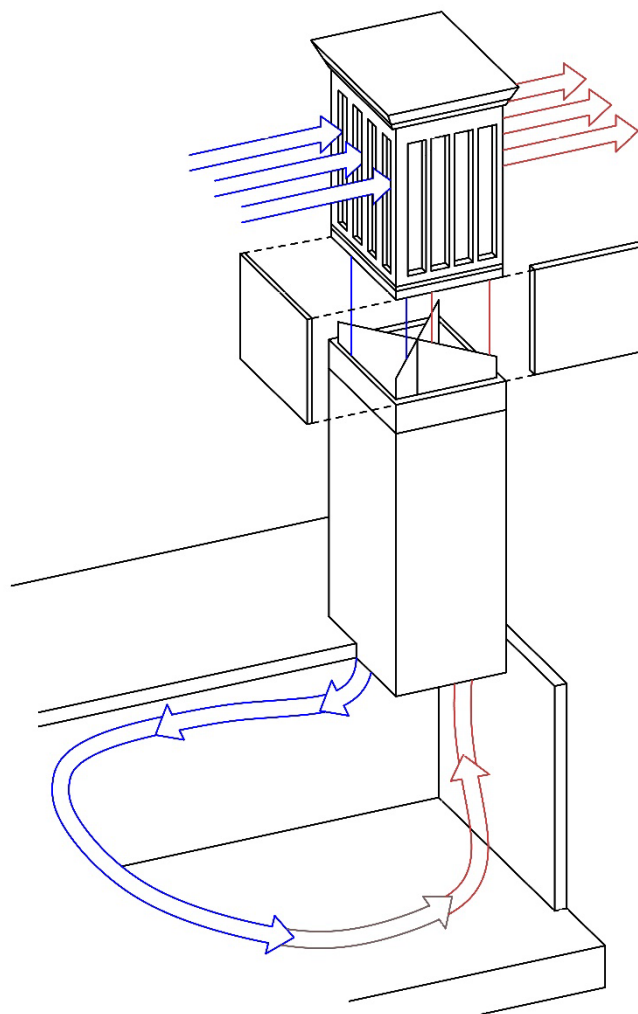


Fig. 3.4.1. Esquema de funcionamiento. Elaboración propia (E. Amade, 2019)

¹ Las chimeneas solares son una técnica de ventilación natural, basada en el aprovechamiento de la radiación solar. Durante el día, la energía solar calienta la chimenea y el aire de su interior, de manera que el aire caliente asciende por la chimenea, refrescando y ventilando el edificio.

3.5. CONSTRUCCIÓN.

El buen funcionamiento del sistema depende en gran medida de la buena ejecución de su construcción.

“Cualquier error por parte del arquitecto puede suponer transportar aire caliente y polvo en lugar del aire frío al interior del edificio.”

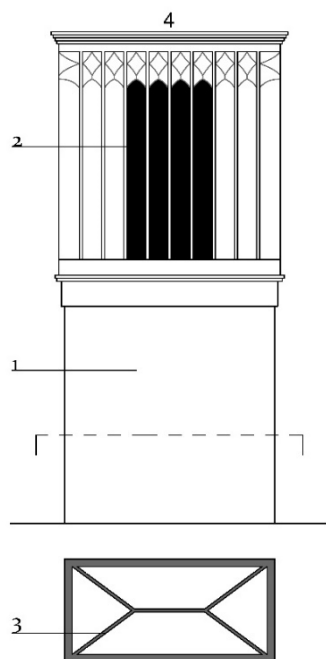
(Tavasolli, 1981)

En la arquitectura tradicional persa, en las áreas del desierto, se empleaba el barro y ladrillos de barro como material principal para su construcción. Esta elección se debía a la falta de otro tipo de materiales, además del bajo coste y buen resultado, gracias a su capacidad de reducir las ganancias de calor. (Shariat Zadeh, 1996)

Con el desarrollo de las torres, comenzaron a usarse otros, como la piedra, el yeso y la madera. Singularmente, en la arquitectura nómada, estos se construyen con tela. (Neila, 2017)

“Un colector de viento típico de Yazd está construido de ladrillo de barro o ladrillo cocido cubierto con yeso de barro o *kah-gel*. El yeso de piedra caliza blanca o *Gach* también se utiliza en las características decorativas externas” (Mahyari, 1996)

Las paredes de piedra o tierra, al tener gran masa térmica, acumulan frescor durante la noche, lo que permite que el primer aire caliente de la mañana lo absorban las paredes.



Las torres de viento se componen de cuatro partes diferenciadas:

1. Columna o cuerpo
2. Boca o aberturas
3. Particiones
4. Techo

Fig. 3.5.1. Partes de la torre. Elaboración propia (Mahmoudi, 2006)

En primer lugar, se levanta la columna usando barro y ladrillos hasta una cierta altura, donde se colocan dos vigas de madera cruzadas entre sí. (Tavasoli, 1996)

A continuación, las paredes perpendiculares a donde irá la entrada de aire, continúan hasta 2-2.5 m de altura, En el caso de tener una única dirección de entrada de aire, el muro que contendrá la abertura se eleva con medio ladrillo de ancho. Por lo general, este muro es unos 50 cm más alto que los otros y tiene particiones para la entrada de aire, llamadas pilares.

Los pilares funcionan como rompevientos, y tienen distintas utilidades: dan una imagen característica a las torres de viento, a la vez que ayudan a la estabilidad de la misma, sobre todo ante el fuerte viento del desierto. Además, en ciudades poco seguras, evita que ladrones puedan acceder al interior a través de las aberturas.

La distancia entre dos pilares o particiones, llamadas bocas, suele ser en torno a 50 cm. El número de aberturas depende del ancho de la habitación (entre 5 y 11)

En el caso de las torres de viento con más de una entrada de aire, para construir las bocas, se coloca un marco de madera en espiral en la parte superior de la torre, que genera divisiones paralelas a las paredes externas.

En las esquinas de la torre, los respiraderos suelen ser nichos decorativos en blanco y tienen la misma forma que los respiraderos abiertos. El número de respiraderos no huecos depende de la disposición de las particiones centrales.

Pese a que la profundidad de la torre es de 1-2.5 m y que los muros exteriores son de carga, debido a la gran esbeltez de las columnas, éstas pueden ser inestables. Por ello, se cuelgan pequeñas vigas de madera, que aumentan la resistencia al corte de la torre y unen la estructura. (Tavasoli, 1981).

“Son varios los motivos por los que se dejan las maderas sobresaliendo de la torre: el primero es para que actúen de andamios que permitan el mantenimiento de la fachada. El segundo motivo es que sirve para colocar telas empapadas de agua, de modo que cuando el viento se introduce por el canal vertical de la torre, se enfría al evaporar el agua. Además, se limpia el polvo que pudiera tener” (Neila, 2017)

Por último, se ejecuta el techo. Se trata de un techo ligero llamado *Chapileh*. Este se construye con ladrillos, en ocasiones en forma de cúpula para ayudar al movimiento del aire. Posteriormente se cubre con una capa de 3 cm de paja.

A veces, se aplana con más paja y barro y se colocan dos o tres filas de ladrillos alrededor del techo para proteger las paredes de la torre de viento de la lluvia.

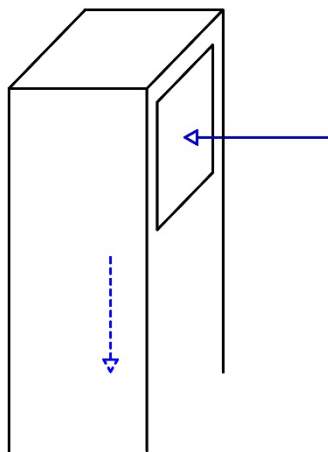
Tradicionalmente, se colocaban unos tazones cerámicos en el techo para recoger el agua de lluvia, aunque a día de hoy se puede drenar a través de tuberías.

3.6. CLASIFICACIÓN

Existen distintos tipos de captador de viento en el mundo.

En función del número de direcciones desde las que puede captar aire, se pueden clasificar en tres grupos. Cuantas más bocas tengan, mayor capacidad tienen para funcionar independientemente de la dirección del viento.

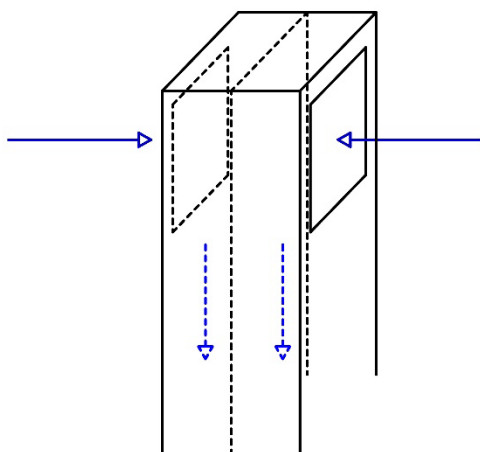
- **Unidireccional** (Fig. 3.6.1, Fig. 3.6.4)



Tiene una única abertura perpendicular a la dirección predominante de los vientos. Generalmente, esta tipología tiene una altura menor que las demás. Se trata de una estructura más simple, y más efectiva en tanto a los costes. Suele utilizarse en zonas o ciudades donde la dirección del viento suele ser siempre la misma, como por ejemplo en Tabas o Aghda. También encontramos este tipo de torres de viento en áreas próximas al mar, pues se colocan enfrentadas a la costa, para poder transferir el viento fresco que proviene del océano.

Fig. 3.6.1. Esquema de ejemplo de torre de viento unidireccional. Elaboración propia.

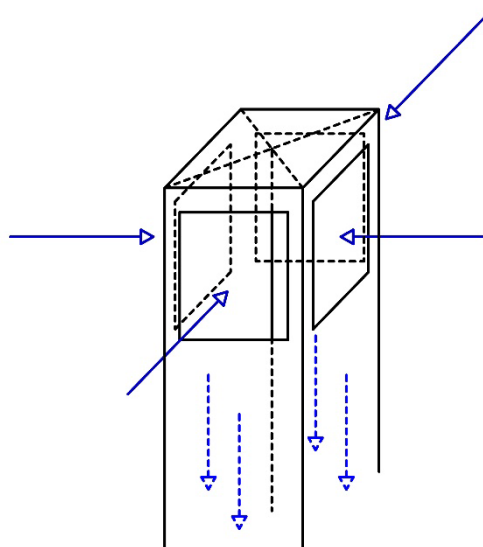
- **Bidireccional** (Fig. 3.6.2, Fig. 3.6.5)



Tiene dos aberturas en la dirección de los vientos predominantes. También se las conoce como Torres de viento gemelas. La torre, en un ejemplo simple, está dividida en dos ejes por una partición vertical y tiene solo dos respiraderos, mientras que el ejemplo más elaborado tiene quince respiraderos a cada lado. A menudo se les llama por sus direcciones, como, por ejemplo, *shomali-gonobi* o torre norte-sur. (Bahadori, 2014)

Fig. 3.6.2. Esquema de ejemplo de torre de viento bidireccional. Elaboración propia.

- **Multidireccional** (Fig. 3.6.3)



Tiene más de dos aberturas, generalmente de cuatro, seis u ocho, siendo la de cuatro la tipología más común. Este tipo de estructuras son más grandes y altas que las otras, y se emplazan en las ciudades que se encuentran en regiones desérticas, como en el caso de Yazd. Se trata de la tipología cuya construcción es más sofisticada y cara.

Fig. 3.6.3. Esquema de ejemplo de torre de viento bidireccional. Elaboración propia.

Se puede encontrar distintas tipologías según su número de lados:

○ **Cuatro lados** (Fig. 3.6.6, Fig. 3.6.7.)

Más de la mitad de los captadores de viento de Yazd son de este tipo. Tanto es así, que son denominados Yazdi.

Si bien existen distintas tipologías en cuanto a división de planta, éstas suelen ser paralelas y perpendiculares a las paredes exteriores. Sin embargo, podemos encontrar algunas con particiones diagonales. Sin embargo, esto es más común en las torres de seis y ocho lados.

Generalmente, en la esquina de las torres, las bocas se encuentran tapiadas y son meramente decorativas, no captando aire a través de ellas.

○ **Seis y ocho lados** (Fig. 3.6.8)

Su utilización es más común en cisternas. Son más costosas y difíciles de construir, por lo que es difícil encontrar ejemplos de las mismas, sobre todo en la arquitectura popular, aunque sí en Palacios y edificios públicos.

○ **Cilíndricas**

Aerodinámicamente son las más efectivas, lo que las convierte en las más eficientes de todas. Sin embargo, su uso es muy poco común debido a que su construcción es la más costosa económicamente y necesita de arquitectos expertos.

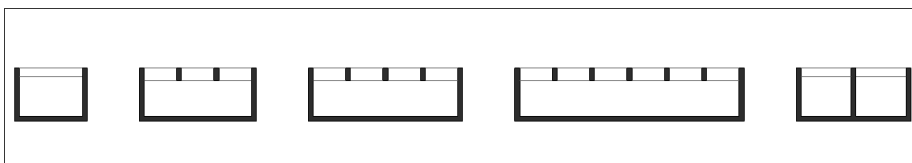


Fig. 3.6.4. Planta típica de torre unidireccional. Elaboración propia (Roaf, 1988)

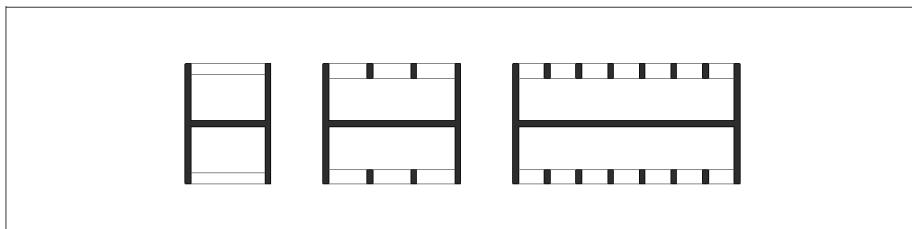


Fig. 3.6.5. Planta típica de torre bidireccional. Elaboración propia (Roaf, 1988)

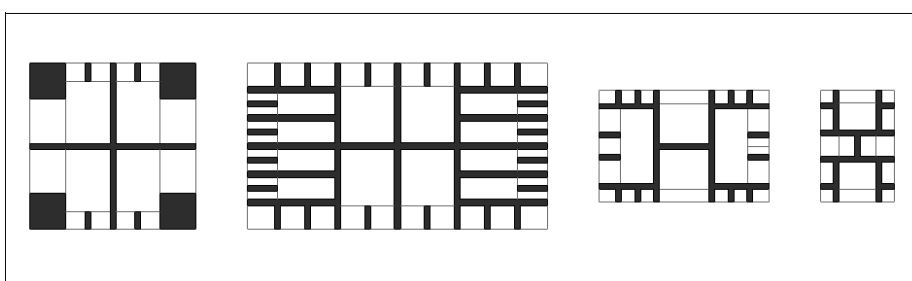


Fig. 3.6.6. Planta típica de torre de cuatro lados. Elaboración propia (Roaf, 1988)

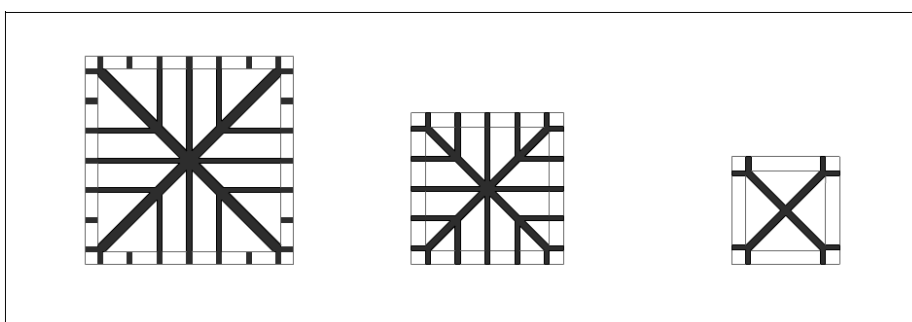


Fig. 3.6.7. Planta típica de torre de cuatro lados diagonal. Elaboración propia (Roaf, 1988)

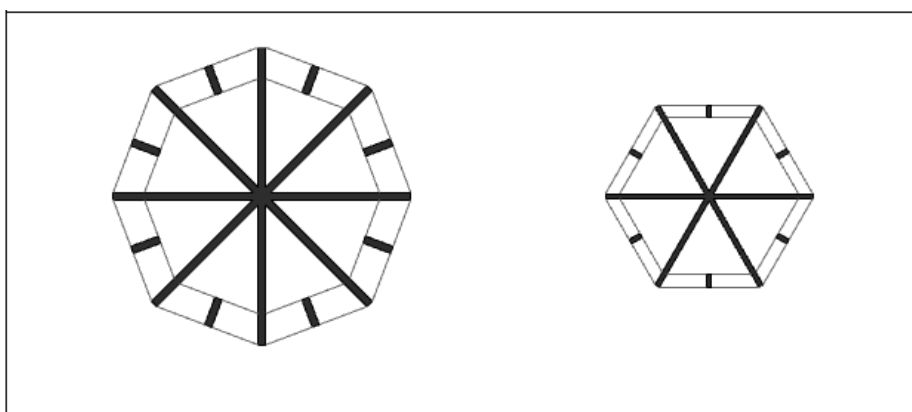


Fig. 3.6.8. Planta típica de torre de ocho y seis lados. Elaboración propia (Roaf, 1988)

3.7. PROBLEMAS ASOCIADOS A SU USO

Las torres de viento tradicionales pueden presentar una serie de problemas e inconvenientes.

1. Dependencia de elementos climáticos: Su funcionamiento está altamente ligado a los recursos naturales de la zona donde estén situados, pues si no existen vientos con velocidades lo suficientemente elevadas o a cierta temperatura, el sistema no funciona. Es decir, los usuarios no tienen el control para poder activar o desactivar el sistema, ni controlar su potencia, a diferencia de los aparatos eléctricos contemporáneos.
2. Entrada de polvo, insectos, o pájaros por los orificios de la torre. Sin embargo, existen distintas soluciones adoptadas para evitar este problema, como la colocación de filtros o paños húmedos en la boca de las torres.

Ante estos problemas asociados a las torres de viento convencionales, la arquitectura tradicional ha ido desarrollando variantes que buscan solventar estos problemas, como los modelos mixtos.

3.8. MODELOS MIXTOS

Como solución a los problemas relacionados con las torres de viento, han surgido algunas variantes que incorporan elementos dependientes de fuentes energéticas auxiliares, que mejoran la eficiencia de las torres.

Las torres de viento son sistemas energéticos pasivos, cuya principal virtud es su independencia de fuentes de energía no naturales. Sin embargo, la incorporación de estos elementos lleva asociado un consumo energético externo. Por tanto, dejan de ser sistemas pasivos, a ser sistemas activos, perdiendo su principal virtud.

Sin embargo, en la realidad funcionan como sistemas mixtos, pues su fuente energética principal es la natural, y estos sistemas complementarios pueden desactivarse cuando no sean necesarios y seguir funcionando como elemento pasivo.

Torres de viento de caudal forzado.

Cuando no es suficiente la velocidad de flujo de aire, o este no es constante, es común la colocación de un ventilador en la parte superior de la torre. Con ello se aumenta el caudal de aire lo suficiente como para asegurar el funcionamiento del sistema. (Fig. 3.8.1)

Torres de viento evaporativas.

Este tipo de torres, es común en climas muy secos, con humedades relativas bajas, pues el uso de sistemas de humidificación aumenta el enfriamiento.

Se colocan sistemas de humidificación evaporativos en el interior de la misma. El aire exterior pasa por el humidificador, cediendo parte de su energía al agua, que se evapora, disminuyendo así la temperatura del aire que circula hacia el interior.

Actualmente, pueden distinguirse dos tipos.

- a) Torre de viento con pantallas húmedas: se colocan en la entrada de aire de la torre unas pantallas humedecidas que producen la refrigeración adiabática. Además, solucionan los problemas de entrada de arena y demás partículas. Este tipo de diseños es favorable para zonas con una sola dirección del viento o vientos inferiores a 14 km/h, (Bahadori, 2008). (Fig.3.8.2)
- b) Torres de viento con micronizadores de agua: compuestos por varias columnas con sistemas de humidificación. Este sistema es favorable en zonas donde el viento sopla a velocidades superiores a 14 km/h, (Bahadori, 2008). (Fig. 3.8.3)

Tras el análisis de las torres de viento de la mezquita de la Universidad de Yadz, de tipo convencional, evaporativa con Pantallas y evaporativa con columna de agua, se concluyó que los sistemas evaporativos lograban temperaturas mucho más bajas que las torres convencionales. (Bahadori, 2008)

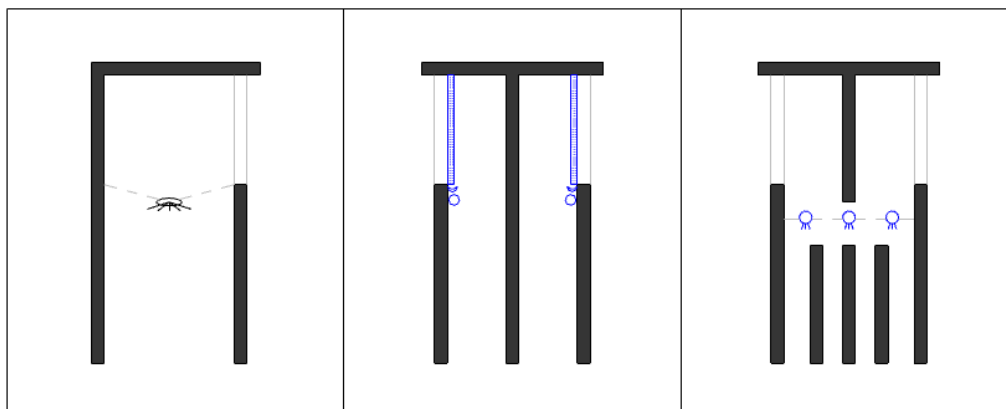


Fig. 3.8.1. Esquema de torre de viento de caudal forzado. Elaboración propia.

Fig. 3.8.2. Esquema de torre de viento evaporativa de pantallas. Elaboración propia.

Fig. 3.8.3. Esquema de torre de viento evaporativa de micronizadores de agua. Elaboración propia.

3.9. MODELOS SEGÚN LOCALIZACIÓN

Las torres de viento se encuentran en diversos países y, en cada una de ellos, se desarrolla un tipo de torre distinta.

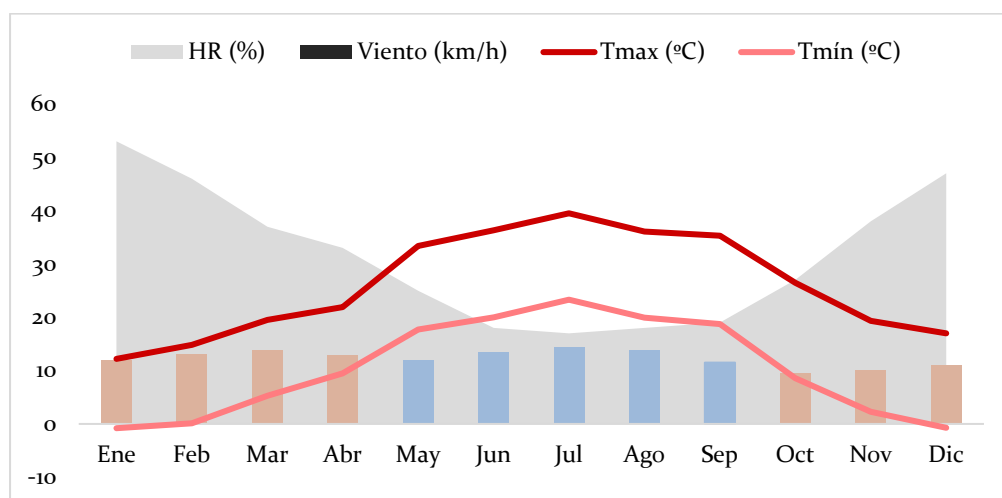
Estas variaciones hacen de cada modelo un elemento propio de la arquitectura tradicional de la zona, además de ser una respuesta directa al clima específico de cada lugar, especialmente de la dirección predominante de los vientos.



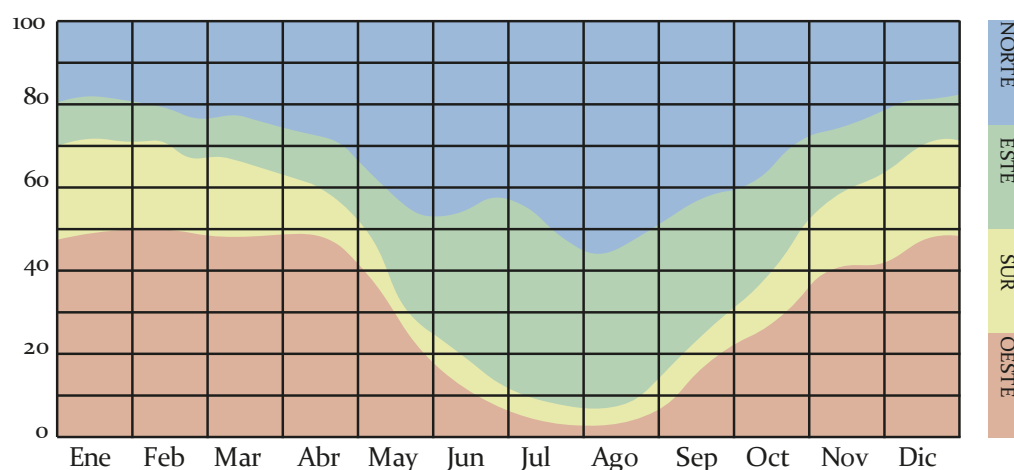
Fig 3.9.1. Áreas con torres de viento tradicionales. Elaboración propia. (Roaf, 1988)

TORRES DE VIENTO EN LA ZONA CENTRAL DE IRÁN

El clima en Yazd

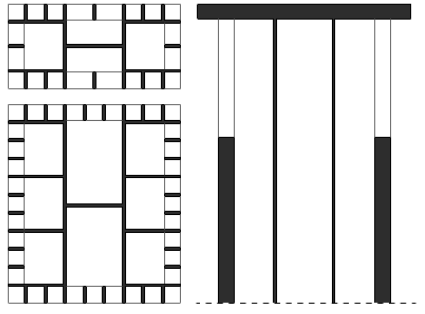


- Dirección del viento:



	Tmax (°C)	Tmín (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	Dirección ppal. viento
Ene	12,2	-0,8	53	12	O
Feb	14,8	0,1	46	13	O
Mar	19,5	5,3	37	13,8	O
Abr	21,9	9,5	33	12,8	O
May	33,4	17,7	25	12	NO
Jun	36,3	20	18	13,5	NE
Jul	39,5	23,3	17	14,4	NE
Ago	36,1	19,9	18	13,8	NE
Sep	35,3	18,7	19	11,5	NO
Oct	26,5	8,6	27	9,5	O
Nov	19,3	2,3	38	10	O
Dic	17	-0,7	47	11	O

Descripción

Localización	Irán central	
Ciudades	Yadz, Teheran, Kashan, Isfahan, Kermán, Shiraz	
Nombre	Bagdir	
Clima	Cálido seco	
Dirección viento en verano	NE	
Tipología	Bidireccional	
Dirección frente al viento	Diagonal	
Dimensiones	-	
Altura	4 m	
Inclinación del tejado	-	
Sistemas evaporativos	A veces	

En Irán, el uso de las torres de viento no se limita a viviendas, sino que también se pueden ver en cisternas de agua, mezquitas y minas.

Encontramos gran variedad de tipologías tanto en la forma de la planta de la torre como en el número de aberturas de la misma. Sin embargo, la más común son las torres “Yadzi”, torres de planta cuadrada capaces de captar el aire desde todos sus lados, de entre 3 y 5 m de altura.

La localización de las mismas varía según el caso, pudiendo colocarse encima de habitaciones interiores, o asociadas a espacios semiabiertos, como el *Iwan*.

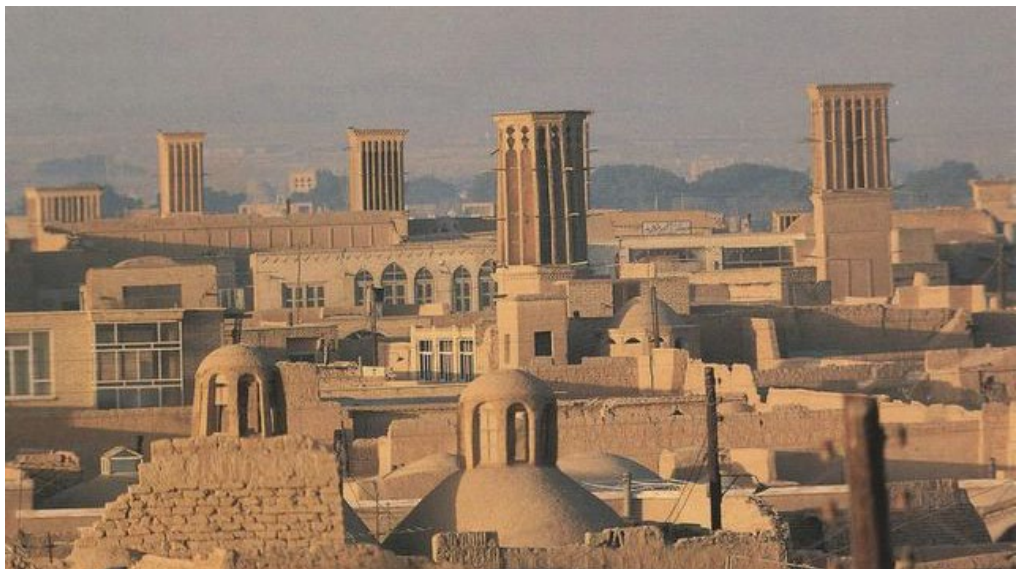
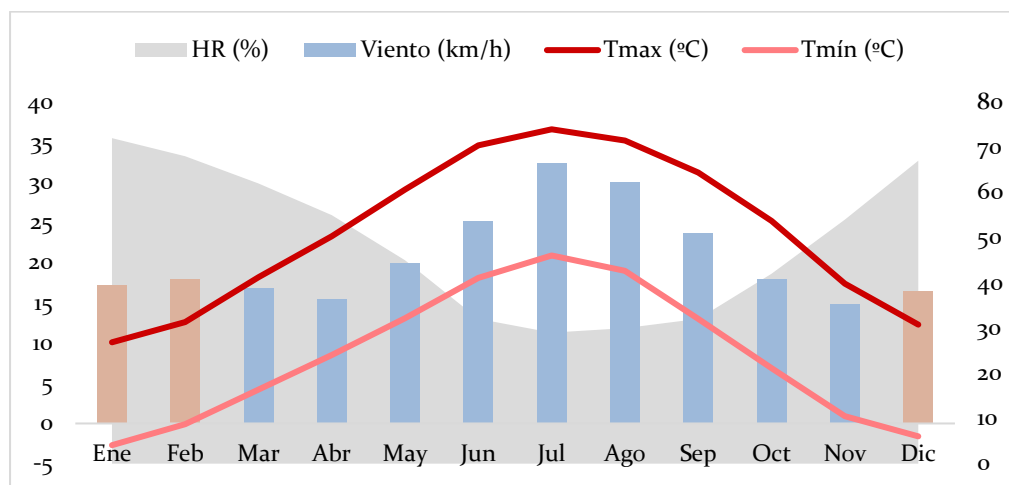


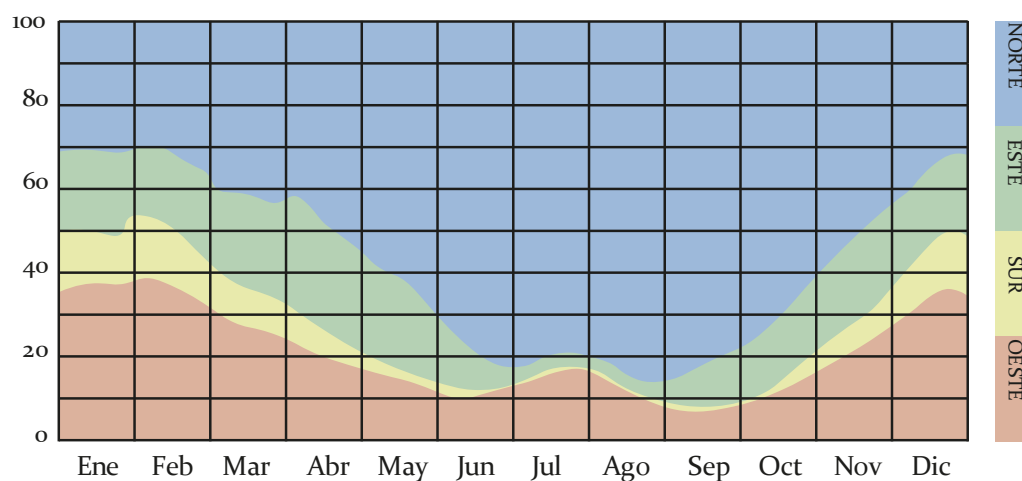
Fig. 3.9.2. Torres de viento en Yazd (autor desconocido)

TORRES DE VIENTO EN EGIPTO: MALQAF

El clima en el Cairo

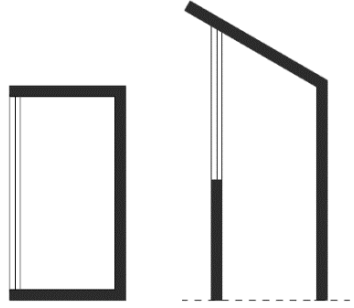


- Dirección del viento:



	Tmax (°C)	Tmín (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	Dirección ppal. viento
Ene	18,9	9	59	13	O
Feb	20,4	9,7	54	14	O
Mar	23,5	11,6	53	15,8	N
Abr	28,3	14,6	47	15,8	N
May	32	17,7	46	16	N
Jun	33,9	20,1	49	16,2	N
Jul	34,7	22	58	15	N
Ago	34,2	22,1	61	13,8	N
Sep	32,6	20,5	60	14,5	N
Oct	29,2	17,4	60	13	N
Nov	24,8	14,1	61	12,7	N
Dic	20,3	10,4	61	12,8	O

Descripción

Localización	Egipto	
Ciudades	El Cairo	
Nombre	<i>Malqaf</i>	
Clima	Cálido seco	
Dirección viento en verano	N	
Tipología	Unidireccional	
Dirección frente al viento	Perpendicular	
Dimensiones	-	
Altura	Una planta por encima del tejado	
Inclinación del tejado	30°	
Sistemas evaporativos	A veces	

En Egipto, las torres de viento, conocidas como *Malqaf*, consisten en un eje elevado sobre el edificio con planta rectangular. Debido a la marcada dirección del viento del norte en verano, son torres unidireccionales. La parte superior de la estructura está cubierta por una placa inclinada de 30°, que conduce el aire hacia el eje.

Hay varias formas diferentes de *Malqaf* en las casas de El Cairo. En una casa grande el *Malqaf* aparece sobre el cuarto de verano de la casa, uniendo su habitación a través de un pozo. Sin embargo, hay algunos *Malqaf* de estilo turco del siglo XIX en El Cairo, en los que los respiraderos están directamente vinculados a las habitaciones de abajo a través de un agujero en el techo. (Petherbridge, 1978)

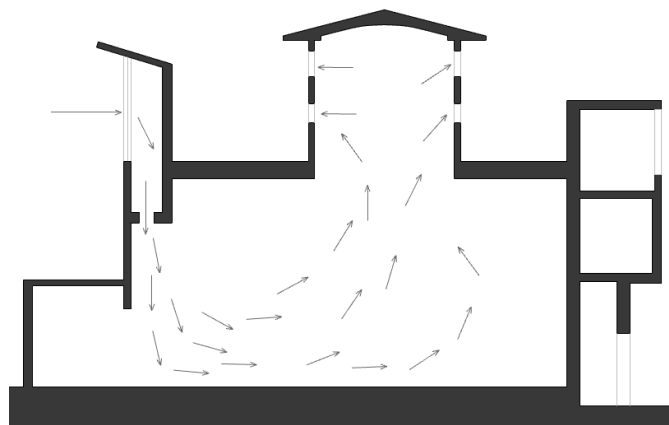


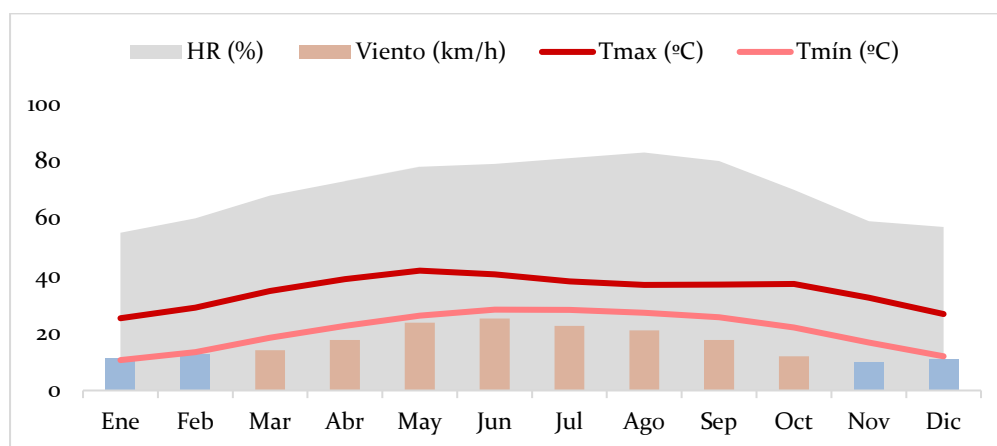
Figura 3.9.3. Movimiento del aire en vivienda tipo. Elaboración propia. (Faithy, 1970)



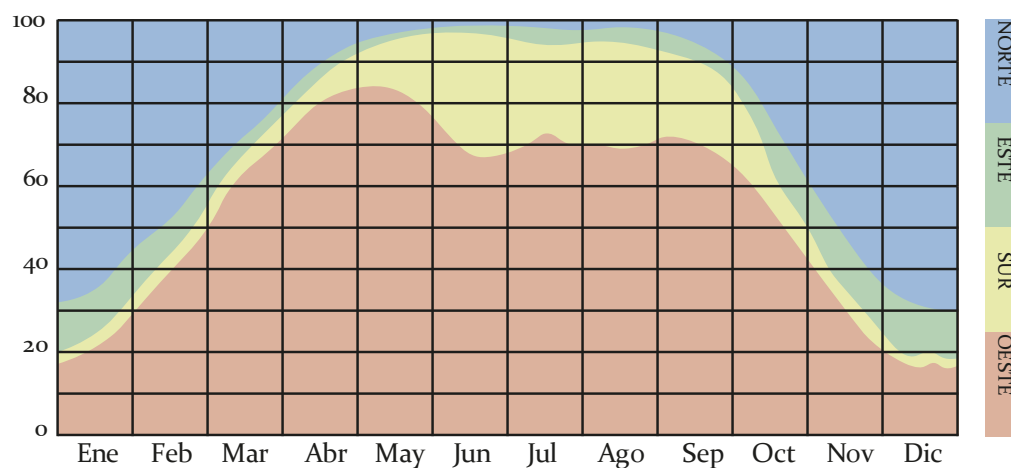
Fig. 3.9.4. Boca de *Malqaf* (Faithy, 1970)

TORRES DE VIENTO EN PAKISTAN: PALAS DE VIENTO

El clima en Hyderabad

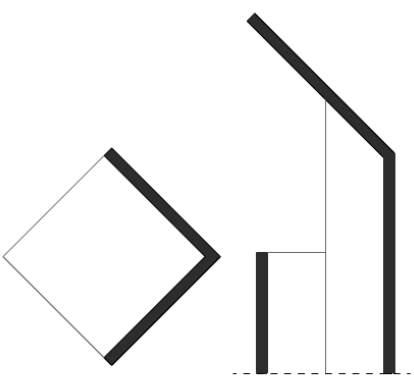


- Dirección del viento:



	Tmax (°C)	Tmín (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	Dirección ppal. viento
Ene	25,2	10,6	55	11,5	N
Feb	28,9	13,4	60	12,6	N
Mar	34,7	18,4	68	14,1	O
Abr	38,8	22,5	73	17,6	O
May	41,8	26,1	78	23,6	O
Jun	40,5	28,2	79	25,1	O
Jul	38,1	28,1	81	22,5	O
Ago	36,8	27,1	83	21	O
Sep	36,9	25,6	80	17,6	O
Oct	37,2	22	70	11,9	O
Nov	32,3	16,7	59	10,1	N
Dic	26,7	11,9	57	11	N

Descripción

Localización	Pakistán	
Ciudades	Hyderabad	
Nombre	Palas de viento	
Clima	Cálido húmedo	
Dirección viento en verano	SO	
Tipología	Bidireccional	
Dirección frente al viento	Diagonal	
Dimensiones	1x1 m	
Altura	5m	
Inclinación del tejado	45°	
Sistemas evaporativos	No	

En el casco antiguo de la ciudad de Hyderabad existen numerosas “Palas de viento” desde hace más de 500 años.

"Todas las casas desde el palacio del gobierno hasta las casetas de los cerdos tienen captadores de viento". (Pottinger,1816)

Las palas de viento tienen cabeza de torre cuadradas de 1x1 m y 5 m de altura, rodeadas de dos placas verticales que se elevan por encima de la cruz. De nuevo, la torre se orienta hacia la dirección predominante del viento, en este caso, diagonalmente hacia los vientos del suroeste. En su cúspide, el techo tiene una pendiente de 45°.

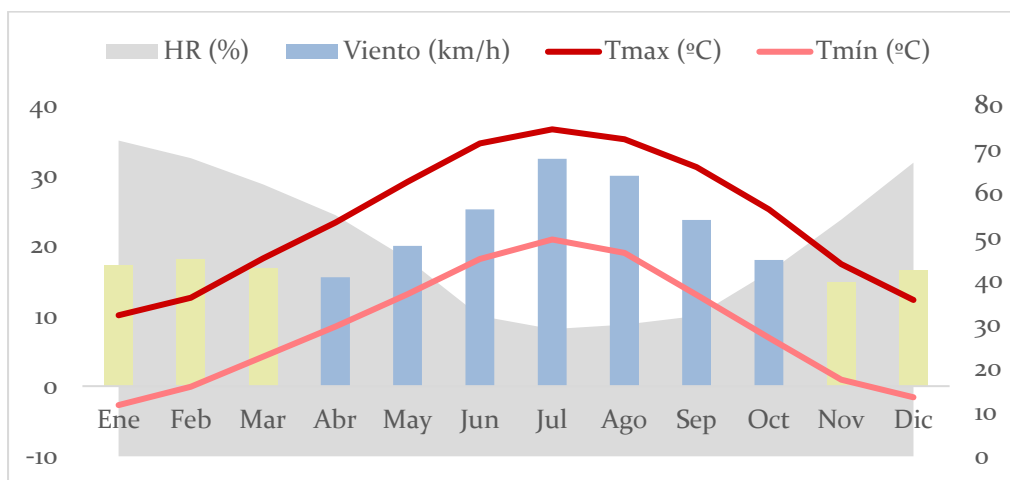
Las torres se montan encima de un "cuarto de viento" desde el cual se introduce aire en el espacio habitable y pueden estar separados por trampillas. (Bourgeois, 1983).



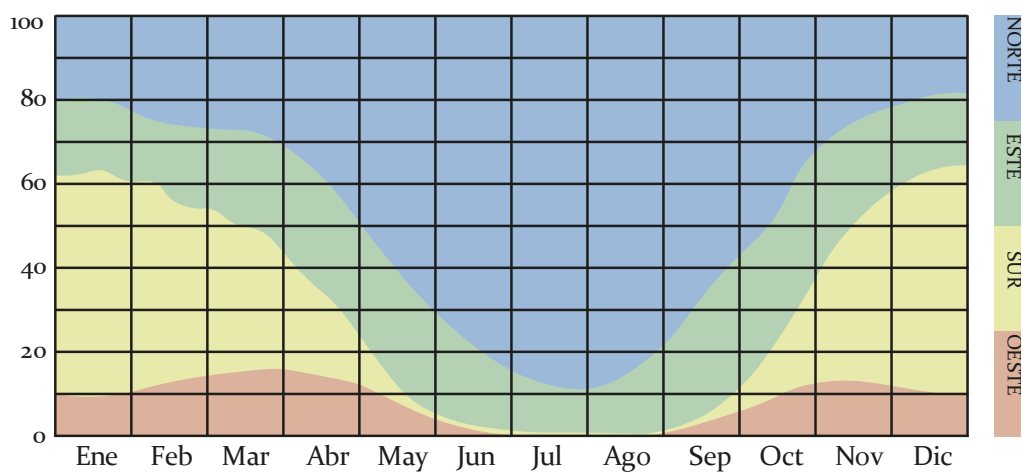
Fig. 3.9.5. Palas de viento en Hyderabad (Alfred Nawrath, 1938)

TORRES DE VIENTO EN AFGANISTÁN

El clima en Herat

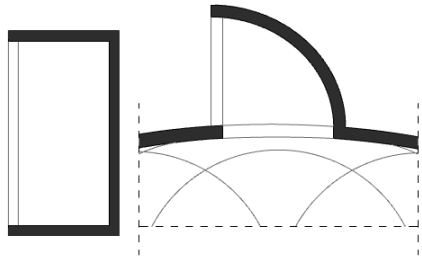


- Dirección del viento:



	Tmax (°C)	Tmín (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	Dirección ppal. viento
Ene	10,1	-2,7	72	17,2	S
Feb	12,6	-0,1	68	18	S
Mar	18,2	4,2	62	16,8	S
Abr	23,3	8,5	55	15,5	N
May	29,1	13,1	45	20	N
Jun	34,6	18,1	32	25,2	N
Jul	36,6	20,9	29	32,4	N
Ago	35,2	19	30	30	N
Sep	31,2	13	32	23,7	N
Oct	25,2	6,9	42	18	N
Nov	17,4	0,9	54	14,8	S
Dic	12,3	-1,6	67	16,5	S

Descripción

Localización	Afganistán	
Ciudades	Herat	
Nombre	-	
Clima	Semi-cálido húmedo	
Dirección viento en verano	N	
Tipología	Unidireccional	
Dirección frente al viento	Perpendicular	
Dimensiones	1x1 m	
Altura	1,5 desde el tejado	
Inclinación del tejado	30º	
Sistemas evaporativos	No	

Si bien el uso de torres de viento en Afganistán se limita a las zonas cercanas a la frontera iraní y la ciudad de Herat, existe una tipología propia del lugar. Se trata de torres unidireccionales, orientadas a la dirección del viento en verano, el Norte. Las torres son de planta cuadrada, y 1.5 m de altura máxima desde el tejado.

Como rasgo distintivo, las torres de viento suelen colocarse sobre espacios cuyo techo tiene forma abovedada, lo cual mejora la circulación del aire.



Fig. 3.9.6. Torre de viento Afganistán (autor desconocido)

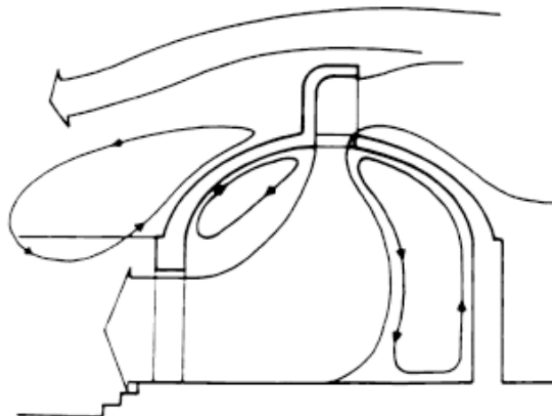
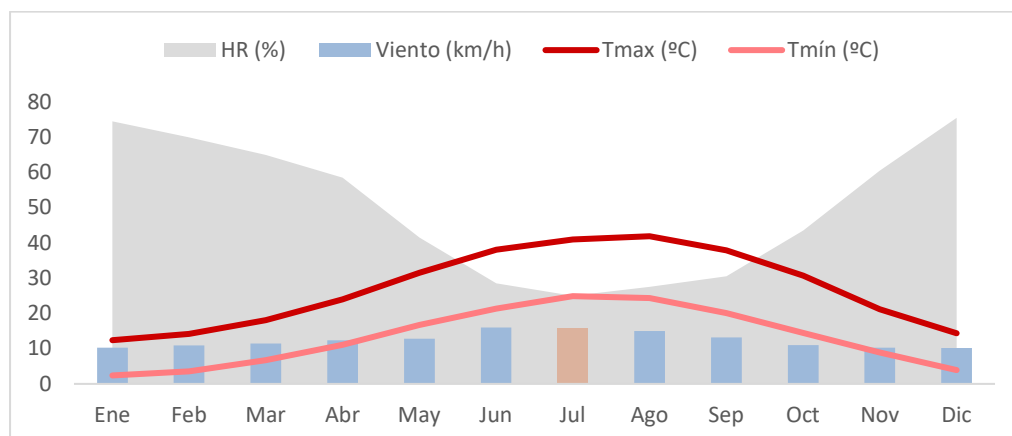


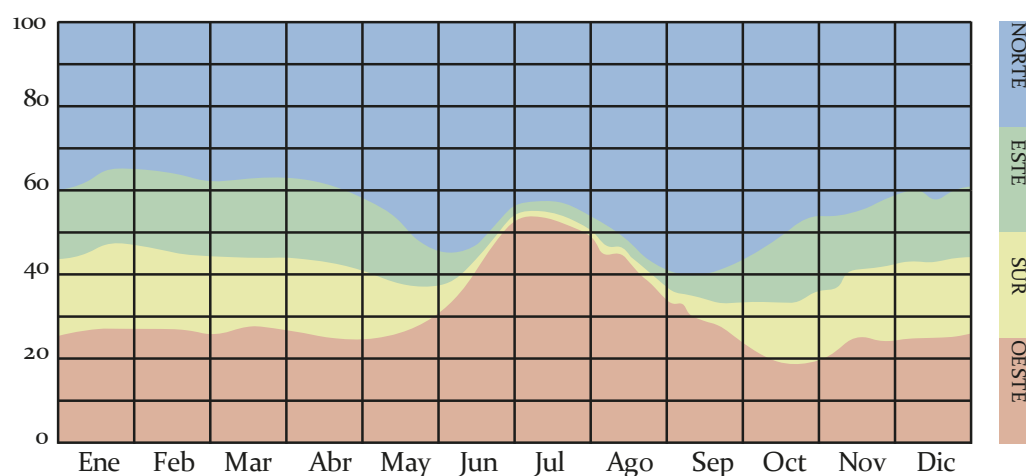
Fig. 3.9.7. Circulación del aire en vivienda en Afganistán (Asadi Tousi)

TORRES DE VIENTO EN IRAQ

El clima en Bagdad

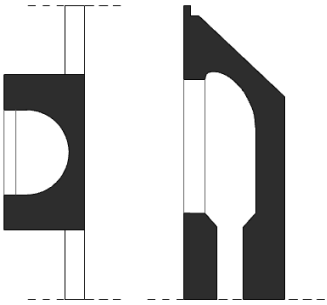


- Dirección del viento:



	Tmax (°C)	Tmín (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	Dirección ppl. Viento
Ene	12,4	2,4	74,5	10,3	N
Feb	14,2	3,6	70	10,9	N
Mar	18,1	6,7	65	11,5	N
Abr	24	11,1	58,5	12,4	N
May	31,5	16,7	41,5	12,8	N
Jun	38,1	21,4	28,5	16	NO
Jul	41	24,9	25	15,8	NO
Ago	41,9	24,4	27,5	15	NO
Sep	37,9	20,1	30,5	13,2	N
Oct	30,7	14,5	43,5	11	N
Nov	21,2	8,9	60,5	10,3	N
Dic	14,4	3,9	75,5	10,2	N

Descripción

Localización	Iraq	
Ciudades	-	
Nombre	Bagdad Az Zubayr	
Clima	Cálido seco	
Dirección viento en verano	NO	
Tipología	Unidireccional	
Dirección frente al viento	Perpendicular	
Dimensiones	0.8x0.4	
Altura	2	
Inclinación del tejado	45°	
Sistemas evaporativos	A veces	

Las torres de viento iraquíes son parte de la propia pared de ladrillo, a la cual se le realiza una o varias cavidades para la entrada de aire, de unos 20-50 cm de ancho y 50-100 cm de largo. Además, el techo de la torre tiene una inclinación de 45°.

La distribución de las viviendas típicas de Iraq es tal que se generan espacios de uso para las distintas épocas del año. Las torres de viento, como elemento refrigerador que son, se sitúan sobre las “salas de verano”, enfrentadas a los vientos del noroeste, los predominantes en esta época del año.

En ocasiones, las entradas de aire se conectan con pozos verticales que unen el techo con el sótano.

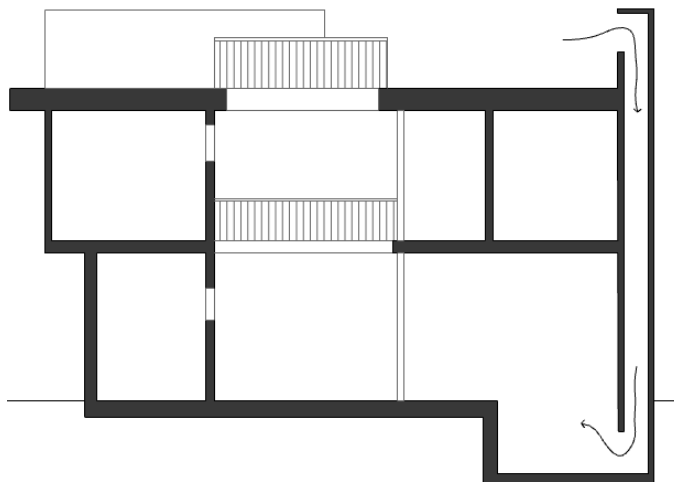


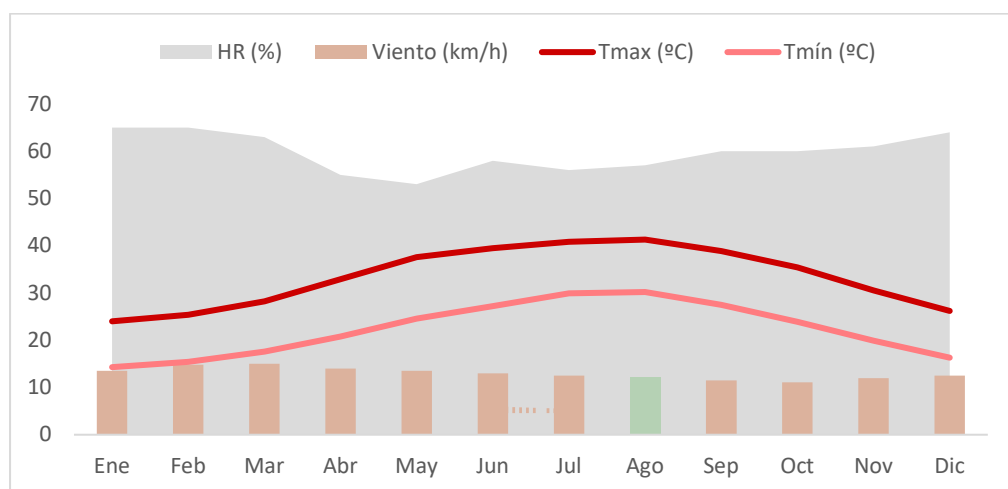
Fig. 3.9.8. Esquema vivienda con torre de viento en Iraq
Elaboración propia. (Pottinger,1988)



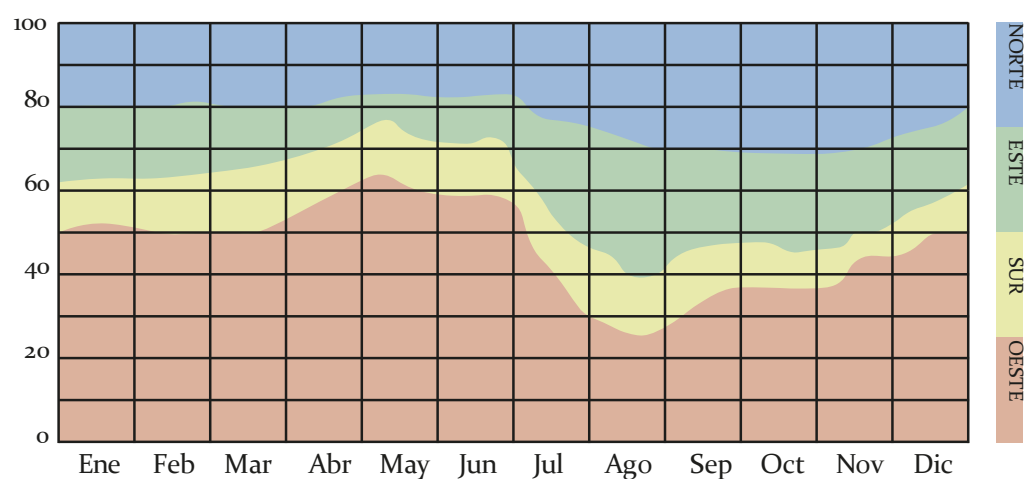
Fig. 3.9.9. Torre viento Iraq
(autor desconocido)

TORRES DE VIENTO EN LA COSTA DEL GOLFO PÉRSICO

El clima en Dubái

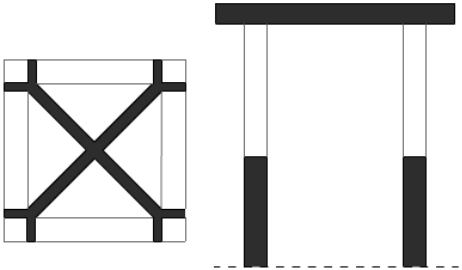


- Dirección del viento:



	Tmax (°C)	Tmín (°C)	HR (%)	Viento (km/h)	Dirección ppal. viento
Ene	24	14,3	65	13,5	O
Feb	25,4	15,4	65	14,8	O
Mar	28,2	17,6	63	15	O
Abr	32,9	20,8	55	14	O
May	37,6	24,6	53	13,5	O
Jun	39,5	27,2	58	13	O
Jul	40,8	29,9	56	12,5	E-O
Ago	41,3	30,2	57	12,2	E-O
Sep	38,9	27,5	60	11,5	O
Oct	35,4	23,9	60	11,1	O
Nov	30,5	19,9	61	12	O
Dic	26,2	16,3	64	12,5	O

Descripción

Localización	Arabia Saudí	
Ciudades	Bastakia, Bushehr, Kuwair, Bahrein, Dubái, Bandar-e-Abbas	
Nombre	-	
Clima	Cálido húmedo	
Dirección viento en verano	E-O	
Tipología	Multidireccional	
Dirección frente al viento	Diagonal	
Dimensiones	1x1	
Altura	4	
Inclinación del tejado	-	
Sistemas evaporativos	No	

Los captadores de viento de las poblaciones costeras del Golfo Pérsico son muy similares a los de Irán. Esto se debe a que hace más de 120 años, algunos mercaderes de Bastak (Irán) migraron a Dubái para comerciar. Cuando el primer grupo de Bastakies llegó a Dubái, crearon un barrio para ellos llamado Bastakieh, donde construyeron torres de viento. Por este motivo, la arquitectura de este lugar lleva el sello del estilo iraní, derivado de la antigua arquitectura de Yazd. (Bahadori, 2014).

Actualmente, las torres se han convertido en un reclamo turístico, y se realizan réplicas en Dubái, cuya funcionalidad sólo es decorativa.

Sin embargo, en Bandar-e-Abbasi las torres de viento buscan aprovechar el viento del océano, a través de una única abertura en dirección al mar. Para humedecer aún más el aire y, por lo tanto, enfriarlo por evaporación, las torres son de tela y están equipadas con esteras sueltas de caña o bambú parcialmente tejidas en los respiraderos, que con frecuencia se humedecen en las tardes de verano.



Fig. 3.9.10. Torres de viento en Bastakieh (Richman, 2011)



Fig. 3.9.11. Torre de viento ornamental en Dubái (Neila, 2017)



Fig. 3.9.12. y Fig. 3.9.13. Torre de viento de tela en Dubái (Neila, 2017)

4. TORRES DE VIENTO CONTEMPORÁNEAS

En la actualidad, si bien su práctica no está extendida, podemos encontrar diversos arquitectos e ingenieros que han mostrado interés en el potencial de la aplicación de las torres de viento en la arquitectura contemporánea.

Actualmente, en la práctica, aplicación y desarrollo de los principios y conceptos de las de las torres de viento, encontramos dos ramas o vías de relectura contemporánea; volviendo al origen de las mismas o como parte de la solución técnica para el avance de los dispositivos de acondicionamiento.

1. Integración de torres de viento o sistemas que apliquen sus principios básicos en el diseño de edificios o espacios públicos.
2. Sustitución del mecanismo del aire acondicionado por otro dispositivo con una eficiencia mucho mayor gracias a la aplicación de los conceptos de la torre de viento.

4.1. EJEMPLOS CONTEMPORÁNEOS DE DISEÑO

EXPO SEVILLA 92'

Localización	Isla de la Cartuja, Sevilla (España)
Arquitecto	J.M. Hennin y G. Lippsmeier.
Año de construcción	1992
Espacio a refrigerar	Exterior
Tipología	Torre de viento evaporativa

En la avenida Europa de la Exposición Universal de Sevilla, se colocaron doce torres de viento, cuyo objetivo era acondicionar térmicamente el paseo y zonas comunes.

Las torres eran estructuras de 20 m de altura, con un dispositivo fijo captador de viento de manera unidireccional (suroeste) en su parte superior, y equipadas con micro nebulizadores distribuidos en nueve secciones a distintas alturas, agrupadas en cuatro circuitos independientes, que favorecían el enfriamiento del aire, y su descenso a las zonas comunes. Este sistema, podía regularse en función del viento, así como la temperatura y humedad exteriores.

Posteriormente, La efectividad de las mismas fue evaluada por el CINEMAT, concluyéndose que, pese a los grandes esfuerzos, el comportamiento final de las torres no obtuvo el resultado deseado, logrando una reducción máxima de 4°C.

Esto fue debido a diversos motivos, entre los que destacan la pérdida de eficiencia al no hacer un estudio individualizado de cada torre, la falta de un sistema que facilitase el mantenimiento de las mismas, así como una estructura interior de barras que afectaba al comportamiento de la nube micronizada, produciendo goteo en la parte inferior (Soutillo,2012)

Sin embargo, es innegable el valor de esta actuación como intento de recuperación de un sistema pasivo energético que aclimatase un espacio urbano.



Fig. 4.1.1 Interior torre de viento de Expo Sevilla 92' (Serrano, 2017)



Fig. 4.1.2. Torres de viento en Avenida de Europa, Expo Sevilla 92' (autor desconocido)

CENTRO CULTURAL JEAN MARIE TJIBAOU

Localización	Nueva Caledonia, Pacífico Sur (Colonia Francesa)
Arquitecto	Renzo Piano
Año de construcción	1993
Espacio a refrigerar	Interior
Tipología	Torre de viento-Chimenea solar

El centro cultural Tjibaou, basado en la arquitectura de los nativos Kanak, tiene un sistema de ventilación pasiva.

Para lograrlo, el edificio se sitúa en la cima de una colina, enfrentada al predominante viento del sur. Para una mayor captación del viento, se distribuye el arbolado de manera que el viento pueda acceder fácilmente al edificio por el lado sur, y árboles altos al este y oeste, que canalicen el viento.

Así, se disponen, a lo largo de una suave curva, diez cajas de madera de diferentes tamaños, diseñadas con un sistema de doble piel de madera (Fig. 4.1.5), que genera una estructura vertical por donde el aire circula entre ambas capas.

La cubierta exterior está formada por listones de madera espaciados entre sí, para lograr las corrientes de convección deseadas. Las rejillas son ajustables para controlar la ventilación dentro del edificio, abriéndose y cerrándose en función de la dirección e intensidad del viento.

El viento es inducido al edificio, y gracias al efecto Venturi, el aire es expulsado a través de la parte superior del techo inclinado. Dado que el aire caliente sube a la parte superior, esta acción de expulsar el viento al mismo tiempo llevará el aire caliente fuera del edificio. Sin embargo, el sistema funciona también en caso de que el viento sople en la dirección contraria. (Fig. 4.1.3)

El edificio es una perfecta relectura de las torres de viento, pues funciona de manera muy similar, aplicando los mismos principios. Sin embargo, el aire se introduce desde la zona baja del edificio, y no desde la propia “torre”.

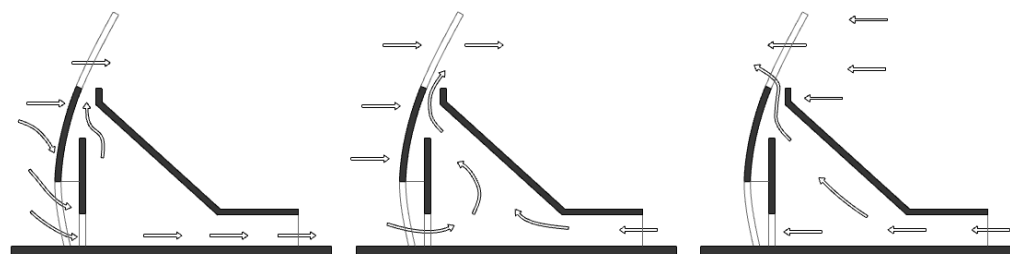


Fig. 4.1.3. Circulación del aire en el Centro Cultural Tjibaou



Fig. 4.1.4. Centro cultural Tjibaou (autor desconocido)



Fig. 4.1.5. Sistema de doble piel (autor desconocido)

TORRES “ÁRBOLES DE AIRE”

Localización	Bulevar Ensanche Vallecas, Madrid (España)
Arquitecto	Ecosistema Urbano Arquitectos
Año de construcción	2002
Espacio a refrigerar	Exterior
Tipología	Torre de viento evaporativa

En el bulevar del Ensanche de Vallecas, de dirección N-S, se colocaron tres estructuras cilíndricas denominadas “Árboles de aire”. Las torres tenían como objetivo funcionar como espacios abiertos públicos, donde se mejorasen las condiciones ambientales de la zona, de manera temporal, hasta que la vegetación natural fuera suficiente para poder garantizar el confort.

El Árbol Sur era una estructura está formada por otras 16 estructuras cilíndricas montadas sobre un armazón cilíndrico, que actuaban como torres de viento evaporativas.

Cada una de estas torres constaba de un captador de viento, una corona de micronizadores de agua para la refrigeración evaporativa y un ventilador, que aumentaba la velocidad del aire cuando era necesario. Por su parte, el aire descendente por la torre salía hacia el interior del “árbol” por los difusores situados en su zona inferior, mejorando la sensación de confort en su interior.

“Cuando funcionan los sistemas de humidificación y ventilación, en la zona peatonal bajo el “Árbol de Aire” y a 1 m de altura, la temperatura llega a ser hasta 7 °C más baja que la ambiente, con un valor promedio de 4 °C.” (Soutillo, 2012)



Fig. 4.1.6. Ensanche de Vallecas antes de la retirada de los “Árboles de Aire”



Fig. 4.1.7. Árbol Sur Ensanche de Vallecas antes de su retirada

SOHARABJI GODREJ – GEEN BUSSINES CENTRE

Localización	Hyderabad (India)
Arquitecto	Karan Grover
Año de construcción	2004
Espacio a refrigerar	Interior
Tipología	Torre de viento evaporativa

La Confederación de la Industria India (CII), ante una creciente conciencia sobre la sostenibilidad, encargó el diseño de un centro tecnológico, con el objetivo de ser un manifiesto de los nuevos estándares de la construcción sostenible, un organismo que se beneficiase de la eficiencia de las estructuras naturales sin imitarlas.

Gracias a esto, GBC es el primer edificio en la India con clasificación platino en el USA Green Building Council.

Si bien son numerosas las técnicas pasivas y de ahorro energético empleadas, que mantienen el clima interior confortable con apenas coste energético-económico, cabe destacar la torre de viento.

El edificio consta de una torre de viento multidireccional que capta el viento en cuatro direcciones a través de las aberturas de su parte superior, y lo introduce a las estancias interiores. La torre no se encuentra sobre los espacios a los que sirve, sino que se separa ligeramente del edificio, conectada a través de un pasillo.

Durante el día, el aire exterior es enfriado gracias a rociadores que promueven el enfriamiento evaporativo y es introducido en las habitaciones, las cuales tienen una salida de aire, que genera una corriente dentro de la estancia. Durante la noche, las torres funcionan al sentido inverso, expulsando el aire caliente acumulado durante el día.



Fig. 4.1.8. Green Business Centre, India (Karan Grover,2004)



Fig. 4.1.9. Conexión entre la torre y el edificio a través de pasillo (Karan Grover,2004)

MELBOURNE COUNCIL 2 (CH2)

Localización	Melbourne (Australia)
Arquitecto	Mick Pierce
Año de construcción	2006
Espacio a refrigerar	Interior
Tipología	Torre de viento evaporativa

CH2 es un edificio de oficinas en altura situado en Melbourne, con seis estrellas en la acreditación ambiental Green Star.

Este reconocimiento es debido a la gran integración de estrategias de rendimiento con la arquitectura.

“Cada aspecto del edificio ha sido pensado para ser una expresión directa de las relaciones biodinámicas que la naturaleza usa en sus propios diseños” (Mick Pearce)

Como técnica de refrigeración en el CH2, por la noche, todo un lado del edificio se abre a la toma directa de aire, expulsando el aire más cálido del interior del edificio, que asciende a los respiraderos del techo debido a la diferencia de temperatura entre el aire nocturno y diurno.

Sin embargo, esto no es suficiente para refrigerar el edificio todo el día, pues el aire fresco nocturno introducido al interior del edificio se va calentando a lo largo del día.

Así, en la fachada sur del edificio se encuentran unas torres de viento de 15 m, conocidas como “Torres ducha”, que captan el aire exterior diurno, lo enfrían por evaporación y lo inducen en los espacios comerciales de las plantas bajas.

Para ello se extrae del suministro de la ciudad aguas residuales que, tras varios filtrados, se esparcen mediante difusores en la parte superior de la torre, enfriando el aire exterior.



Fig. 4.1.10 Dispositivo “Torre ducha”

Fig. 4.1.11 Fachada CH2con “Torres ducha” (Mick Pierce)

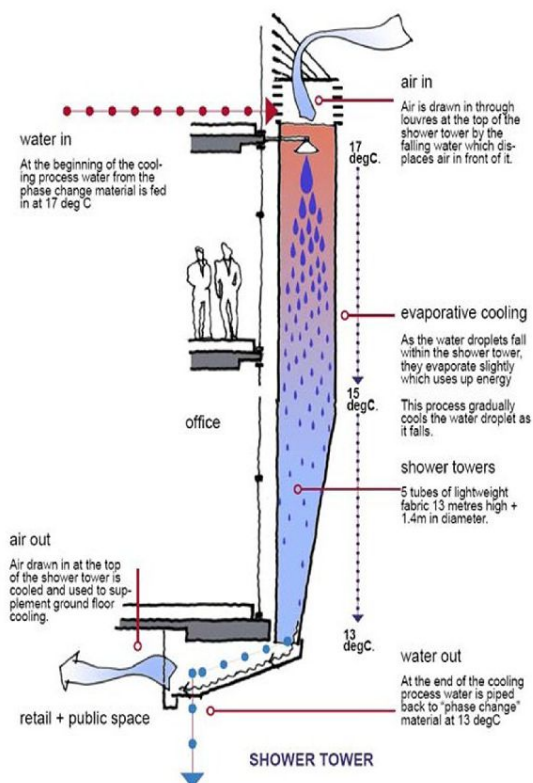


Fig. 4.1.12 Esquema de “Torre ducha” (Mick Pierce)

ZENITH MUSIC VENUE

Localización	Saint-Étienne (Francia)
Arquitecto	Foster and Partners, Cabinet Berger
Año de construcción	2008
Espacio a refrigerar	Interior
Tipología	Torre de viento

Zenith Music Venue es un centro cultural cuyo objetivo era la regeneración de la antigua ciudad industrial de Saint-Étienne.

El proyecto se diseñó con una forma energéticamente eficiente, con una cubierta con estructura en voladizo concebida en respuesta a exhaustivos estudios aerodinámicos. (Fig. 4.14)

“Su techo distintivo es una parte importante de la estrategia ambiental del edificio, así como un poderoso símbolo de regeneración para la ciudad” (Norman Foster)

La cubierta, elemento clave, se diseña como un eficaz corta vientos a través del cual se canaliza el aire al interior del edificio, donde gracias al efecto Venturi, sale con mayor intensidad de flujo, reduciendo la demanda energética del edificio.

El valle donde se ubica tiene vientos predominantes del norte y del sur, por lo que el sistema es completamente reversible para aprovechar los vientos de ambas direcciones.

Así, durante la noche, el aire frío se encauza a través del auditorio, discurriendo en cualquier dirección por el interior del mismo.

Además, al entrar en contacto las corrientes de aire frío con el hormigón visto del auditorio, gracias a sus propiedades térmicas, este actúa como superficie refrigeradora radiante, reduciendo la necesidad de sistemas mecánicos de refrigeración.

No se trata de una torre vertical, sino de una forma aerodinámicamente diseñada. A pesar de la diferencia formal, los principios de funcionamiento son los mismos, siendo un perfecto ejemplo de reinterpretación contemporánea de un sistema vernáculo.

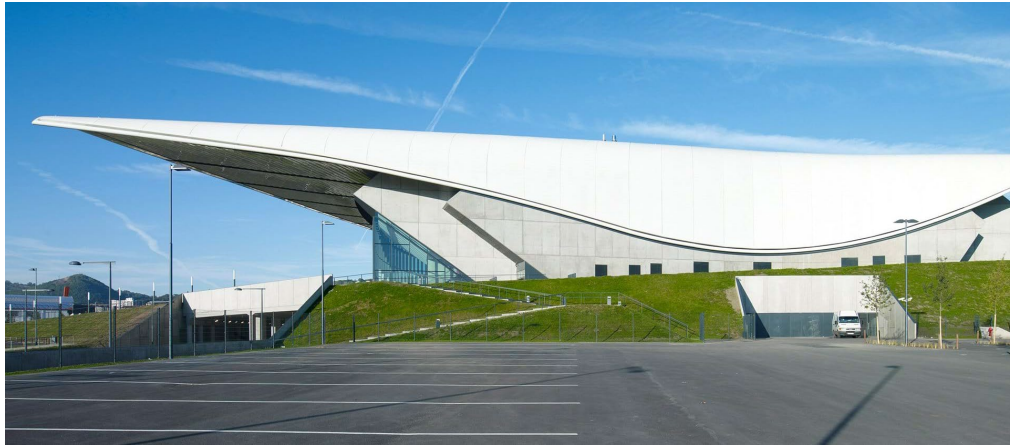


Fig. 4.1.13 Zenith Music Venue (Foster and Partners)

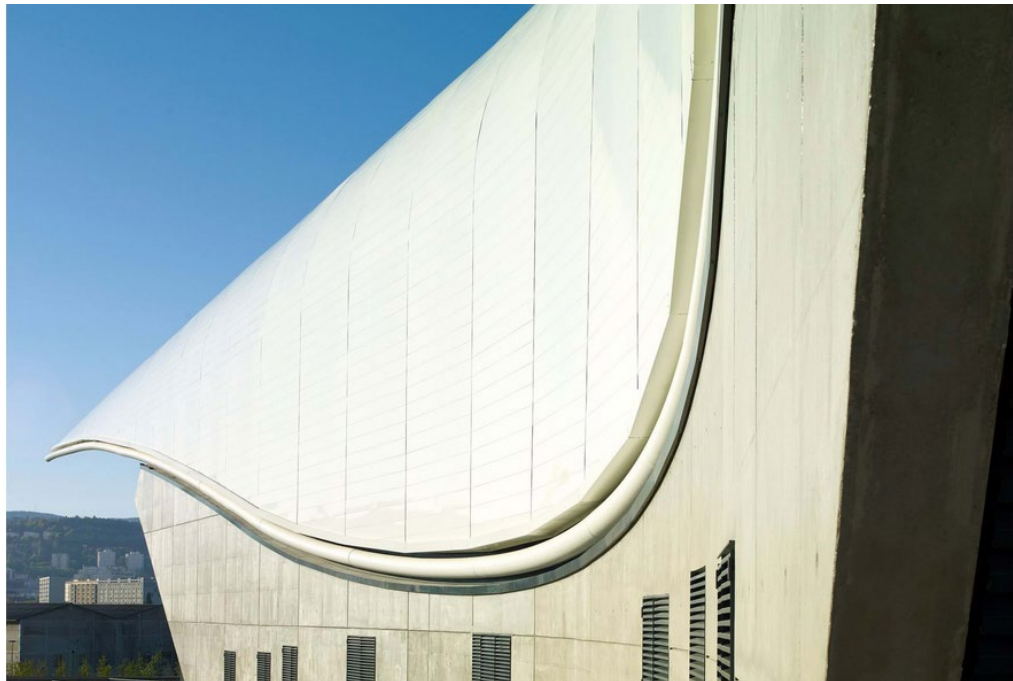


Fig. 4.1.14 Cubierta aerodinámica Zenith Music Venue (Foster and Partners)

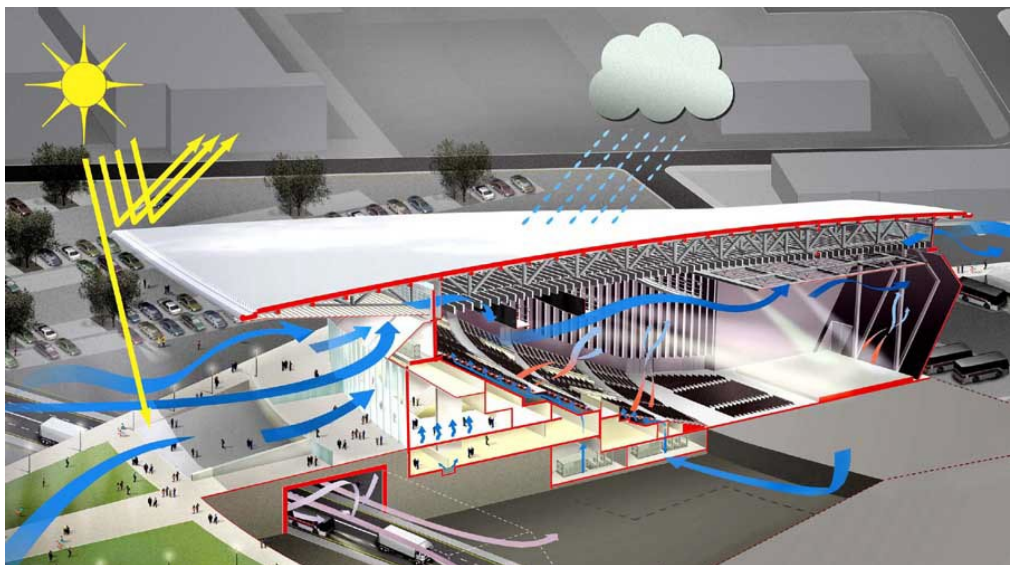


Fig. 4.1.15 Esquema de circulación del aire en Zenith Music Venue (arch2o)

4.2. DISPOSITIVOS

La segunda vía de relectura contemporánea es el diseño de dispositivos desvinculados de la forma de las torres de viento tradicionales.

Este tipo de torres se acerca más al modelo actual de arquitectura industrializada. Además, tienen la ventaja de poder ser aplicadas en rehabilitaciones o en edificios existentes.

Estos modelos replican los mecanismos propios de las torres de viento tradicionales, pero mejorando su funcionamiento gracias al uso de nuevas tecnologías y materiales.

Actualmente se desarrollan torres multidireccionales de manera que su funcionamiento no dependa de la dirección del viento.



Fig. 4.2.1. Torre de viento “Windcatcher Classic System” (Monodraught)

Formas

Las formas de las torres tradicionales están limitadas dado lo artesanal de su proceso constructivo. Sin embargo, en estos dispositivos, gracias a la industrialización y nuevos materiales, existen gran variedad de modelos y formas. Destacan los de forma circular, que tan costosas y complejas eran de producir antiguamente.



Fig. 4.2.2. Dispositivos con forma ovalada, rectangular y circular (Monodraught)

Materiales

Para el diseño de las nuevas tipologías se produce un cambio radical en los materiales, abandonado el ladrillo y el barro por unos más contemporáneos. Lo más usual es su realización en plástico y metales como el aluminio.

Protección anti partículas

Ante la posible entrada de partículas o agua, existen diseños que solucionan el problema, como los de doble rejilla.

Son modelos con una rejilla estática externa y una rejilla interna que puede variar su abertura. Así, cuando están abiertas, se produce una ventilación máxima, mientras que pueden ser moduladas y cerradas ante precipitaciones.

También existen sistemas con más capas, con mallas de fibra que protegen el interior de la torre en condiciones más extremas como la nieve.



Fig. 4.2.3. Protección tricapa Sola-Boost (Monodraught)

Placas solares

Para reducir el consumo energético es posible colocar paneles solares, que permiten suministrar la energía necesaria a los ventiladores u otros sistemas mecánicos auxiliares.



Fig. 4.2.4. Sola-Boost X-Air con placas solares incorporadas

Ventilación forzada

En los dispositivos modernos, también se desarrollan modelos mixtos, como los dispositivos de ventilación forzada, con ventiladores en su interior que aumentan el flujo de aire.

Gracias a la instalación de un sistema de análisis de ambientes externos e internos, que analiza cuando la ventilación natural es suficiente, el ventilador sólo se activa cuando es necesario, aumentando el flujo de aire expulsado. (Fig.2.4.5)

Además, el sistema inteligente puede mezclar el aire de retorno con el de entrada, de manera que haya un mayor control sobre la temperatura del aire emitido a la estancia interior. (Fig.4.2.6)

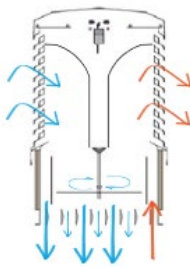


Fig. 4.2.5. Ventilación aumentada

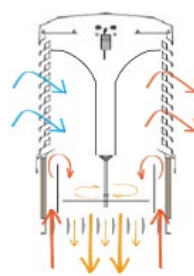


Fig. 4.2.6. Ventilación híbrida mezclada

Reducción acústica

Mediante sistemas de aislamiento, en algunos modelos se ha logrado reducir el impacto acústico de los sistemas.

“Se logra reducir la transmisión de ruido en 15 dB en comparación con una ventana abierta. Sin embargo, al incorporar 25 mm de revestimiento acústico a las rutas de aire, se lograron otros 11 dB” (CBE)

Sistemas de control

Los dispositivos pueden incorporar avanzados sistemas de control de la ventilación, que regulan el aire que entra en la torre en función de la temperatura y demanda de refrigeración.

En muchos modelos estos sistemas de control son automáticos, pero también existen semiautomáticos y manuales, de manera que el usuario pueda controlar directamente la cantidad de ventilación que desea, igual que con el aire acondicionado.

Se puede observar como la tecnología ha ayudado a desarrollar torres de viento-dispositivos de gran eficiencia, con gran potencial para sustituir o complementar a los sistemas de aire acondicionado comúnmente empleados en la actualidad.

Ejemplos

HAUTE VALLEE SCHOOL

Localización	Jersey
Arquitecto	Architecture PLB
Año de construcción	1998

Se trata de un proyecto pionero en la instalación de esta tipología de torre de viento, y para su desarrollo, se llevó a cabo un exhaustivo estudio de las condiciones ambientales.

En él, las aulas de la planta superior y baja son refrigeradas mediante diversas torres de viento situadas en la cubierta, en la que cada una de ellas atiende a las dos alturas.



Fig 4.2.7. Haute Vallee School (PBL Architects)



Fig. 4.2.8. Torres de viento instaladas (Monodraught)

CIC ZERO CARBON BUILDING

Localización	Hong Kong
Arquitecto	Ronald Lu and Partners
Año de instalación	2012

El proyecto buscaba ser un ejemplo de edificio sostenible en un entorno urbano, convirtiéndose en el primer edificio en Hong Kong con cero emisiones de carbono, gracias a su diseño ambiental integrado y el uso de energía renovable.

En un clima tan cálido y húmedo como el de Hong Kong, se colocaron numerosas torres de viento, responsables de la ventilación y refrigeración del interior del edificio. Gracias a ello se mejora la eficiencia del edificio y renueva el aire viciado del interior.



Fig. 4.2.9. CIC Zero Carbon Building (Ronald Lu and Partners)



Fig. 4.2.10. Torres de viento sobre techo ajardinado (Marcel Lam)

ESCUELA ST. JOSEHP

Localización	Ipswich (Reino Unido)
Arquitecto	Wincer Kievenvaar
Año de instalación	2012

Para el diseño del nuevo pabellón de la escuela infantil St. Josehp, se optó por instalar varias torres de viento que aclimatasen una gran sala de comedor, la biblioteca, y una serie de espacios compartidos.

En esta ocasión, cabe destacar, que las torres, cuya estética juega con el dinamismo y colorido del edificio, además de cumplir las funciones propias de una torre de viento, funcionan como entrada de luz al edificio.



Fig. 4.2.11. Escuela Infantil St. Joseph (Monodraught)



Fig. 4.2.12. Sistema de iluminación y ventilación con torre de viento (Monodraught)

BIBLIOTECA IMPERIAL COLLEGE

Localización	Londres (Reino Unido)
Arquitecto	Gathehouse
Año de instalación	2016

La biblioteca del Imperial College, está situada en el último piso del edificio, y debido a su orientación y acristalamiento, sufría un gran sobrecalentamiento en los meses de verano, lo que dificultaba la concentración de sus estudiantes.

Por ello, se tomó la decisión de su rehabilitación, colocando torres de viento, que mejoraron la ventilación y refrigeración de la sala, además de mejorar la salubridad y sensación de confort en la misma.

Este es un claro ejemplo de cómo estos prototipos son una buena solución para mejoras puntuales en un edificio con un mal diseño bioclimático.



Fig. 4.2.13. Imperial College, Londres (Imperial College web)



Fig. 4.2.14. Torres de viento sobre biblioteca (interior y exterior) (Monodraugh)

4.3. COMPARATIVA DE ESTRATEGIAS

Una vez analizados ambos caminos para la adaptación del sistema, cabe destacar algunos puntos clave sobre los mismos:

- Inclusión en el diseño: es una relectura contemporánea de la torre de viento, en la que se moderniza la estética del sistema tradicional. Este tipo de torres suelen incluirse en edificios más icónicos o en pequeñas edificios o viviendas unifamiliares.
 - Ventaja
 - Coherencia forma-función.
 - Identidad
 - Desventajas:
 - Dificultad para incluirlo en edificios ya existentes.
 - Condiciona el diseño arquitectónico.
 - Servidumbre por torre a una única o escasas estancias.
 - Mayor coste – elemento único
- Dispositivos: se trata de tomar las estrategias funcionales de las torres de viento y aplicarlas en un dispositivo, desprendiéndose de la idea de forma y diseño de las mismas. Busca sustituir la instalación de aire acondicionado por una instalación basada en torres de viento.
 - Ventajas
 - Posibilidad de aplicación en edificios ya existentes.
 - Mayor libertad de diseño
 - Menor coste – posibilidad de industrialización constructiva.
 - Más sistemas de control
 - Desventajas:
 - Pérdida de la identidad
 - Pérdida de la coherencia función-forma.

5. APLICACIÓN EN ESPAÑA

Las torres de viento forman parte de la arquitectura del Medio Oriente, y su capacidad de acondicionar espacios es evidente.

Sin embargo, su uso no tiene porque ajustarse a esta zona, pues los principios de las mismas podrían aplicarse en todos aquellos lugares con las características climáticas adecuadas para su funcionamiento. Prueba de ello son los ejemplos contemporáneos anteriormente estudiados.

El objetivo del siguiente análisis es determinar en qué zonas de España serían viables las torres de viento.

A priori, España es un país que puede cumplir los requisitos clave para su aplicación; se encuentra en una latitud similar a la zona autóctona de los captadores de viento, con temperaturas muy elevadas durante una parte del año en algunos puntos de la península, y grandes corrientes de viento.

Tanto es así, que en España el uso del viento como fuente energética no es una novedad. España es el cuarto productor de energía eólica, con un 5,9% de la producción mundial.

España se encuentra en la zona de la Celda de Ferrel, donde predominan los vientos del oeste. Sin embargo, es un país con una climatología muy variada, y para realizar una aproximación en cuanto a la viabilidad de las torres de viento en su territorio, es necesario realizar un estudio pormenorizado de todas sus áreas.

Para poder tener una visión general de las posibilidades de implantación de las torres de viento, se estudiarán los datos climáticos de todas las capitales de provincia del país.

5.1. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

MÉTODO

Para determinar la viabilidad de las torres de viento, se debe responder a dos preguntas básicas: ¿existe una necesidad de refrigeración? y ¿hay viento suficiente para que funcione el sistema?

En caso de que ambas respuestas sean afirmativas, las torres de viento son una solución adecuada para la refrigeración de espacios.

Para la predicción de las condiciones climáticas en una zona se debe partir de la información publicadas por diversos organismos, como la Agencia Estatal de Meteorología, donde se puede obtener de manera muy detallada y procesada por modelos físicos y estadísticos de la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la presión atmosférica, la humedad relativa, etc. (Peña, 2010)

Necesidad de refrigeración

Para poder responder a la primera pregunta, se realiza una clasificación en cinco niveles según necesidad de climatización de cada capital de provincia.

La necesidad de refrigeración surge cuando no existe el confort térmico, que según la norma ISO 7730 “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”.

Esta condición mental es la sensación térmica, que viene determinada por una combinación de parámetros meteorológicos, como la temperatura, la humedad relativa o el viento.

Durante los meses de verano, según la ASHRAE, la sensación térmica de confort con ropa ligera es de 26°C, por lo que se establece ahí el punto a partir del cual puede ser viable la implantación de torres de viento.

Así, se estudia la sensación térmica promedio de cada provincia durante los meses de Junio, Julio y Agosto, determinando el nivel de necesidad de sistemas de refrigeración según el siguiente criterio:

	Sensación térmica media (°C)	Necesidad de refrigeración	Categoría
	30 o más	Muy necesario	5
	De 28,5 hasta 30	Necesario	4
	De 27 hasta 28,5	Necesidad media	3
	De 26 a 27	Algo necesario	2
	Menos de 26	No es necesario	1

Capacidad de funcionamiento del sistema

Para el correcto funcionamiento de las torres de viento es esencial que se den determinadas condiciones climáticas, pues depende de elementos naturales, principalmente del viento.

Por ello, se analizan y clasifican las velocidades de viento medias durante los meses de Junio, Julio y Agosto en cada capital de provincia, respondiendo a la capacidad de funcionamiento del sistema en su entorno.

Tras el análisis previo del clima de las zonas con torres de viento en Medio Oriente, y los estudios sobre eficiencia en función de la velocidad del viento realizados por el Dr. Bahadori, se determina:

	Velocidad media viento (km/h)	Funcionamiento de la torre	Categoría
	más de 14	Muy bueno	5
	12 a 14	Bueno	4
	11 a 12	Regular	3
	De 10 a 11	Malo	2
	Menos de 10	Muy malo	1

Viabilidad de implantación

En los pasos anteriores, por un lado, se ha clasificado la necesidad de refrigeración, gracias al análisis de la sensación térmica, y, por otro lado, la posibilidad de que funcionen las torres en función del viento.

Es decir, para cada capital de provincia se ha respondido individualmente a las preguntas planteadas al principio, sobre si es necesario un sistema de refrigeración y si es posible el funcionamiento de las torres.

Sin embargo, la viabilidad viene determinada por ambos valores en conjunto, pues deben darse las dos condiciones para poder ser viables.

Por muy elevadas que sean las temperaturas en una zona, las torres no son viables si no hay viento que permita su funcionamiento, y, por muy ventosa que sea una ciudad, si no existe necesidad de elementos de refrigeración, no es coherente su implantación.

Por ello, para la clasificación final, se analiza cada zona individualmente y se establece que la viabilidad de implantación de las torres es siempre la misma que la de su parámetro más desfavorable, con el objetivo de que resultados opuestos en el análisis no se contrarresten entre sí.

Por ejemplo, en una zona con necesidad de refrigeración nivel 4 (alta) y capacidad de funcionamiento de nivel 2 (mala), la viabilidad del sistema será 2 (mala).

CLASIFICACIÓN

Seguendo el método anteriormente explicado se realiza la siguiente clasificación:

Localidad		Jun	Jul	Ago	Medio	Necesidad - Posibilidad	Viabilidad
Albacete	Sens. térmica	30,0	35,0	35,0	33,3	5,0	Alta
	Vel. Viento	13,0	12,8	12,5	12,8	4,0	
Alicante	Sens. térmica	30,0	34,0	37,0	33,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	13,0	12,5	12,7	12,7	4,0	
Almería	Sens. térmica	28,0	33,0	36,0	32,3	5,0	Muy alta
	Vel. Viento	14,8	14,0	13,5	14,1	5,0	
Ávila	Sens. térmica	25,0	28,0	27,0	26,7	2,0	Baja
	Vel. Viento	12,0	11,0	10,5	11,2	3,0	
Badajoz	Sens. térmica	31,0	35,0	34,0	33,3	5,0	Alta
	Vel. Viento	11,1	14,0	13,5	12,9	4,0	
Barcelona	Sens. térmica	27,0	31,0	31,0	29,7	4,0	Normal
	Vel. Viento	11,5	11,0	11,6	11,4	3,0	
Bilbao	Sens. térmica	24,0	26,0	27,0	25,7	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	13,5	12,0	12,0	12,5	4,0	
Burgos	Sens. térmica	23,0	28,0	28,0	26,3	2,0	Baja
	Vel. Viento	14,0	13,5	12,9	13,5	4,0	
Cáceres	Sens. térmica	30,0	34,0	34,0	32,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	12,8	12,3	12,5	4,0	
Cádiz	Sens. térmica	27,5	31,5	31,0	30,0	5,0	Muy alta
	Vel. Viento	17,5	16,5	15,5	16,5	5,0	
Castellón	Sens. térmica	29,0	34,0	35,0	32,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,3	12,5	12,6	12,5	4,0	
Ceuta	Sens. térmica	28,0	31,0	31,0	30,0	5,0	Muy alta
	Vel. Viento	14,9	15,0	14,0	14,6	5,0	
Ciudad Real	Sens. térmica	30,0	36,0	35,0	33,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	12,5	11,6	12,2	4,0	
Córdoba	Sens. térmica	33,0	41,0	39,0	37,7	5,0	Baja
	Vel. Viento	11,0	10,5	10,0	10,5	2,0	
La Coruña	Sens. térmica	21,0	22,0	23,0	22,0	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	13,0	12,5	12,5	12,7	4,0	
Cuenca	Sens. térmica	28,0	31,0	31,0	30,0	5,0	Alta
	Vel. Viento	13,0	12,5	12,0	12,5	4,0	
Gerona	Sens. térmica	27,0	30,0	28,0	28,3	3,0	Baja
	Vel. Viento	10,5	10,0	10,0	10,2	2,0	
Granada	Sens. térmica	31,0	36,0	36,0	34,3	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	12,3	11,1	12,0	4,0	

Localidad		Jun	Jul	Ago	Medio	Necesidad - Posibilidad	Viabilidad
Guadalajara	Sens. térmica	31,0	33,0	30,0	31,3	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	12,5	12,0	12,3	4,0	
Huelva	Sens. térmica	31,0	36,0	35,0	34,0	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	12,5	12,4	12,5	4,0	
Huesca	Sens. térmica	29,0	34,0	32,0	31,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	12,3	11,1	12,0	4,0	
Jaén	Sens. térmica	30,0	35,0	34,0	33,0	5,0	Baja
	Vel. Viento	10,1	10,1	10,0	10,1	2,0	
León	Sens. térmica	24,0	27,0	27,0	26,0	2,0	Baja
	Vel. Viento	12,2	11,5	11,0	11,6	3,0	
Lérida	Sens. térmica	32,0	35,0	34,0	33,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	12,6	12,0	12,4	4,0	
Logroño	Sens. térmica	24,7	27,8	27,6	26,7	2,0	Baja
	Vel. Viento	10,5	10,1	9,8	10,1	2,0	
Lugo	Sens. térmica	22,0	25,0	26,0	24,3	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	7,1	7,0	6,9	7,0	1,0	
Madrid	Sens. térmica	28,0	33,0	31,0	30,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,4	12,3	12,2	12,3	4,0	
Málaga	Sens. térmica	29,0	33,0	35,0	32,3	5,0	Normal
	Vel. Viento	12,5	12,0	11,3	11,9	3,0	
Melilla	Sens. térmica	27,0	31,0	35,0	31,0	5,0	Muy alta
	Vel. Viento	15,0	13,9	13,8	14,2	5,0	
Murcia	Sens. térmica	31,0	34,0	35,0	33,3	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,8	12,5	12,4	12,6	4,0	
Orense	Sens. térmica	24,8	27,5	27,4	26,6	2,0	Muy baja
	Vel. Viento	6,8	6,8	6,7	6,8	1,0	
Oviedo	Sens. térmica	22,0	23,0	24,0	23,0	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	11,0	10,5	10,5	10,7	2,0	
Palencia	Sens. térmica	26,0	31,0	30,0	29,0	4,0	Alta
	Vel. Viento	14,0	14,0	13,5	13,8	4,0	
Palma de Mallorca	Sens. térmica	30,0	33,0	36,0	33,0	5,0	Alta
	Vel. Viento	12,5	11,8	12,6	12,3	4,0	
Las Palmas	Sens. térmica	26,2	29,2	30,0	28,5	4,0	Alta
	Vel. Viento	24,5	29,8	27,5	27,3	5,0	
Pamplona	Sens. térmica	25,0	28,0	27,6	26,9	2,0	Baja
	Vel. Viento	11,0	10,9	10,2	10,7	2,0	

Localidad		Jun	Jul	Ago	Medio	Necesidad - Posibilidad	Viabilidad
Pontevedra	Sens. térmica	24,0	27,0	27,0	26,0	2,0	Muy baja
	Vel. Viento	9,0	8,9	8,5	8,8	1,0	
San Sebastián	Sens. térmica	21,0	22,0	23,0	22,0	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	12,0	11,5	10,7	11,4	3,0	
Salamanca	Sens. térmica	26,0	30,0	30,0	28,7	4,0	Alta
	Vel. Viento	14,0	13,5	12,5	13,3	4,0	
Santa Cruz	Sens. térmica	27,0	31,0	31,0	29,7	4,0	Alta
	Vel. Viento	20,0	24,1	23,0	22,4	5,0	
Santander	Sens. térmica	22,0	25,0	25,0	24,0	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	14,5	13,8	14,0	14,1	5,0	
Segovia	Sens. térmica	25,0	29,0	29,0	27,7	3,0	Normal
	Vel. Viento	12,0	11,9	11,5	11,8	3,0	
Sevilla	Sens. térmica	32,0	42,0	40,0	38,0	5,0	Normal
	Vel. Viento	12,0	11,9	11,0	11,6	3,0	
Soria	Sens. térmica	25,0	28,0	24,0	25,7	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	12,0	11,5	10,5	11,3	3,0	
Tarragona	Sens. térmica	25,0	28,0	29,0	27,3	3,0	Normal
	Vel. Viento	13,5	12,5	12,4	12,8	4,0	
Teruel	Sens. térmica	27,0	29,0	28,0	28,0	3,0	Normal
	Vel. Viento	12,0	12,0	11,5	11,8	3,0	
Toledo	Sens. térmica	30,0	38,0	36,0	34,7	5,0	Normal
	Vel. Viento	12,0	12,0	11,5	11,8	3,0	
Valencia	Sens. térmica	29,0	35,0	35,0	33,0	5,0	Normal
	Vel. Viento	11,8	11,5	11,3	11,5	3,0	
Valladolid	Sens. térmica	27,0	30,0	30,0	29,0	4,0	Alta
	Vel. Viento	13,5	12,8	12,6	13,0	4,0	
Vitoria	Sens. térmica	21,0	25,0	26,0	24,0	1,0	Muy baja
	Vel. Viento	11,0	10,5	9,9	10,5	2,0	
Zamora	Sens. térmica	27,0	31,0	31,0	29,7	4,0	Alta
	Vel. Viento	14,5	14,0	13,5	14,0	5,0	
Zaragoza	Sens. térmica	30,0	35,0	33,0	32,7	5,0	Alta
	Vel. Viento	14,2	14,1	12,5	13,6	4,0	

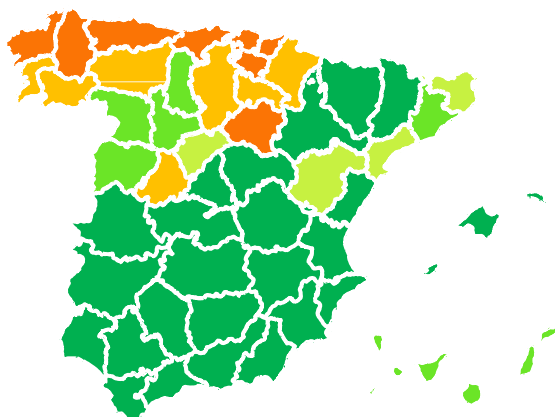


Fig.5.1.1. Clasificación según necesidad de refrigeración en España. Elaboración propia.

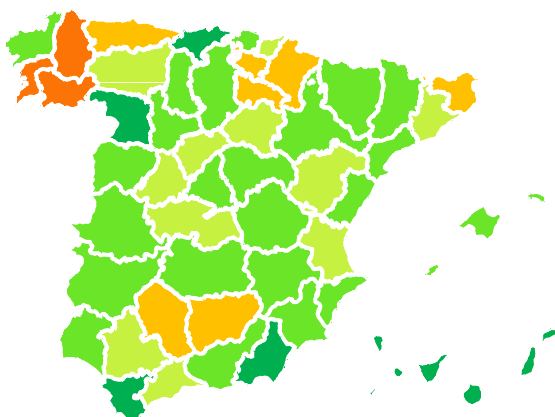


Fig.5.1.2. Clasificación según capacidad de funcionamiento del sistema en España. Elaboración propia.

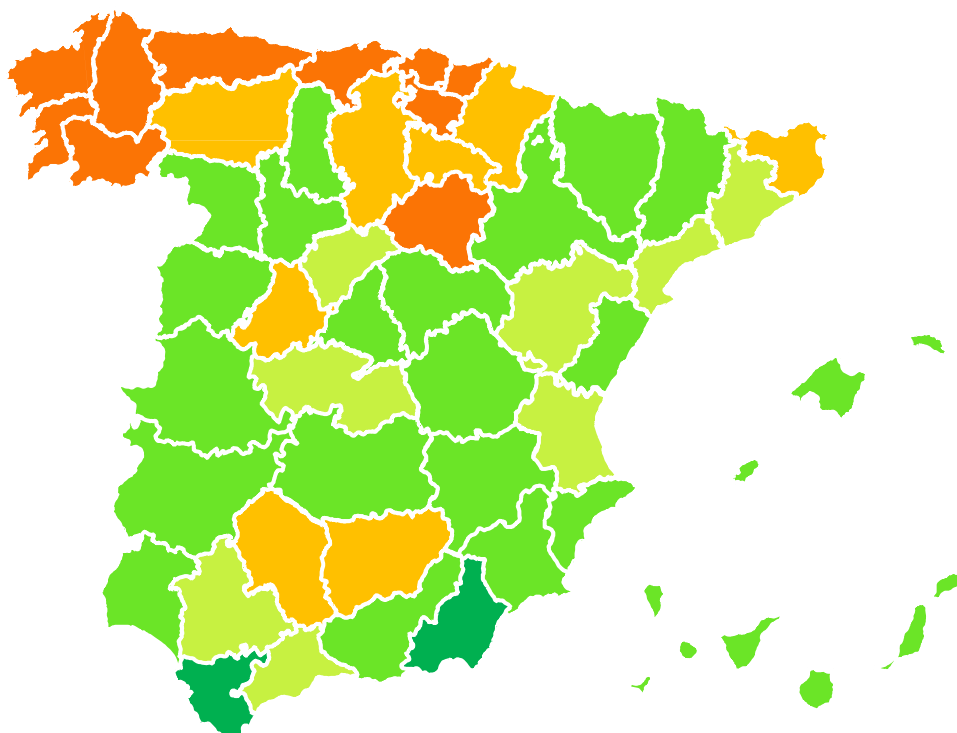


Fig.5.1.3. Clasificación según viabilidad de implantación del sistema en España. Elaboración propia

Una vez realizado el análisis, se aprecia que:

- Exceptuando el noreste peninsular, la necesidad de sistemas de refrigeración durante los meses de verano en España es muy elevada.
- Existen muchas áreas con grandes corrientes de aire que podrían emplearse como fuente energética pasiva.
- España es, exceptuando algunas zonas, un territorio con gran potencial para el uso de torres de viento.

Dada la generalidad de la clasificación, basada en datos obtenidos en puntos concretos de la geografía española, el análisis es una aproximación orientativa, que proporciona una idea global de en qué zonas sería viable su aplicación.

La intención del estudio es dar unas pautas o criterios para estudios posteriores de emplazamientos concretos.

Para cada proyecto, es necesario realizar un estudio climático propio, en el que se determinen las condiciones propias del lugar, para poder valorar si es conveniente el uso de torres de viento, o algún otro sistema de acondicionamiento.

Esto se debe a que son muchos los factores que pueden generar un microclima único para una localización (sombreamiento, orografía, altitud, etc.) y que pueden variar tanto la sensación térmica como la velocidad del aire.

6. CONCLUSIONES

Las torres de viento son un sistema energético pasivo que mejora el confort en los espacios a los que sirven, y su relectura contemporánea es una vía para el desarrollo de sistemas de refrigeración más eficientes y sostenibles.

Si bien las torres de viento tradicionales son un método efectivo, se han desarrollado nuevos modelos que solventan y mejoran los problemas o carencias de los mismos.

De estos nuevos modelos destacan las torres de viento mixtas, los cuales se apoyan en elementos mecánicos para mejorar su eficiencia, con una efectividad muy superior a las de tipo convencional, según detalla el Dr. Bahadori.

Además de ser más efectivos que las torres de viento tradicionales, tienen un gasto energético muy inferior a los sistemas exclusivamente mecánicos actuales.

Si bien las torres de viento son un elemento tradicional propio de la arquitectura iraní, son numerosos los casos en los que arquitectos los han implementado en sus obras, situadas en diversas partes del planeta, obteniendo buenos resultados y ratificando así la validez del sistema.

Este desarrollo de modelos contemporáneos se basa en su mayoría en los modelos mixtos, los cuales se desarrollan a través de dos vías: la integración de torres o sistemas que apliquen sus principios en el diseño de los edificios o la instalación de dispositivos que sustituyan a los mecanismos actuales.

Como se ha mostrado en numerosos ejemplos, de ambas maneras se logra el confort en el espacio interior, aunque la segunda vía, que sigue la estrategia de refrigeración y construcción actual, permite un mayor control sobre el sistema.

Aunque las torres de viento surgieron como una respuesta al clima de Medio Oriente, existen muchas zonas en el planeta con unas condiciones climáticas parecidas en las que podrían emplearse captadores de viento.

En el análisis realizado se aprecia como en un 50% de las capitales de provincia españolas la viabilidad de implantación del sistema es muy alto o alto, en un 15% es normal, y en un 35% es malo o muy malo.

Estos resultados muestran cómo son numerosas las ciudades donde las torres de viento pueden ser una solución factible para la refrigeración de espacios.

Estos resultados son una aproximación genérica a la realidad climática del país, y previo a cualquier proyecto es conveniente realizar un estudio bioclimático individual, en el que se analice su microclima y se evalúe la viabilidad del sistema en función de los criterios y parámetros desarrollados en el estudio.

Como conclusión final, las torres de viento son una solución factible y con gran potencial para la refrigeración de muchas zonas de España, y una relectura contemporánea de las mismas puede ser clave para lograr una arquitectura más sostenible y eficiente.

7. BIBLIOGRAFÍA

Libros

- BADAWEY, Alexander. (1958). Architectural Provision against Heat in the Orient, *Journal of Near Eastern Studies*, XVII
- BAHADORI, Mehdi N & DEHGHANI-SANJI, Alireza. *Wind Towers: Architecture, Climate and Sustainability*. Teheran: Springer, 2014.
- BADRAN, A. *Energy and buildings*. Volumen 35, capítulo 10. 2003. FAITHY
- FAITHY, Hassan. *Natural Energy and Vernacular Architecture*. Chicago: University of Chicago Press, 1986.
- FAITHY, Hassan. *The Arab House in the Urban Setting; Past, Present and Future*. Londres: Longman, 1970.
- MAHMOUDI, M. *Baudgeer, the attraction and view of Yazd City*. 2006.
- NEILA, Francisco Javier. *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*. Murilla-Lería, 2013.
- NEILA, Francisco Javier. *La arquitectura vernácula más sostenible*. Varis, 2017.
- PETERBRIDGE, G. *Vernacular Architecture: The House and Society, Architecture of the Islamic World*. Londres: Thames and Hudson (1978)
- PEÑA CAPILLA, Rafael. *Energía eólica*. Ediciones Roble, 2010.
- POTTINGER, LH. *Travels in Beloochistan and Sind*. London, 1816.
- ROSENTHAL, Franz. *Journal of Arabic Literature*. Brill, 1977.
- SHARIAT ZADEH, AA. (1966) *Baudgeers of Yazd and the construction methods of them*. Teheran.
- TAVASOLLI, M. *Civil engineering and architecture in dry and arid land of Iran*. Teheran: Payam and Payvande, 1981
- VARJAVAND, P. (1996). *Encyclopedia of Islamic World*. Teheran.

Informes

- CINEMAT (1992). *Control climático en espacios abiertos, Proyecto Exp092*.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2018). *The future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning*.

Tesis doctorales

- MAHYARI, Ali (1996). *The Wind Catcher: A passive cooling device for hot arid climate* (Tesis doctoral). University of Sydney, Sydney.
- ROAF, S. (1988) *Windcatchers of Yazd* (Tesis doctoral). Oxford Polytechnic.
- SOUTULLO CASTRO, Silvia (2012). *Evaluación teórica y experimental de una torre de viento evaporativa para acondicionamiento térmico de espacios abiertos* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Páginas Web

- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología)
<http://www.aemet.es/>
- WEATHER SPARK
<https://es.weatherspark.com/>
- CENTER FOR THE BUILD ENVIRONMENT, Berkeley University.
<https://cbe.berkeley.edu/>
- NASA SCIENTIFIC VISUALIZATION STUDIO. Time Series: 19884 to 2018.
<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- ARCH2o
<https://www.arch2o.com/zenith-music-venue-foster-partners>
- FOSTER AND PARTNERS
<https://www.fosterandpartners.com>
- MICK PIERCE ARCHITECTS
<http://www.mickpearce.com/CH2.html>
- MONODRAUGHT
<https://www.monodraught.com/>