

# ARQUITECTURA Y VIENTO

La piel como experimento integrador

LORENA IÁÑEZ COSTELA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2019/2020



A ti, Papá.  
Sé que desde *allá*  
guías el  
**Viento**  
a nuestro favor.

Área\_Proyectos Arquitectónicos  
Línea de TFG\_Arquitecturas emergentes  
Título\_ARQUITECTURA Y VIENTO  
La piel como experimento integrador  
Autora\_Lorena Iáñez Costela  
Tutor\_Rafael de Lacour Jiménez  
Co-tutor\_Rafael García Quesada  
Curso académico\_2019/2020

Escuela Técnica Superior  
de Arquitectura  
Universidad de Granada

fig. 1. Imagen del semillero de la empresa  
Saliplant.  
Carchuna, Granada.  
Obtenida del la web:  
<http://www.saliplant.com>  
(consultada: Junio 2020)  
Tratamiento propio de imagen en portada y  
contraportada.

# Í N D I C E

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>[6-11]</b>
1. 1. Motivación	8
1. 2. Objetivos	10
<b>2. ESTADO DE LA TÉCNICA.....</b>	<b>[12-25]</b>
2. 1. El viento como fuente de aprovechamiento	14
2. 2. Clasificación y expansión en la Península Ibérica	16
2. 3. Evolución tecnológica de los Molinos de Viento	20
2. 4. De la energía mecánica a la energía eléctrica	22
2. 5. Clasificación de los Aerogeneradores	24
<b>3. METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA.....</b>	<b>[26-27]</b>
<b>4. CASOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>[28-41]</b>
4. 1. Bahrain World Trade Center	30
4. 2. Torre Eólica	32
4. 3. Power Tower	34
6. 4. Strawscraper	36
4. 5. Windscreen	38
4. 6. Vortex Bladeless	40
<b>5. CONTENIDO Y DESARROLLO.....</b>	<b>[42-91]</b>
5. 1. Fundamentos Físicos	44
5. 2. Prototipo	48
5. 3. Ensayo	56
5. 4. Propuesta	64
5. 5. Emplazamiento de estudio	70
5. 6. Orografía	74
5. 7. Climatología	76
5. 8. Ámbito de actuación	80
5. 9. El cultivo bajo plástico	82
5. 10. El efecto del viento en los invernaderos	84
5. 11. Implantación	86
5. 12. Aplicaciones	88
5. 13. Oportunidades	90
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>[92-93]</b>
<b>7. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>[94-95]</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>[96-99]</b>

El presente Trabajo Fin de Grado nace con el objetivo de efectuar un análisis de la evolución histórica del uso que el ser humano ha llevado a cabo del viento, desde el origen de esa convivencia hasta la actualidad, así como de las expectativas a medio-largo plazo en ese desarrollo.

Es importante establecer un marco contextual, conceptual y evolutivo que ayude a entender cómo lo que en su origen era sólo un fenómeno ambiental del que resguardarse debido al carácter destructivo que puede llegar a adquirir, ha logrado convertirse también en una inagotable fuente de energía mecánica, cinética y eléctrica.

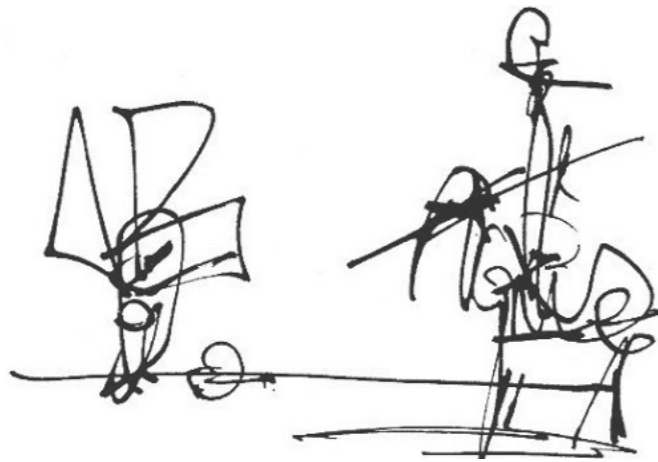
La importancia de establecer ese punto de origen servirá también como marco de partida en el análisis de la situación actual del planeta, de la humanidad y por extensión, de nuestro campo de actuación profesional.

La Arquitectura tiene como *leitmotiv* dar respuesta a los problemas sociales y medioambientales sin dejar de lado el conocimiento adquirido a lo largo de la historia, pero integrando así mismo los beneficios tecnológicos de los que disponemos. Es en ese equilibrio entre esencia e innovación donde hemos de jugar un papel proactivo como arquitectos.

Es innegable que desde el punto de vista normativo se está tomando cada vez más conciencia de la necesidad de ser más estrictos y exigentes al analizar cómo la actividad industrial y consumista afecta de manera directa en el clima. Pero también es evidente que llevamos años de atraso en la aplicación de medidas que ayuden a combatir el alarmante cambio climático que hemos producido.

Tenemos la responsabilidad como individuos, en nuestro caso también como arquitectos, de actuar de manera solidaria con nuestro entorno. Cuestionarnos qué papel podemos llegar a desempeñar, adelantarnos a los acontecimientos e integrar en nuestro proceso creativo esos recursos que nos hagan desarrollar una aportación determinante al bienestar medioambiental, son objetivos a los que aspira el trabajo aquí recogido.

fig. 2. Ejemplo del fenómeno de Vórtices  
Alexander Selkirk Island, Océano Pacífico  
Bob Cahalan, NASA GSFC  
Satélite Landsat 7, 15 de Septiembre de 1.999  
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/625/landsat-7-reveals-large-scale-fractal-motion-of-clouds>  
(consultado: Mayo 2.020)



El viento no siempre ha sido un aliado. Desde los inicios de la humanidad, el papel que ha ido desempeñando este fenómeno atmosférico ha ido variando a la par de la evolución del conocimiento que el ser humano desarrollaba de su medio y sus aptitudes.

Primitivamente fue un elemento cotidiano del que resguardarse cuando arremecía con mayor potencia. La observación, planteamiento de cuestiones, estudio y conocimiento que el ser humano ha ido adquiriendo en su evolución como especie de su entorno, le ha permitido ir haciendo uso de las ventajas que los elementos naturales podían ofrecerle en cada momento de la historia. A la capacidad de protección se le unió la del aprovechamiento.

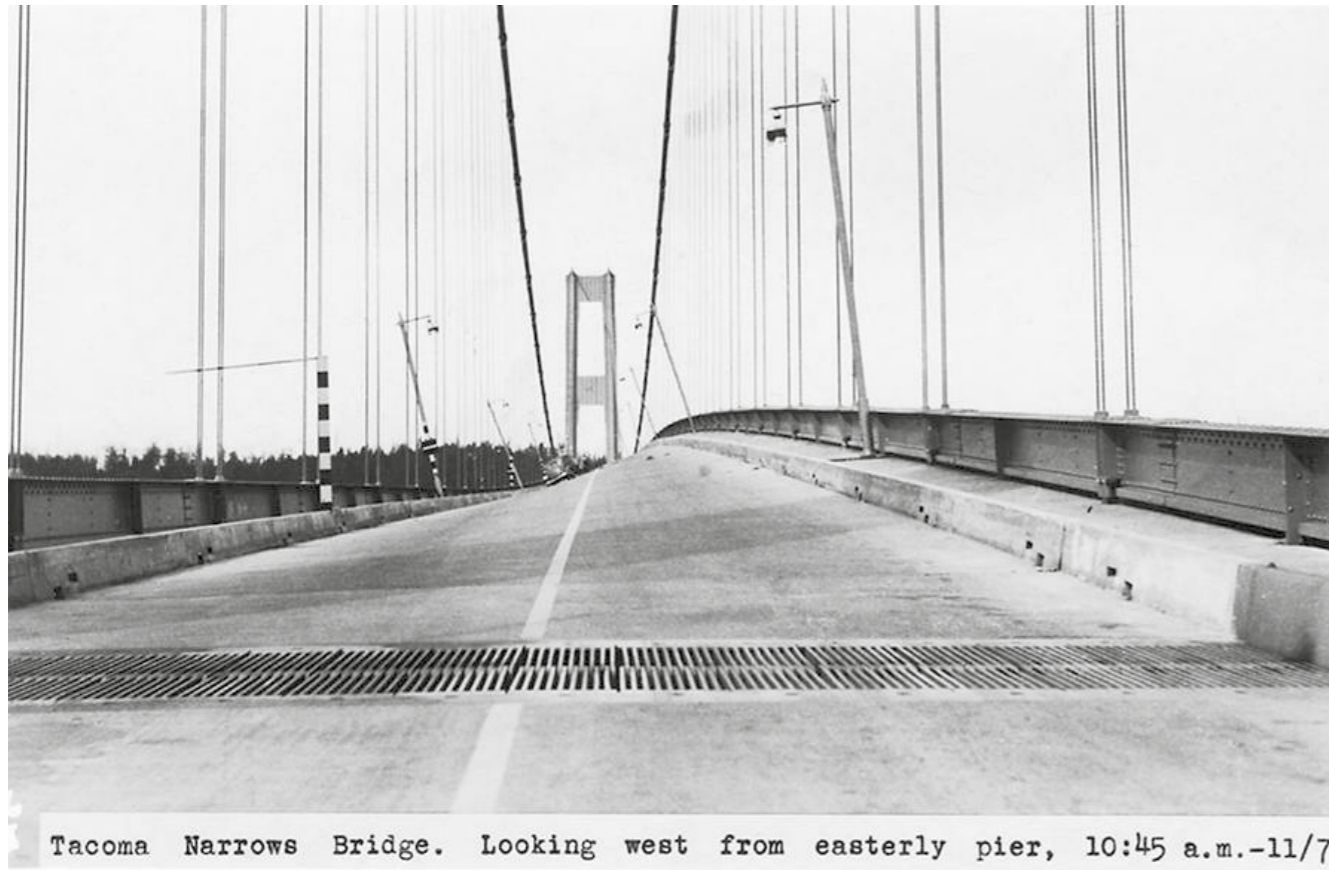
La convivencia que el ser humano ha experimentado con el viento desde su origen ha ido evolucionando, desarrollándose en nuevos ámbitos, logrando nuevos beneficios. ¿Cómo ha sido esa convivencia? Y lo que más nos puede llegar a afectar, ¿cómo ha de ser en un futuro cercano? ¿Qué papel puede desempeñar desde el punto de vista de la Arquitectura, y cuál es nuestra responsabilidad como arquitectos?

La situación actual del mundo que nos rodea nos hace estar familiarizados con términos como energía renovable, energía eólica, aprovechamiento, reciclaje, etc. Sin embargo, esa cotidianidad conlleva en ocasiones un conocimiento superficial de las cuestiones a tratar, hacernos una idea general de ellas y no ahondar más en conceptos que a menor escala, pueden llegar a ser aplicables en nuestro día a día, contribuyendo así de manera activa a un desarrollo más responsable con el planeta.

La convulsa situación que nos está tocando vivir como civilización en este año 2.020 exige un compromiso y conciencia colectivos que nos permita no sólo vencer al impacto del COVID-19, sino también salir reforzados de cara a un futuro. Los signos de recuperación temporal que ha mostrado el medio ambiente durante el confinamiento deben hacer que nos cuestionemos aún más nuestra conciencia climática.

fig. 3. Antonio Saura  
Don Quijote de la Mancha, Círculo de  
Lectores, Barcelona 1987,  
31,7x 20,5cm,  
vol.1 392 pp, vol.2 392 pp

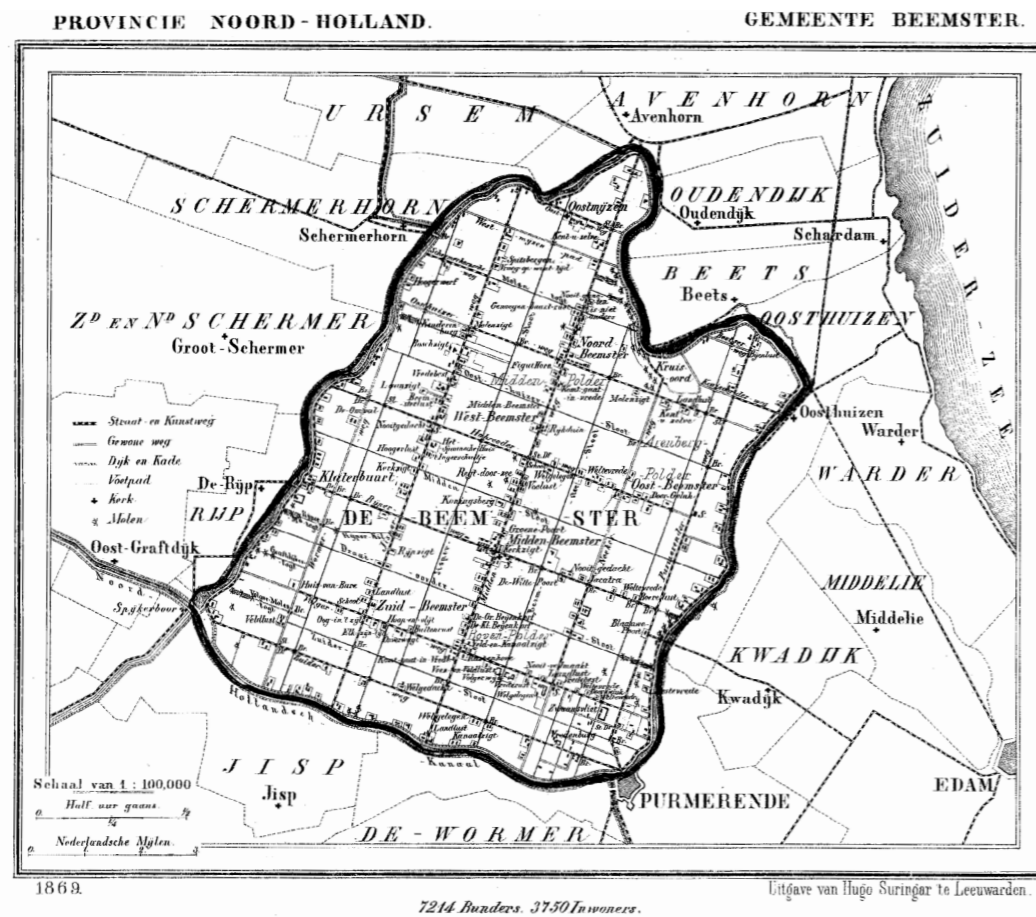
## 1. 2. Objetivos



- 1.** Detectar medios y emplazamientos en los que la energía eólica a una micro-escala pueda suponer un aporte energético.
- 2.** Analizar sistemas de generación eólica que, aunque estén menos extendidos en el mercado actual, ofrezcan un interés alternativo desde el punto de vista de entornos rígidos o que conlleven mayor dificultad de implantación de modelos aerogeneradores comunes.
- 3.** Proponer una integración paisajística, estética y de oferta energética del modelo propuesto.
- 4.** Plantear un abanico de opciones de aplicación que enriquezcan el entorno y las personas que lo habiten.
- 5.** Iniciar una incursión, desde el respeto al deseo de aprendizaje, en un campo del que irremediamente la Arquitectura ha de nutrirse cada vez más para dar respuesta a las nuevas necesidades.
- 6.** Combinar métodos de construcción y producción tradicionales con nuevas tecnologías de manera que se enriquezcan mutuamente.
- 7.** Mostrar que desde el conocimiento y respeto del entorno se pueden lograr avances que beneficiosos.

## 1. INTRODUCCIÓN

fig. 4. Oscilaciones torsionales media hora antes del colapso del Puento Tacoma Narrows.  
Franklin Miller, 7 de Noviembre de 1.947  
Texas State University:  
[https://www.txstate.edu/news/news\\_releases/news\\_archive/2015/November-2015/TacomaNarrows110315.html#&gid=1&pid=2](https://www.txstate.edu/news/news_releases/news_archive/2015/November-2015/TacomaNarrows110315.html#&gid=1&pid=2)  
(consultado: Junio 2.020)



1. Recorrido histórico de la evolución del uso del viento.
2. Nacimiento de la tipología de molino de viento y su expansión.
3. Innovaciones técnicas que los molinos fueron experimentando hasta dar paso a un nuevo uso eólico.
4. El avance del aprovechamiento eólico en la producción de energía eléctrica.
5. El conocimiento adquirido permite desarrollar distintas tipologías y sistemas aerogeneradores.

fig. 5. Mapa histórico de Beemster, Países Bajos (1.865-1.870)  
J. Kuyper  
Obtenido del Atlas Municipal de los Países Bajos

## 2. 1. El viento como fuente de aprovechamiento

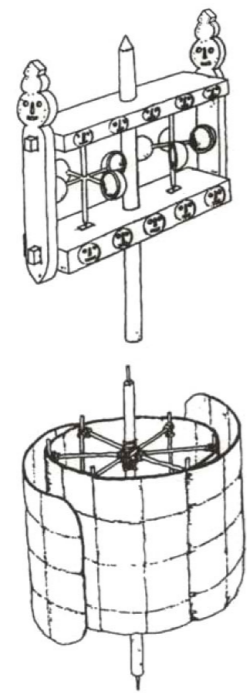


fig. 6. Rueda de Oración  
Tíbet y Mongolia  
Según J. C. Cádiz

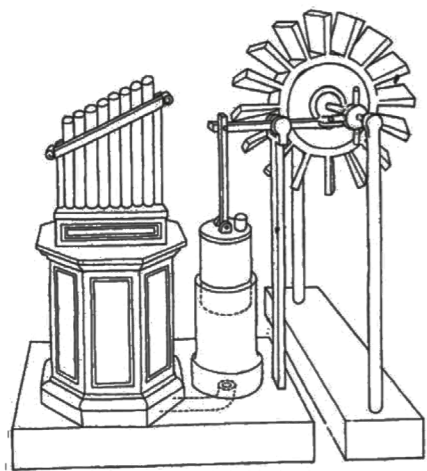


fig. 7. Aneuriom  
s. II d. C.  
Según J. C. Cádiz

El uso del viento como fuerza motriz es uno de los aprovechamientos que datan de mayor antigüedad. En un grabado egipcio del IV milenio a. C., se deja constancia de los primeros veleros propulsados gracias a la resistencia al viento que oponían sus velas.

Algunas referencias [1] sitúan hacia el año 1.700 a. C., el uso de la energía del viento para el riego de cultivos por parte del rey de Babilonia Hammurabi al conquistar la totalidad de Mesopotamia.

El papel cultural y religioso de cada época marcaba el desarrollo tecnológico de la civilización. En la mitología griega las fuerzas de la naturaleza eran de uso exclusivo de los dioses, los cuales no aceptaban con agrado ningún tipo de intromisión en sus dominios. Una existencia basada en la agricultura y ganadería de subsistencia, y una estructura social históricamente con mano de obra esclava hicieron que el interés del hombre por desarrollar maquinaria de potencia resultara irrelevante durante siglos.

La aparición del ingenio o rueda hidráulica se sitúa en el s. III a. C. [2], considerándose la primera maquinaria que obtenía fuerza mecánica de un elemento natural. Los molinos de viento presentaban mayores dificultades técnicas para la época.

Otro registro del uso del viento en épocas tempranas se sitúa en el Tíbet y Mongolia mediante las ruedas de oraciones, unos mecanismos de eje vertical que aprovechaban el viento para producir sonidos rituales. Este tipo de mecanismo es situado por algunos autores en una época anterior al s. II a. C. fig. 6

Siglos después la Escuela de Alejandría acogió a ingenieros como Herón de Alejandría (s. II d. C.), a quien se atribuye la invención de un artilugio conocido como *Aneuriom*, cuyo fin era hacer funcionar un órgano. fig. 7

La figura arquitectónica más primitiva que se asocia a la realización de un trabajo mecánico gracias al viento es el molino, el cual fue muy posterior incluso al período griego, a pesar de su documentado desarrollo científico y tecnológico.

Los primeros molinos se ubicaron en las llanuras persas del Sijistán (actualmente en territorio iraní y afgano), una región caracterizada por la periodicidad de vientos muy fuertes. Eran de eje vertical, elementales y de fabricación tosca. Los geógrafos árabes Al-Tabari y Al-Masudi documentan lo extendido que estaba el uso de estos molinos de viento en estas llanuras. Se considera esta región el germen del aprovechamiento de la energía eólica aplicada posteriormente a la extracción de agua y molienda de grano. fig. 8

La cultura china ya usaba con anterioridad al año 400 d. C. unos molinos denominados panémonas, usados principalmente para bombear el agua y que destinaban al riego. Al igual que los molinos persas, eran de eje vertical. Sus palas estaban compuestas por velas orientables de paneles textiles amarradas a largueros de madera o bambú. De ser cierta su aplicación cronológica, podrían considerarse como las precursoras de los molinos persas de eje vertical. Esta tipología de molino, se ha venido utilizando hasta la actualidad en regiones chinas sin mejoras técnicas destacables. fig. 9

Otra corriente aboga por el origen occidental de los molinos de viento de eje horizontal. Consideran que aunque pudieron ser conocidos con anterioridad, la abundancia documental apunta a que el uso generalizado de molinos de viento se produjo durante los primeros siglos del Islam. [2]

Los molinos de eje horizontal también se presuponen originados en la región de la antigua Persia, anterior a la época islámica, como respuesta a la necesidad de adaptación de los molinos de viento de eje vertical a la extracción de agua. En un sistema de eje horizontal, la posición del rotor es más adecuada para hacer girar una noria sin tener que recurrir a engranajes complejos para la época.

El rotor de estos molinos de eje horizontal lo componían seis u ocho velas similares a las de los sistemas de navegación. Estos molinos de velas se extendieron por todos los territorios de influencia del Islam, hacia el Oeste por toda la vertiente del Mediterráneo, y hacia el Este por India y China.

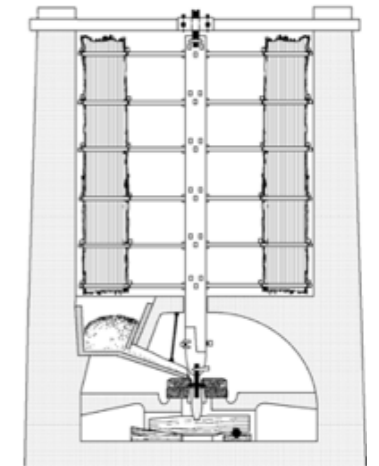


fig. 8. Molino Persa  
Según Fernández-Díez

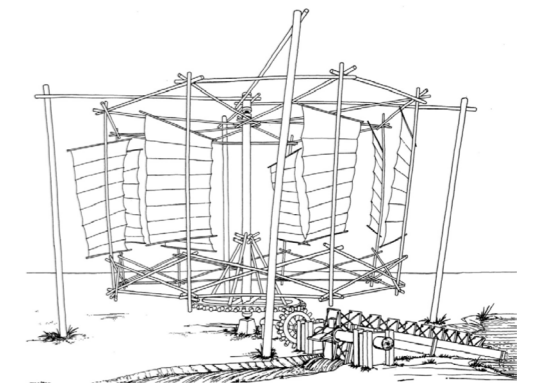
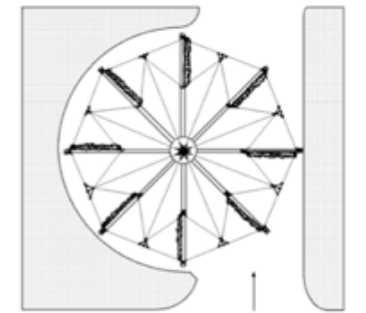


fig. 9. Panémona  
Según Fernández-Díez

1. Fernández Díez, (2.000)
2. Cádiz-Deleito y Ramos-Cabrero, (1984)



## 2. 2. Clasificación y expansión en la Península Ibérica

A partir de los s. XI y XII, la difusión del molino de viento como maquinaria capaz de transformar la energía eólica en energía mecánica toma dos vertientes diferenciadas: [3]

-Vertiente mediterránea: a través de la civilización islámica, llegando hasta la mitad de la Península Ibérica.

-Triángulo formado por Bretaña, Inglaterra y Países Bajos: se cree que pudo difundirse a través de los cruzados al volver de Palestina, siguiendo las rutas comerciales del sur de Rusia y del mar Báltico.

### Tipología de Molinos de Viento

- Eje vertical
- Eje horizontal:
  - Molino de poste (nórdico), también conocido como molino de pivote.
  - Molino de trípode, construido sobre machones. Se considera una variante del molino de poste.
  - Molino de torre o de caperuza móvil. Debido a la abundancia de esta tipología en el área mediterránea, suele ser denominado como molino mediterráneo.

### Molinos de Viento Mediterráneos

Suelen clasificarse según la forma de las aspas:

-De velas triangulares, conocidos como panémoros. Típicos de Portugal, Madeira, Azores y algunos de Canarias, Andalucía, Cartagena, Islas Baleares y Grecia. fig. 10

-Eje de cuatro aspas rectangulares, cada una compuesta por vara central, dos varas laterales paralelas y ocho o más travesaños. Propio de Canarias y sur de Francia. fig. 11

-Eje de cuatro aspas rectangulares, pero con cuatro o seis varas laterales y quince o más travesaños. Propio de Baleares, La Mancha y Sicilia. [fig. 12] En Baleares es frecuente encontrarnos este tipo con seis velas, mayor número de travesaños y un eje central sobresaliente al que se sujetan mediante cables las varas extremas que conforman las velas.

2. Cádiz-Deleito y Ramos-Cabrero, (1984)  
3. Rojas-Sola, JI; Amezcua-Ogáyar, JM (2.005)

## 2. ESTADO DE LA TÉCNICA

En pleno apogeo de la cultura árabe, el molino de viento no sólo se expandió, sino que se desarrolló y se adaptó técnicamente su uso y su método constructivo en base a cada región de implantación. [2]

Los primeros molinos de molienda eran rudimentarios ingenios con rotor fijo, sin posibilidad de orientación según la dirección que tomara el viento. Con el tiempo evolucionaron hasta convertirse en los típicos molinos de tipo torre y vela, englobados en la denominada tipología de molino mediterráneo, pues durante los s. XII-XIII adquirieron gran difusión por la cuenca sur mediterránea.

En la Península Ibérica coexistieron molinos de tipología nórdica, otros al estilo persa, es decir, de eje vertical, y molino de torre mediterráneo, siendo este último el más extendido.

En Portugal la primera referencia conocida de un molino de viento, se cree que de eje vertical, data del año 1.000 d. C.. Posteriormente y asociados a la industria del azúcar, se encontraron molinos de eje vertical, y se denominan molino portugués.

En tiempos de la España califal, durante el s. X, ya eran conocidos los molinos de viento, aunque los hidráulicos estaban más extendidos.

Las referencias más claras sobre molinos de viento de eje horizontal en territorio portugués se remontan al s. XII, y contaban con un curioso sistema para advertir al operario de los cambios de dirección que pudiera sufrir el viento durante la molienda mediante un sistema de vasijas cerámicas que generaban distintos sonidos en función de la incidencia del viento en sus embocaduras.

Durante los reinos musulmanes aparecen molinos de viento mediterráneos primitivos, de velas. En España los molinos de viento fueron anteriores y más numerosos que en Portugal. El primer molino de viento del que se tiene constancia en España es en Tarragona, de finales del s. X o principios del s. XI. [3]

En los reinos cristianos de la Península Ibérica el molino de viento es posterior a los molinos de los reinos musulmanes. En el Libro del Buen Amor del Arcipreste de Hita, en 1.330 aparecen bajo la denominación de de atahonas,

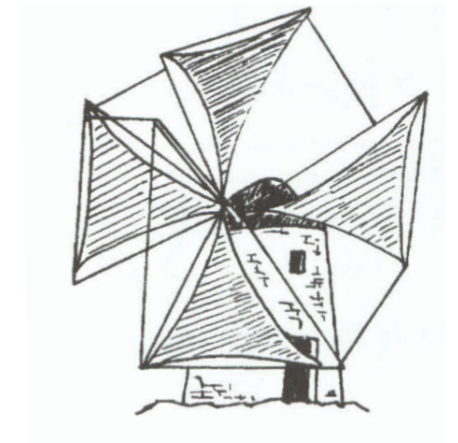


fig. 10



fig. 11

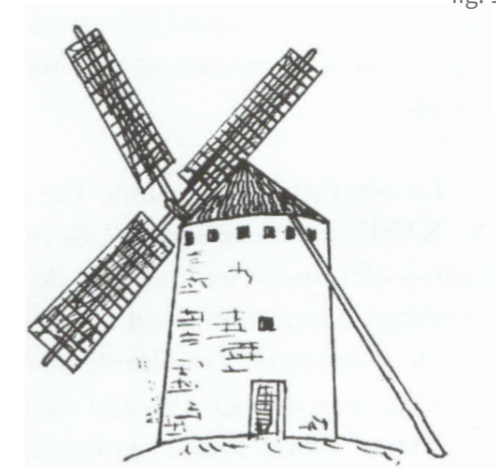


fig. 12

fig. 13. Tipología de molinos de viento mediterráneos según Krüger (1931)

que según el autor Caro Baroja [5] está relacionado con el término utilizado en el s. X para referirse a los molinos del Sijistán, *tahuna*.

Durante el s. XVI las referencias a molinos de viento manchegos van en aumento, lo que hace suponer que durante este periodo se extiende su uso. No obstante otra vertiente apunta a que se puede interpretar que la confusión que experimenta Don Quijote creyendo gigantes a los molinos, se debe a que se trata de ingenios novedosos, nada corrientes antes de 1.575.

Sí se cuenta con evidencias de su conocimiento en época de Fernando II e incluso de Carlos V. [4]

Las primeras ordenanzas específicas sobre molineros de viento datan de 1.550, y es a partir de esa fecha cuando aparece un censo en el Monasterio de Uclés. Además, como referencia iconográfica fundamental para el conocimiento y localización de molinos de viento particularmente en España, pero también a nivel europeo durante la segunda mitad del s. XVI, contamos con dos fuentes:

-La colección de vistas de ciudades europeas del pintor flamenco Anton Van den Wyngaerde, que recorrió la península entre 1.561 y 1.571 por un encargo del monarca Felipe II. fig. 14

-La edición *Civitates Orbis Terrarum* de 1.572, publicada por Georg Braun y Frans Hogenberg. Contiene dibujos ejecutados sobre grabados realizados por el holandés Joris Hoefnagel, y que recoge cantidad de vistas de ciudades españolas que visitaron durante el periodo de 1.563-1.567. fig. 15

Existen dos documentos censales posteriores, el del Catastro de Ensenada de 1.750-56 y el Diccionario Geográfico, Histórico y Estadístico de España y sus Posesiones de Ultramar de 1.846. Ambos recogen el mismo número de molinos existentes.

En 1.998 se desarrolló una actualización del mapa de molinos de viento españoles, lo que indica el interés permanente que despierta en la sociedad el conocimiento y reconocimiento de estos ingenios como un elemento de identidad cultural.

4. Arroyo Ilera, F. 51 (2.012)  
5. Caro-Baroja, J (1.952)

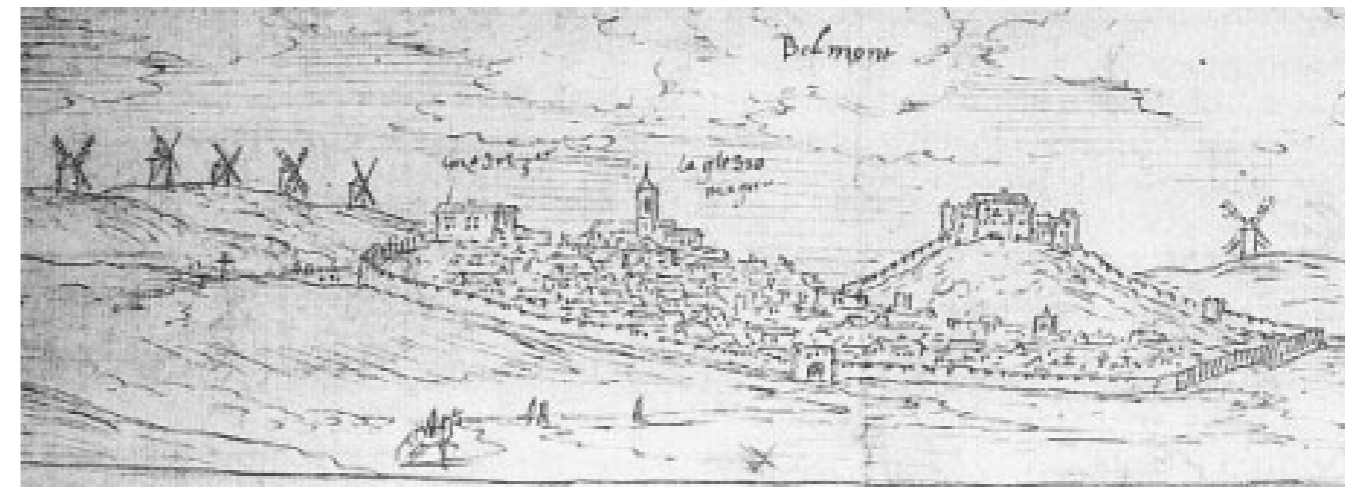


fig. 14. Vista de Belmonte (1.563-65)  
Anton Van den Wyngaerde



fig. 15. Grabado de Marchena (Sevilla)  
Joris Hoefnagel (1.565)  
Estampa: aguafuerte y buril; 172 x 492 mm  
Publicado en *Civitates Orbis Terrarum*/ Braun;  
Hogenberg. 4º Libro (1.588)

## 2. 3. Evolución tecnológica de los Molinos de Viento

En el s. XVI la aparición del hierro como elemento constructivo se aplicó también en los molinos de viento, permitiendo solventar dificultades técnicas. A final de la Edad Media se observa una rápida innovación de los ingenios eólicos. Europa experimenta durante el s. XVI una etapa innovadora de cierta industrialización, similar a la que tendrá lugar durante el s. XIX, pero con epicentro en la República de Venecia. El cambio se vio reflejado fundamentalmente en los métodos de producción. Se necesitaba mejorar la capacidad de producción, lo que justificó la aplicación de técnicas más avanzadas que mejoraban el rendimiento y la calidad.

En un primer momento el molino hidráulico fue el sistema más usado, pues ofrecía un impulso constante y regular. Por ello las zonas industriales medievales solían localizarse en emplazamientos fluviales. En esta época podemos situar los trabajos de Leonardo da Vinci sobre un molino tipo torre. El molino de viento desempeñó en este periodo un papel secundario, aunque importante a su vez, como fuente de energía alternativa. En algunas zonas seguía siendo el único recurso capaz de obtener fuerza motriz de un elemento natural.

Desde finales del s. XVI las aplicaciones para las que fueron destinados los molinos de viento iban en aumento. Además de las tradicionales se emplearon para mover serrería, fabricar pasta de papel o pólvora, prensa de aceite, en la obtención de sal, drenaje, minería... Por ejemplo, desempeñaron un papel crucial desecando los polders en Holanda. Entre 1.608 y 1.620 gracias a 26 molinos se desecó el polder Beemster o el de Alblasserwaard, hacia 1.740, con 19 molinos. fig. 16

A medida que la demografía de las ciudades crecía el papel que desempeñan los molinos va en aumento para poder abastecer de harina y agua a la población, sin que se produzcan avances técnicos hasta la llegada del período ilustrado.

En 1744 Daniel Bernouilli desarrolla en su *Traité de l'équilibre et du Mouvement des Fluides*, un concienzudo análisis sobre factores y parámetros

4. Arroyo Ilera, F. 51 (2012-2)  
5. Caro-Baroja, J (1.952)

que intervienen en la generación de turbinas de viento. Desde 1.781 Coulomb publica numerosos estudios, llegando a componer una serie de clásicos de la literatura eólica. Desarrolla incluso ensayos, publicados en 1.779, que concluyeron que la rotación óptima de los rotores de una turbina quedaba establecida, en aquella época, entre 13° y 15°.

La obra teórica más importante del s. XVIII y s. XIX, estuvo firmada por Smeaton, quien llega a la conclusión de que la potencia obtenida del viento no depende de la superficie de las palas, sino del área de barrido, conocimiento fundamental en el desarrollo del rotor eólico.

Prácticamente en toda Europa se impone el molino tipo torre de eje horizontal, ya que una vez estudiada la orientación, proporcionaban mejor rendimiento y más facilidad de regulación, por lo que siguieron evolucionando exitosamente. fig. 17

La primera etapa de la revolución industrial incidió principalmente a la maquinaria y al utillaje textil, aunque el mundo rural, al estar en un principio limitado a las ventajas del vapor, permitió que los molinos siguieran utilizándose.

Desde finales del s. XVIII y principios del s. XIX los molinos de viento alcanzan en Europa su mayor nivel de perfeccionamiento técnico. Tras este periodo, la presencia de molinos no sólo se extiende por toda Europa, sino que comienzan a hacerse presentes en Estados Unidos, Canadá, Latinoamérica..., es decir, en aquellos países en los que los europeos se establecían.

No obstante los molinos empezaban a quedar a la sombra de los nuevos sistemas de producción surgidos en la revolución industrial, pues contaban con una potencia efectiva limitada frente a éstos. En la segunda mitad del s. XIX comienza a desarrollarse la nueva generación de turbinas eólicas. A pesar de ello su campo de aplicación quedaba aún relegado al ámbito rural o zonas aisladas, áreas en las que la industrialización tardaba en llegar, y con el fin exclusivo aún de bombear agua de los pozos.

## 2. ESTADO DE LA TÉCNICA



fig. 16. Molinos de Kinderdijk construidos hacia 1.740. Patrimonio de la humanidad de la UNESCO. Encargados de desecar el polder de Alblasserwaard. Imagen de Andzelina Hanke. <https://www.holland.com/es/>

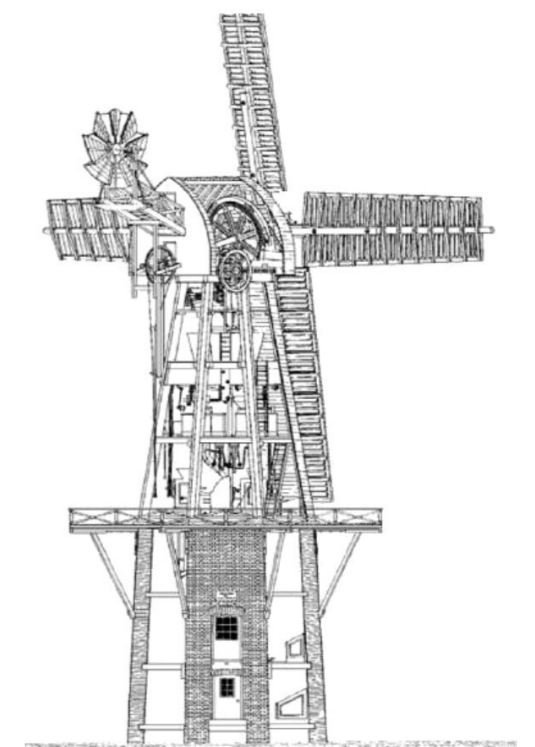


fig. 17. Dispositivos de auto-orientación, regulación de velocidad y regulación de holgura de muelas.

## 2. 4. De la energía mecánica a la energía eléctrica

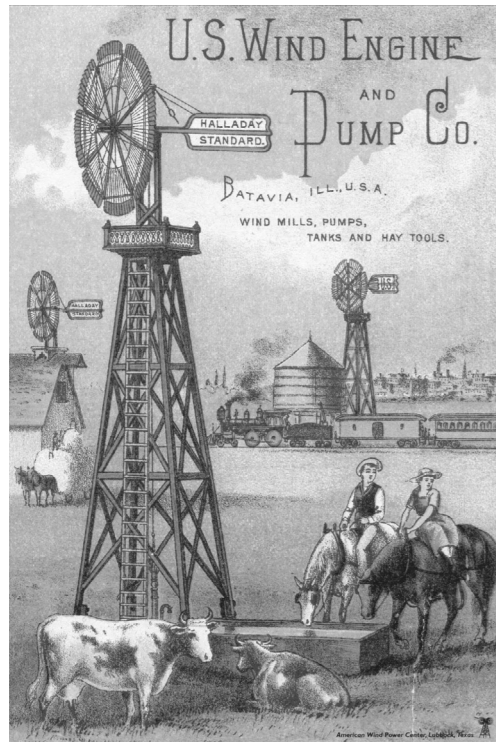


fig. 18. Bomba eólica de Halladay (1.854)  
U.S. Wind Engine. American Windmill  
Museum, Inc.  
<https://store.windmill.com/products/u-s-wind-engine>  
(consultado: Abril de 2.020)

En 1.854 aparecen en Estados Unidos las primeras bombas eólicas, desarrolladas por Daniel Halladay [fig. 18]. En 1.883 otro modelo llegaría a convertirse en el molino de viento más extendido de todos los existentes hasta la época. Se trataba de un molino multipala, mucho más ligero y con una capacidad para elevar 150 litros/min a 8 metros de altura mediante una bomba de pistón. Su papel fue esencial en la colonización del oeste americano. Al igual que ocurrió en La Mancha con nuestros molinos de viento mediterráneos crearon en la retina del habitante una imagen propia, seña identificativa de una época.

Con las bombas multipala se iniciaba un nuevo camino en el campo de la energía eólica al haber evolucionado el diseño, pero el uso al que iban destinadas seguía restringido casi exclusivamente al hidrobombeo, de sobra conocido en Europa, por lo que el nuevo diseño aún no despertó gran interés.

A finales del s.XIX se inicia el que será el comienzo de la gran revolución para la energía eólica: reconvertir viejos molinos de manera que fueran capaces de generar electricidad. El concepto actual de aerogenerador fue creado en 1.802 por Lord Kelvin, físico y matemático británico, quien tuvo la idea de acoplar un generador eléctrico a un aeromotor. Habría que esperar hasta 1.850, fecha en la que se inventó la dinamo, para ver materializarse al antecedente del aerogenerador.

En 1.888 Charles F. Brush construye la que se cree que es la primera, y más grande del mundo, turbina eólica de funcionamiento automático para generar electricidad de la historia en Cleveland (Ohio). [fig. 19] En 1.890 Poul la Cour basándose en el conocimiento adquirido tras la construcción de la turbina de Brush, descubre que las turbinas eólicas de giro rápido con pocas palas de rotor son más eficientes que las de giro lento para la producción de electricidad. Fruto de sus ensayos la Cour diseñó el primer prototipo de aerogenerador eléctrico. [6]

Con la llegada de la Primera Guerra Mundial la demanda de electricidad aumentó y en contraste con la escasez de recursos para conseguir petróleo, continuó el desarrollo de generadores eólicos como alternativa energética.

6. Asociación danesa de industria eólica  
<http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/pictures/index.htm>  
(consultado: Junio 2.020)

## 2. ESTADO DE LA TÉCNICA

La década posterior a la crisis de 1.929 propició en los países occidentales una política proteccionista que promovía la utilización de energías renovables como la eólica.

En estos primeros aerogeneradores el principal problema era el almacenamiento de la energía. Destaca en este punto la figura del físico alemán Albert Betz, considerado padre de la energía eólica, que en 1.926 publicó el primer tratado sobre la teoría aerodinámica aplicada a las turbinas eólicas. Una de sus conclusiones es que la potencia real obtenida de una turbina eólica sea cual sea su diseño, no superará un rendimiento de 16/27 (59%) de la potencia teórica.

En 1.930 se diseña la primera turbina eólica de gran escala y de corriente alterna en Estados Unidos, la conocida como turbina Smith-Putnam, instalada en Vermont en 1.941. fig. 20

Dinamarca ha sido un referente en el desarrollo de la energía eólica. Ya ocurrió con la Cour, y vuelve a ocurrir durante la Segunda Guerra Mundial. La crisis de suministro durante ésta hizo que el interés de Dinamarca por la energía eólica se afianzara. La compañía danesa de ingeniería F. L. Smidth construyó diversos aerogeneradores bi y tripala, aunque el “concepto danés” se refiera a máquinas tripala, que son las más comunes actualmente.

Tras la primera crisis del petróleo en 1.973 el interés de los países en las energías alternativas crece. Respecto a la energía eólica países como Dinamarca, Alemania, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos, dirigen su atención a la construcción de grandes aerogeneradores. Esta estrategia derivó en un resultado contrario: turbinas extremadamente caras, y por lo tanto, alto precio de la energía obtenida.

En los años 80 se produce una ruptura industrial y tecnológica que dio paso a los modernos aerogeneradores. A partir de 1.986 vuelve el interés por producir energía limpia y renovable a precios competitivos. El coste del kWh de electricidad cayó alrededor del un 50% gracias a la aparición de esta nueva generación de turbinas, e introdujo a su vez la liberalización de un mercado y su consiguiente competitividad.

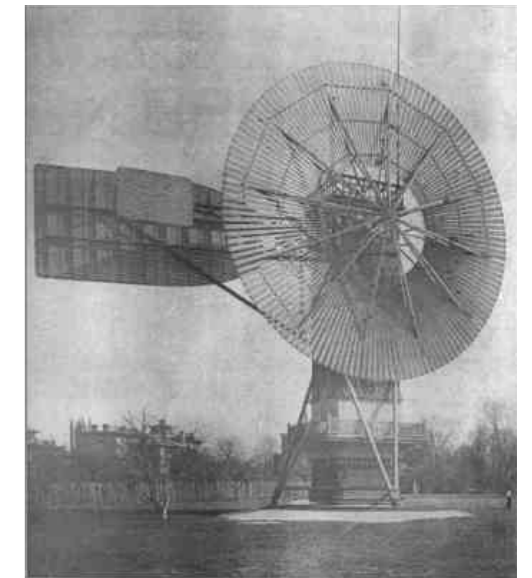


fig. 19. Turbina Eólica de Brush (1.888)  
[https://www.ecured.cu/Charles\\_Francis\\_Brush](https://www.ecured.cu/Charles_Francis_Brush)  
(consultado: Abril de 2.020)

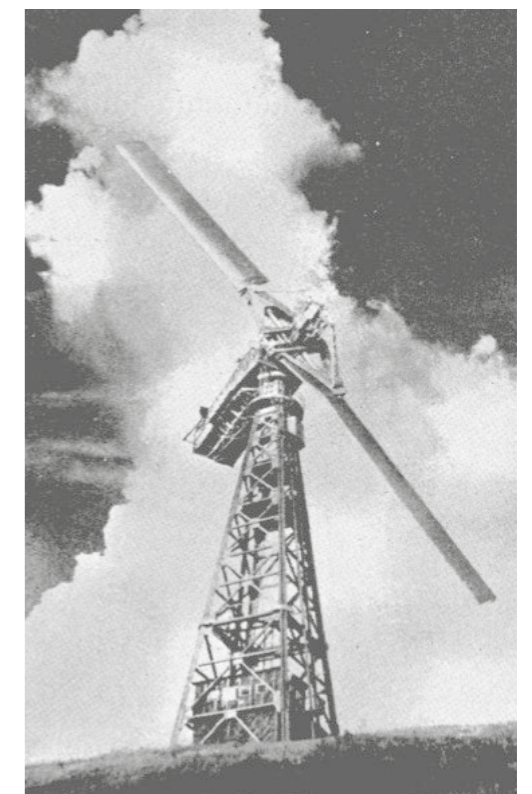


fig. 20. Turbina Smith-Putnam. Castleton,  
Vermont, USA.  
(1.941)

## 2. 5. Clasificación de los Aerogeneradores

Un aerogenerador es aquél sistema capaz de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica para luego, por medio de un generador, producir energía eléctrica. Una turbina eólica produce energía eléctrica mediante la rotación, históricamente el sistema más empleado, pero en la actualidad se han desarrollado y siguen desarrollándose nuevos sistemas.

Para aprovechar la energía eólica se dispone de diversas tipologías. El término turbina o el concepto molino de viento, han quedado obsoletos para definir con propiedad al conjunto de aerogeneradores de los que disponemos y que se pueden clasificar según los siguientes parámetros:

### 1. Sistema aerogenerador:

#### -Rotación

-Eje Horizontal (*HAWT: Horizontal Axis Wind Turbines*)

Número de palas:

- Monopala
- Bipala
- Tripala
- Multipala

Tipos de pala

- Paso fijo
- Paso variable

Tipo hélice

- Sotavento o *Downwind*
- Barlovento o *Upwind*

-Eje Vertical (*VAWT: Vertical Axis Wind Turbines*)

- Savonius
- Darrieus
- Giomill

#### -Sistemas especiales

- Succión o ciclónico
- Chimenea eólico-solar
- Vorticidad/Oscilación(Resonancia aerolástica)

### 2. Localización:

- On-shore
- Off-shore

1. Fernández Díez, (2.000)  
7. Forti, JC y Garcia-Arilla, EL. (2017)

## 2. ESTADO DE LA TÉCNICA

### 3. Potencia que produce un aerogenerador:

- Micro-aerogeneradores (<1 kW)
- Mini-aerogeneradores (1 kW-10 kW)
- Aerogeneradores de baja potencia (Hasta 100 kW)
- Aerogeneradores de media potencia (100 kW-1.000 kW)
- Aerogeneradores de alta potencia (1.000 kW-10.000 kW)

Esta clasificación suele hacerse extensible a la energía eólica. Por tanto, es habitual referirse a la Micro-eólica, Mini-eólica y Eólica de Baja, Media y Alta potencia.

El sistema propuesto en el presente TFG queda englobado en un sistema aerogenerador especial de resonancia aerolástica, con una producción de micro-eólica.

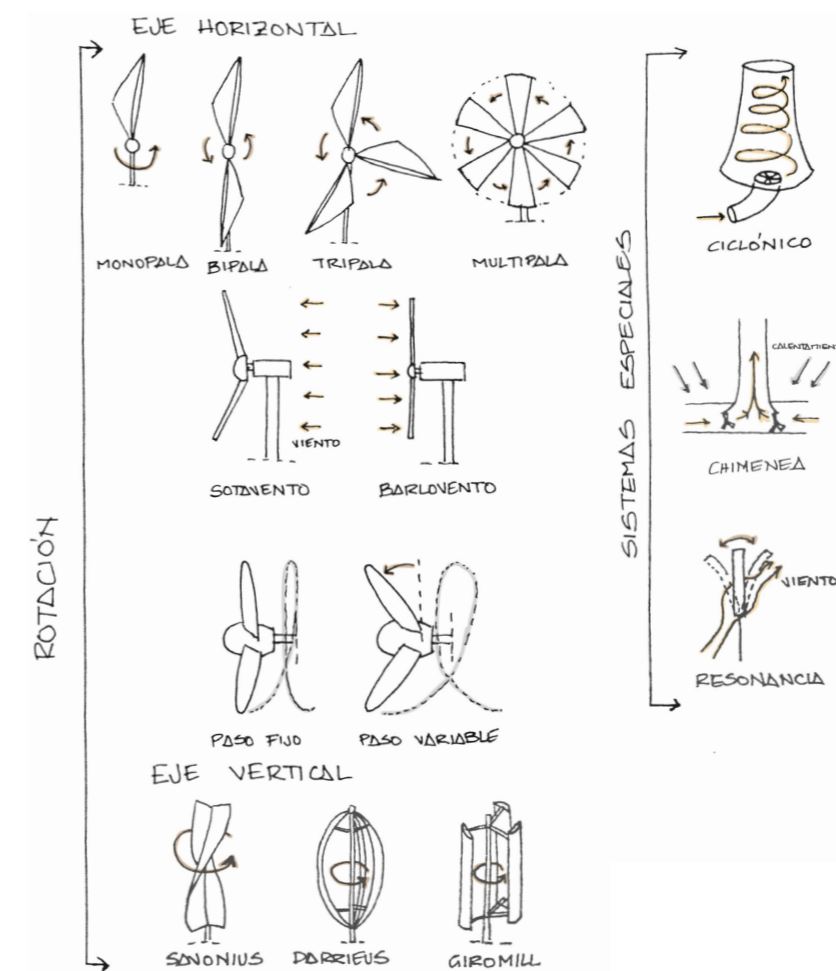


fig. 21. Esquema de clasificación de aerogeneradores. Elaboración propia

### 3. METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA

Para el desarrollo de la propuesta del sistema aerogenerador se lleva a cabo un proceso de estudio, toma de datos y diseño que conlleva avances y retrocesos necesarios para la adecuación del prototipo inicial en una aplicación de repetición del elemento que conformen un dispositivo eficiente en el entorno estudiado, pero adaptable según nuevas necesidades.

El germen de esta idea surge tímidamente durante el desarrollo docente. Sin embargo, para llevarla a cabo se sigue el siguiente esquema de trabajo empírico sin perder de vista el carácter arquitectónico.

- 1.** Se establece un estudio de casos en los que el viento y la energía eólica asumen un papel protagonista en el proyecto de intervención arquitectónico o paisajístico. A partir de ellos se analizan los pros y contras que ofrecen para esta propuesta concreta.
- 2.** Documentación y estudio de los conceptos físicos básicos y de dinámica de fluidos aplicables en el sistema de generación aerolástica.
- 3.** Aplicación de todos los conocimientos extraídos para perfeccionar un prototipo que responda a las expectativas energéticas y estéticas, teniendo en cuenta en su diseño el emplazamiento asociado a los invernaderos que, en este caso, adoptará.
- 4.** En este punto se produce de manera intencionada un alejamiento a una escala general en el que se estudian los parámetros que configuran la localidad de Carchuna. Orografía, climatología, situación actual del cultivo protegido bajo plástico y sus características. Una vez obtenidos esos factores, se retoma el prototipo al disponer de los datos necesarios a los que someter a ensayo.
- 5.** Elaboración del ensayo según parámetros y situaciones consideradas en el punto anterior, toma de datos y conclusiones arrojadas.
- 6.** Propuesta de implantación del sistema aerogenerador asociado a las estructuras de cultivos bajo plástico de la localidad de Carchuna.
- 7.** Detectar y proponer nuevas aplicaciones del sistema en entornos y situaciones distintas a las que puede adaptarse.

fig. 22. Camino Iryda. (2.015)  
Carchuna, Granada  
Imagen propia



## 4. CASOS DE ESTUDIO

**Bahrain World Trade Center**  
*Manama, Baréin*  
*WS Atkins*



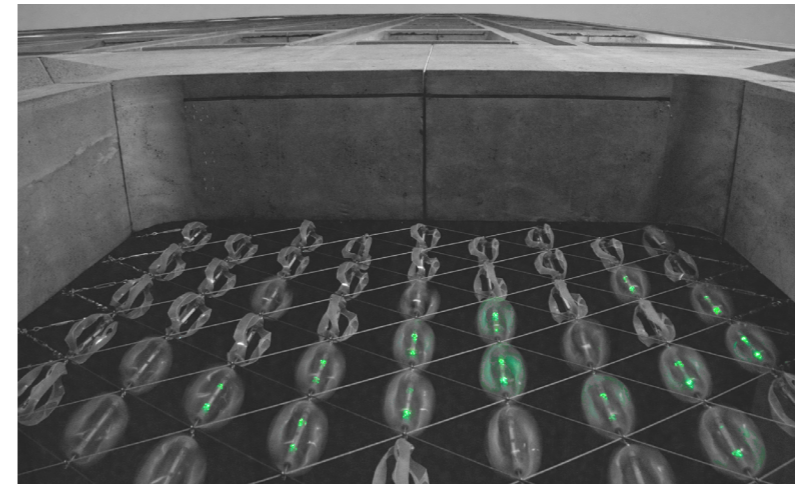
**Torre Eólica**  
*Valencia, España*  
*Fran Silvestre Arquitectos*



**Power Tower**  
*Taichung, Taiwán*  
*NL Architects*



**Strawscraper**  
*Estocolmo, Suecia*  
*Belatchew Arkitekter*



**Windscreen**  
*Cambridge, MA, EE.UU*  
*Höweler + Yoon Architecture*



**Tacoma Vortex**  
*Ávila, España (prototipo)*  
*David Yáñez, Vortex Bladeless*

## 4. 1. Bahrain World Trade Center

Manama, Baréin. Shaun Killa of Atkins



fig. 23. Vista del BWTC.  
Killa Design.  
<https://www.killadesign.com>

Inaugurado en 2.008 en el paseo marítimo de Manama, ostenta el honor de ser el primer rascacielos que utiliza energía eólica para abastecer parte de las necesidades del complejo.

Dos torres gemelas de forma elíptica en planta que se van estrechando en su eje mayor hasta funcionar como alerones capaces de canalizar las corrientes de viento del Golfo Pérsico hacia las turbinas eólicas ubicadas en los tres puentes de conexión entre los dos cuerpos.

En alzado el edificio proyecta la imagen de dos velas gigantes, tradicionalmente usadas en los barcos mercantes árabes, sobre un pódium de tres alturas que alberga un uso comercial.

Las torres alcanzan una altura total de 240 m en 50 niveles, sirviendo de centro de negocios, *parking*, centro comercial así como de espacio mirador en los últimos niveles.

Gracias a las tres turbinas eólicas de 29 m de diámetro, el complejo genera más de 1.100 mWh al año, lo que supone cubrir entre un 11 y un 15% de las necesidades energéticas del edificio.

La orientación norte de las turbinas permite incrementar la velocidad natural del viento hasta en un 30% creando una presión de aire negativa gracias al diseño de su geometría.

Por todo ello, el Bahrain World Trade Center (BWTC) recibió en 2.006 el LEAF Award por el mejor uso de tecnología en entornos amplios. Así mismo, en 2.008 obtuvo la mención como Mejor Edificio Alto de Oriente Medio y África por el CTBUH (*Council on Tall Buildings and Urban Habitat*). [8]

A pesar del aura innovadora que supuso su diseño la apuesta que hace el BWTC sólo es en apariencia arriesgada. Implementa tres aerogeneradores que no dejan de ser tradicionales turbinas empleadas en parques eólicos, suponiendo una apuesta segura pero sin carácter integrado o estético.

Mientras tanto, proyectos que pretendían desarrollar otra tecnología eólica fracasaron al suponer asumir un mayor riesgo experimental y mayor inversión.

8. Listado completo de Premios del BWTC.  
<https://www.bahrainwtc.com/architecture-design-awards/>  
(consultado: Abril 2020)

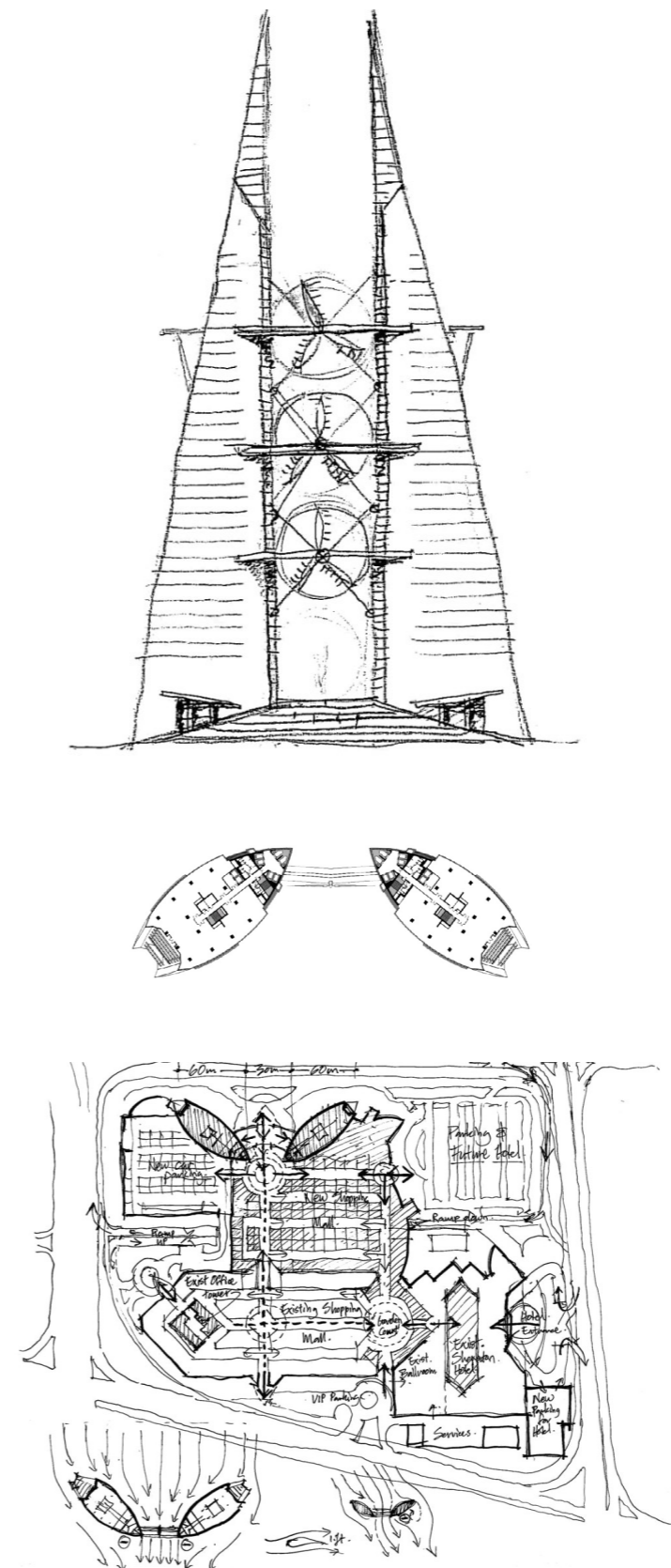


fig. 24. Alzado, planta y esquema de funcionamiento del BWTC.  
Killa Design.  
Obtenida de la web:  
<https://www.arch2o.com/bahrain-world-trade-center-killadesign/>  
(consultado: Abril 2.020)



## 4. 2. Torre Eólica

Valencia, España. Fran Silvestre Arquitectos



fig. 25. Estudio de implantación de Torre Eólica.  
Fran Silvestre Arquitectos

Torre Eólica se concibió en el año 2010 por parte del equipo de Fran Silvestre Arquitectos como un proyecto de investigación. Cuenta con la participación del Instituto Tecnológico de la Energía (ITE) y de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y en los próximos años se llevará a cabo con el apoyo financiero de *Net de Guerrers*, convirtiéndose en un centro de investigación de energías alternativas. [9]

Su emplazamiento en el extremo este de la bocana de la Marina de Valencia, permitirá que el edificio adquiera también reconocimiento como hito visual.

Pero son los principios de los que nace este futuro emblema los que lo convierten en un proyecto innovador. Será un edificio capaz de cubrir las necesidades energéticas de un núcleo poblacional estimado en 10.000 hogares a lo largo de un año valiéndose de energías renovables, las mismas que dan sentido a su existencia y que cierran el ciclo de la convivencia de la torre con su entorno. Energía solar, geotérmica y eólica bajo una misma piel. El proyecto contempla el uso de la energía eólica integrada en un núcleo urbano a través de un edificio desde su materialización.

La torre contará con 170 metros de altura y albergará usos diferenciados convirtiéndola en un espacio multifuncional. En las plantas inferiores se concentrarán oficinas, sala de conferencias y usos públicos. En las últimas plantas se alojará un restaurante mirador.

Las zonas curvas unirán los núcleos de comunicación y darán cobijo a las 1.000 turbinas de eje vertical tras una malla *deployé* que protege tanto a las turbinas como a las aves y que a su vez permite una sensación de piel continua del edificio. La cimentación profunda por pilotes posibilita la integración de energía geotérmica, el pódium permitirá obtener energía termoeléctrica y aquellas zonas rectas en contacto con el exterior servirán de soporte de placas fotovoltaicas.

La planta cuenta con tres núcleos de comunicación verticales conectados dos a dos, generando recorridos de entrada, salida y mantenimiento/emergencia diferenciados, que a su vez le confieren un buen comportamiento estructural. El viento lidiará con un núcleo rígido y con la geometría curva de la torre. En palabras de Fran Silvestre, Torre Eólica es *"Un hito que modifica su proporción dependiendo del punto de vista y de la incidencia de la luz del sol; mostrando un elemento en constante evolución. Una torre esculpida por y para el viento."* [10]

9. Según declaraciones de la Comisión Delegada. Extraído de:

<https://valenciaplaza.com/torre-eolica-marina-valencia-comision-delegada> (consultado: Marzo 2020)

10. FRAN SILVESTRE. Extraído de:

<http://fransilvestrearquitectos.com/projects/torre-eolica/>

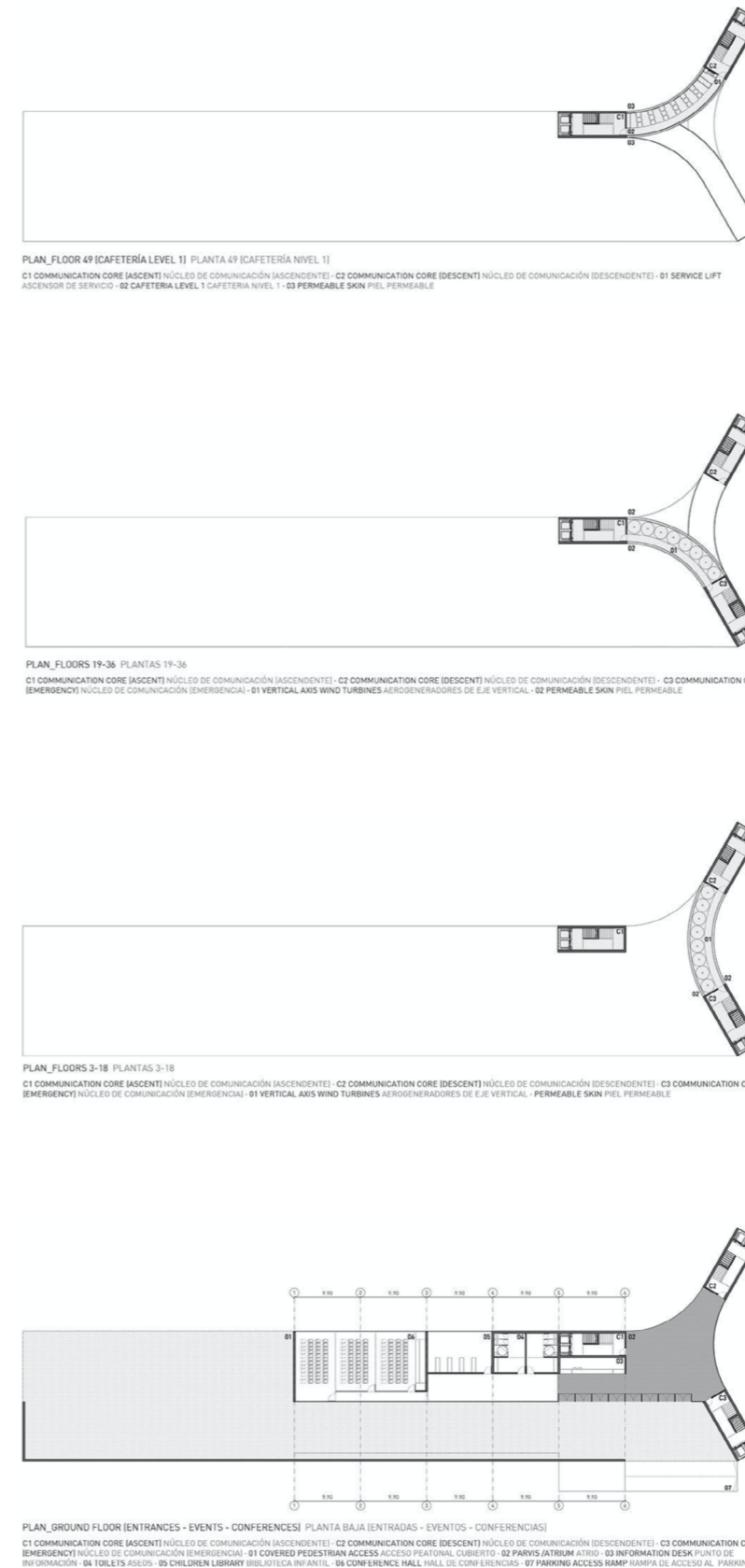


fig. 26. Desarrollo de niveles de Torre Eólica  
Fran Silvestre Arquitectos

### 4. 3. Power Tower

Taichung, Taiwán (concurso). NL Architects

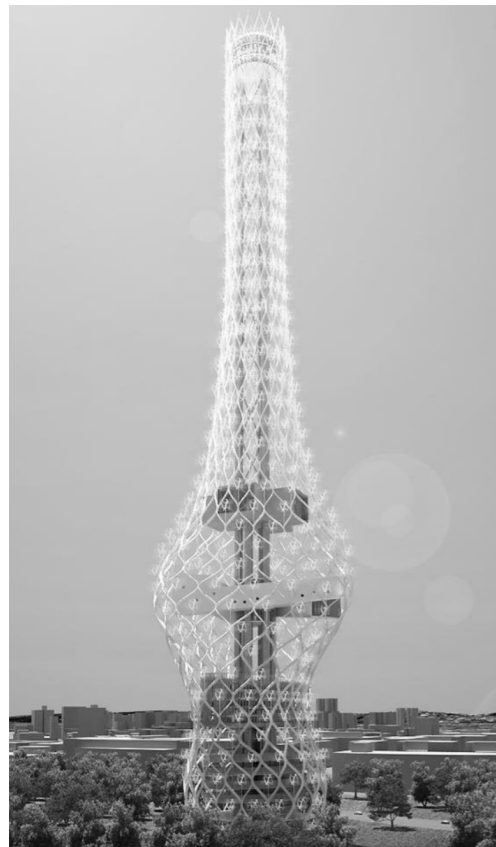


fig. 27. Estudio de implantación de Power Tower  
NL Architects

Power Tower es uno de los dos proyectos que presentó el equipo holandés NL Architects para el concurso internacional de ideas *Taiwan Tower Conceptual International Competition* en 2.010, convocado por el gobierno de la ciudad de Taichung para conmemorar el centenario de la fundación de Taiwán y celebrar la fusión del Condado y la ciudad de Taichung. Una segunda fase del concurso, el *Taiwan Tower International Competition*, propuesta en 2.011, tenía intención de erigir la *Taiwan Tower*. [11]

El nuevo hito se encontraría en el extremo sur del Taichung Gateway Park, que formaba parte del antiguo aeropuerto de la anterior Shuinan, actualmente ciudad de Taichung.

El resultado no debía buscar competir en altura con otras torres (se permitía un diseño de 300 m de altura), sino innovar con su diseño para albergar el Museo y Mirador de la ciudad de Taichung y su intención de convertirse en un icono en el horizonte.

En la primera fase conceptual, a la que pertenece el presente proyecto, resultó ganadora la propuesta *Floating Observatories*, del equipo rumano DSBA (Dorin Stefan Birou de Arhitectura) junto con Mihai Carciun y upgrade.studio.

En la segunda fase fueron el equipo de Sou Fujimoto Architects en colaboración con el equipo local Fei & Cheng Associates quienes resultaron ganadores con su propuesta *21st Century Oasis*. [12] La torre implementaba varios sistemas de energía renovable y diseño pasivo, lo que le haría obtener la acreditación LEED Gold. El proyecto, que inicialmente se presupuestó en 218,24 millones de €, fue incrementándose hasta los 409,20 millones de €, lo que supuso que en 2.015 el entonces alcalde optara por hacer frente a la indemnización y cancelar el proyecto. [13]

La característica diferenciadora del proyecto de NL Architects, es que la implantación de sistemas generadores de energía limpia se afronta desde un elemento formal en la torre, en este caso su piel. La implantación de aerogeneradores se afronta como un elemento compositivo principal desde la fase de diseño. No se trata de un edificio al que finalmente se le adicionan elementos que generen energía, que traten de ocultarse o disimularse pues sólo se conciben para un fin.

Aquí esos elementos configuran la estética del edificio, de manera más o menos acertada, pero su ubicación en cada uno de los nudos que conforman la bolsa que protege al tótem programático de la torre, adquiere un papel protagonista.

11. TAIWAN TOWER Conceptual Design International Competition Convocatoria de concurso y resultados. Extraído de: [http://okichiatlas.com/en/archives/taiwan\\_tower.php](http://okichiatlas.com/en/archives/taiwan_tower.php) (consultado: Mayo 2.020)  
12. TAIWAN TOWER International Competition Convocatoria de concurso y resultados. Extraído de: [http://okichiatlas.com/en/archives/taiwan\\_tower\\_competition.php](http://okichiatlas.com/en/archives/taiwan_tower_competition.php) (consultado: Mayo 2.020)  
13. Declaraciones del alcalde a medio nacional. Extraído de: <https://www.taiwannews.com.tw/en/news/2673306> (consultado: Abril 2.020)

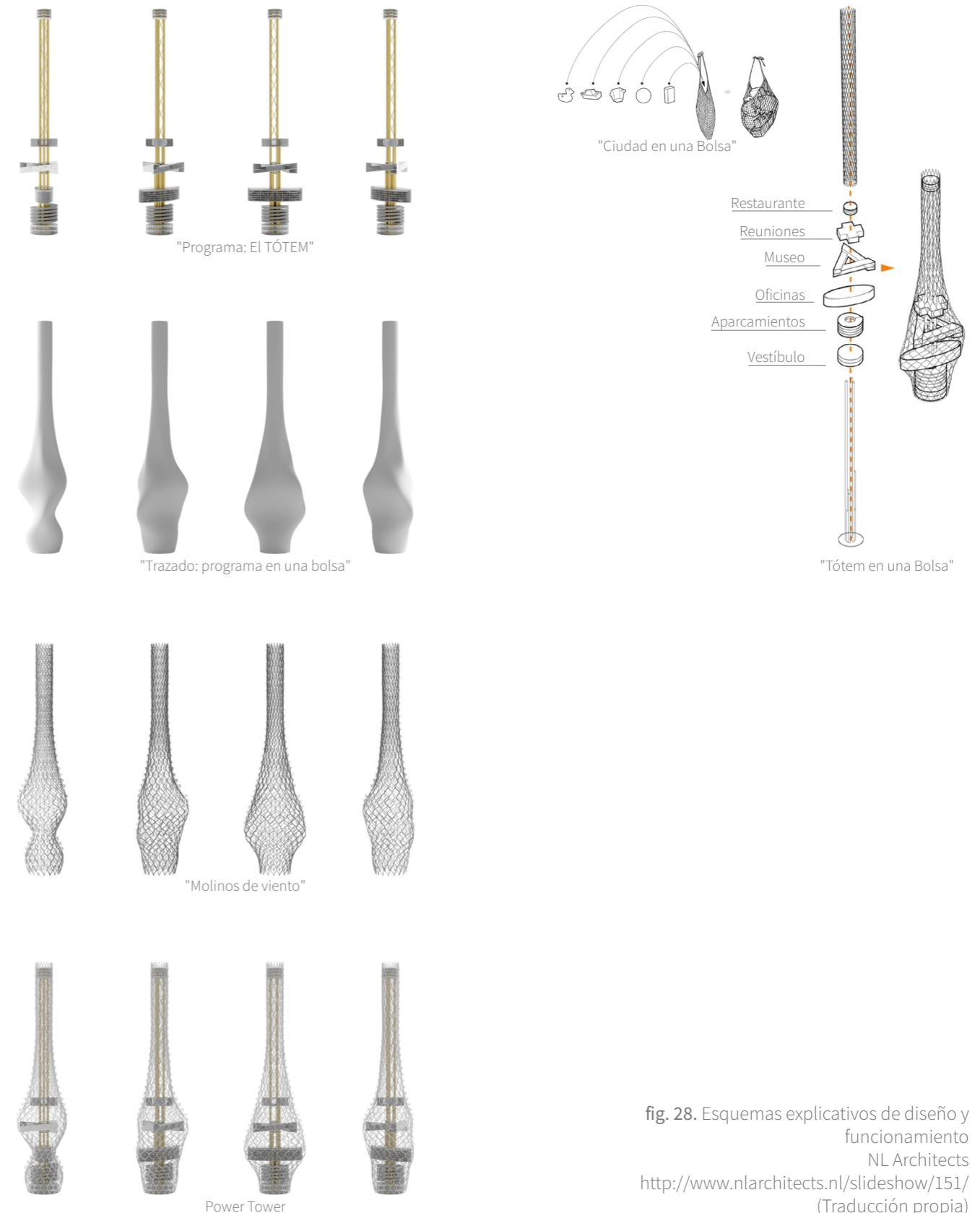


fig. 28. Esquemas explicativos de diseño y funcionamiento  
NL Architects  
<http://www.nlarchitects.nl/slideshow/151/>  
(Traducción propia)

## 4. 4. Strawscraper

Estocolmo, Suecia (experimental). Belatchew Arkitekter



fig. 29. Estudio de implantación de Strawscraper  
Belatchew Arkitekter

Strawscraper es el proyecto de ampliación de la torre residencial *Söder Torn* (Torre Sur) en el barrio de *Södermalm*. Diseñada en 1.989 con una previsión de 40 niveles, pero finalizó en 1.997 con tan sólo 26 plantas, cuando el arquitecto Henning Larsen ya había roto su contrato al perder influencia en el diseño de la torre. La "semi-torre" tiene planta octogonal, con 5 apartamentos por nivel y dos núcleos de comunicación vertical.

El proyecto experimental de Belatchew Arkitekter propone recuperar la altura original de la *Söder Torn* a la vez que le confiere una cobertura de aspecto capilar capaz de generar energía eólica. Una "piel peluda" que mediante el uso de tecnología piezoelectrica provoca que cada uno de esos "pelos" al oscilar con el viento, generen energía. Esta técnica de generación eólica, frente a las turbinas tradicionales, permite aprovechar bajas velocidades de viento y no perturba la convivencia con especies del entorno ni produce ruido.

De este modo, el aspecto que ofrece la fachada de la torre es constantemente cambiante a merced del viento, cual ser vivo que respira y expande su pecho, o cual cabellera ondulante bajo la brisa. Un nuevo elemento urbano que además de generar energía y dinamismo, ofrece durante la noche, gracias a la implantación de tecnología LED a ese tejido capilar, un paisaje lumínico ondulante. [14]

La ampliación propuesta que configura la fachada es un estructura hueca con una escalera helicoidal en su perímetro y que da acceso mediante un *promenade* a lo largo de la peculiar fachada al nivel superior de uso público. En este último nivel propuesto para la torre, la "piel peluda" da paso a una plataforma de uso público con restaurante como espacio mirador hacia la ciudad de Estocolmo.

El objetivo es crear conciencia de que en núcleos urbanos cualquier edificio puede contribuir a la generación y consumo de energías limpias sin renunciar a aportar valor estético a su entorno. Es un proyecto de ampliación de un edificio que pertenece ya históricamente a la retina del habitante, poniendo al servicio de la arquitectura avances tecnológicos de producción de energías renovables.

14. Vídeo-simulación del resultado.  
<https://vimeo.com/69116595>  
Extraído de la web Belatchew Arkitekter:  
<https://belatchew.com/en/projekt/strawscraper/>

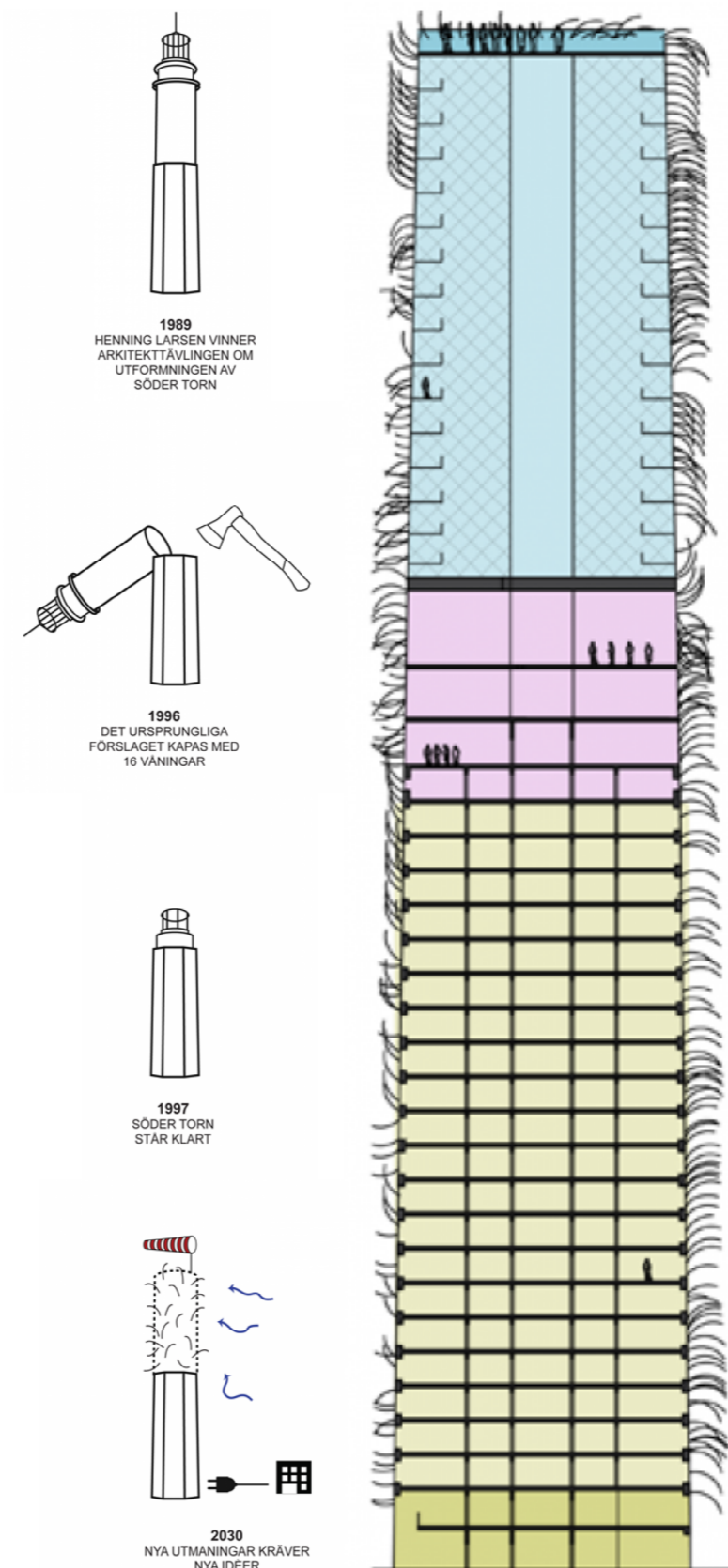


fig. 30. Esquemas explicativos de diseño y sección de ampliación propuesta  
Belatchew Arkitekter

## 4. 5. Windscreen

Cambridge, Massachusetts, EE.UU. Höweler + Yoon Architecture

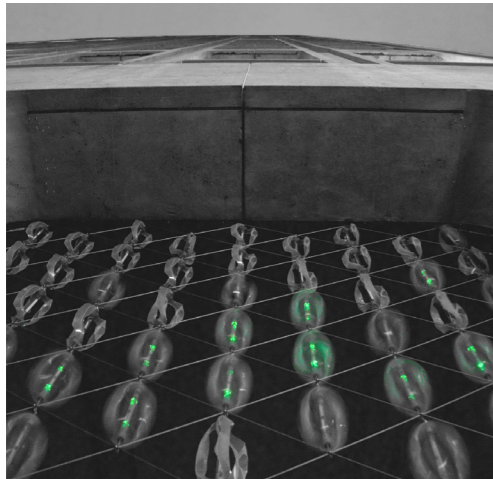


fig. 31. Instalación en fachada en el MIT Höweler + Yoon Architecture (2.011)

Windscreen es una instalación temporal interactiva de luz mediante energía eólica propuesta por el equipo de Höweler + Yoon para la fachada del edificio 54 en el campus del MIT [15] para el festival que se llevó a cabo en 2.011 para conmemorar el 150 aniversario de su fundación. Höweler + Yoon contaron con la colaboración de un equipo de estudiantes del propio campus (Arquitectura, Artes Visuales y Mecánica) del MIT para llevar a cabo la ejecución de la instalación artística. [16]

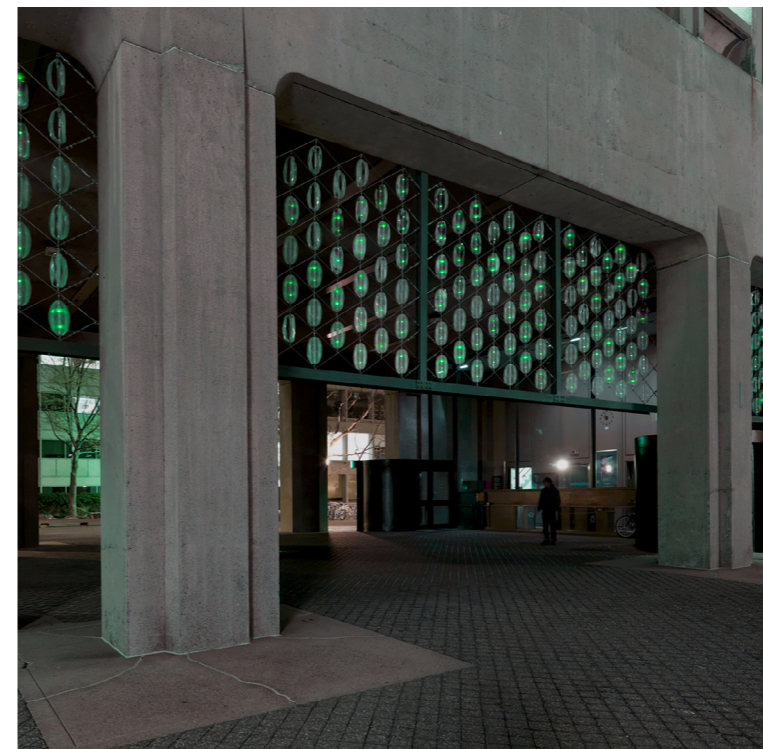
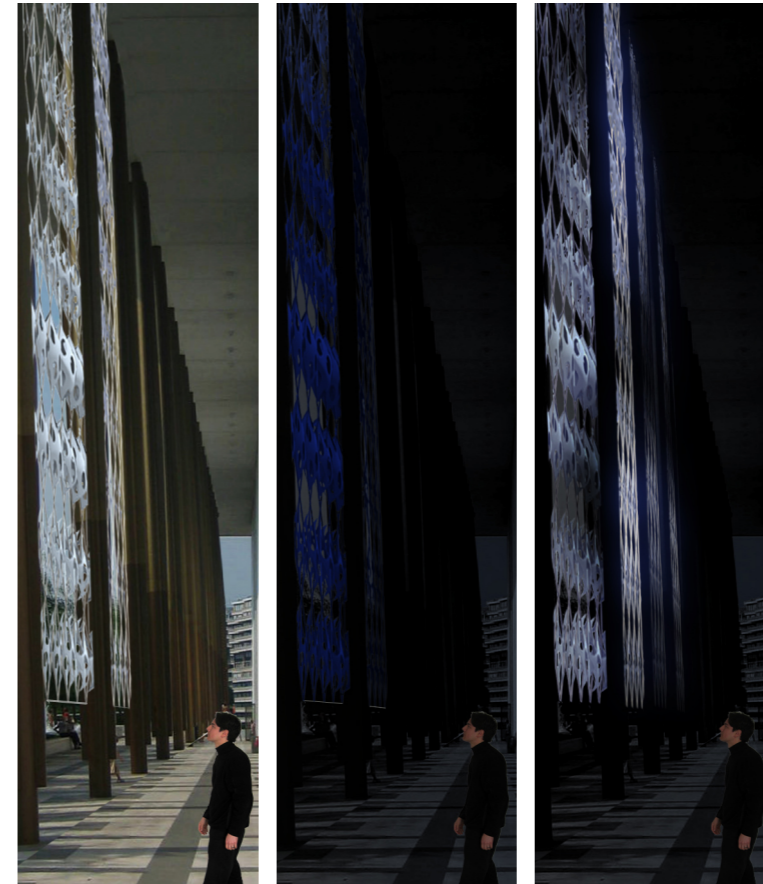
La instalación de pequeñas turbinas en un primer plano de la fachada del edificio busca exponer a los ojos del público el uso, consumo y producción de energía y de ese modo generar una reflexión. La pantalla eólica de escala arquitectónica genera y consume la energía que las turbinas obtienen del viento, traducen la velocidad de éste en un registro visual que deja patente la abundancia de esta fuente de energía inagotable. Sutiles corrientes de aire atraviesan la pantalla y crean patrones cinéticos de forma y luz, hacen visible la presencia del fenómeno del viento.

Cada mini-turbina lleva incorporada en su eje central una luz LED que responde directamente a la velocidad a la que el viento hace girar la turbina. Su intensidad lumínica será proporcional a la del viento, un accionamiento directo que no precisa transferir ni almacenar energía, pues la energía se consume a la par que se produce.

El diseño de las 200 mini-turbinas se llevó a cabo tras un minucioso estudio de hasta 12 tipos de turbinas y diferentes versiones de cada uno de esos tipos. Partiendo de modelos conocidos como el Savonius y el Darrieus proponen mejoras y experimentaciones, así como modelos híbridos que les permitan, en función de las RPM [17] obtenidas, elegir el modelo idóneo.

Tras el carácter artístico de la instalación subyace la aplicación de avances tecnológicos que visualizan el carácter abstracto del viento e invitan a pensar en él como un recurso ambiental en gran medida sin explorar, y cuyo consumo y gestión podemos incluir en nuestro día a día gracias a las oportunidades que ofrecen los recursos energéticos alternativos. [18]

15. MIT (Massachusetts Institute of Technology)  
16. Registro de montaje y resultado.  
<https://www.flickr.com/photos/97285759@N00/albums/72157626566519300>  
(consultado: Abril 2020)  
17. Revoluciones Por Minuto  
18. Vídeos de la instalación en el MIT.  
<https://videoandnewmedia.wordpress.com/2013/04/30/j-meejin-yoon-windscreen-2011/>  
(consultado: Abril 2020)



## 4. CASOS DE ESTUDIO

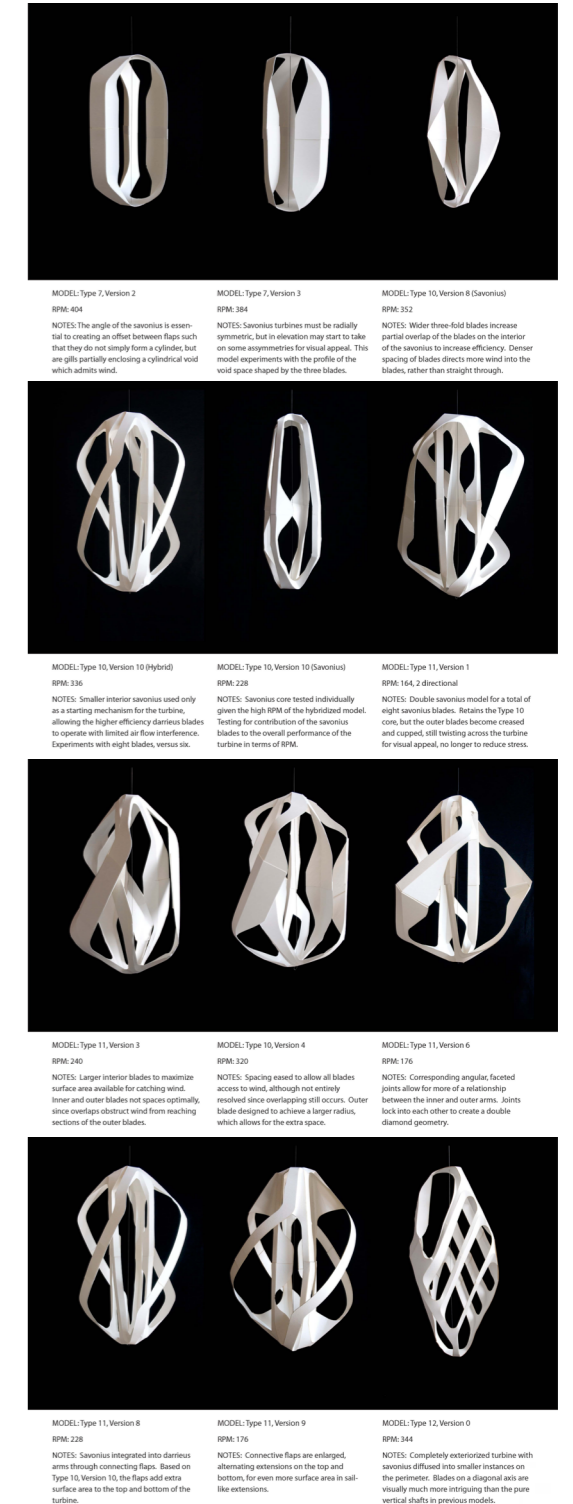


fig. 32. Estudio de prototipos de turbinas y resultado de instalación.  
Höweler + Yoon Architecture  
<http://www.howeleryoon.com/work/738/windscreen>

## 4. 6. Vortex Bladeless

Ávila, España (prototipo). David Yáñez



fig. 33. Ensayo del prototipo Vortex Tacoma, Ávila Vortex Bladeless

Vortex Bladeless es una *startup* tecnológica española que actualmente se encuentra en proceso de industrialización productiva dentro del programa H2020 de la Comisión Europea. Su proyecto, destinado en un principio al uso residencial/rural y englobado en la categoría de micro-eólica (<1 kW) es capaz de generar energía con un amplio rango de velocidad de viento (desde 3 m/s).

Tacoma es el prototipo estandarte de Vortex. Toma su nombre de los fundamentos de mecánica de fluidos en los que se basa [19] y por el hito histórico que marcó el desarrollo de éstos y que sirvió de inspiración en 2.012 a David Yáñez, fundador de Vortex Bladeless.

Puente de Tacoma Narrows (Washington, EE.UU), 7 de noviembre de 1.940 (4 meses después de su inauguración); vientos de unos 65 Km/h (algo más fuertes de lo habitual); la estructura del puente, ya apodado por los habitantes como *Galloping Gertie* (Gertrudis galopante) por su habitual suave movimiento de subida y bajada al incidir el viento, comienza a retorcerse de manera salvaje hasta llegar al colapso y derrumbe. [20] Aquel desastre se debió al fenómeno de la resonancia, el mismo que aplica el equipo de Vortex en sus prototipos y que abre un nuevo campo de posibilidades en el desarrollo de los aerogeneradores eólicos.

Los aerogeneradores Vortex no son en realidad una turbina, no giran, sino que se basan en el fenómeno de la resonancia aeroelástica. Éste hace que el dispositivo oscile con un sutil movimiento insonoro mediante un cilindro fijo vertical que contiene una varilla elástica empotrada en el suelo.

El dispositivo funciona según el esquema de un oscilador armónico amortiguado con un sistema de sintonizado magnético, dos pares de imanes permanentes, uno solidario a la masa y el otro fijo. De este modo, se obtiene energía eléctrica mediante inducción electromagnética. [21]

La tecnología de Vortex evidencia que las consecuencias negativas que tradicionalmente implicaba el viento en aspectos estructurales, aeronáuticos y arquitectónicos, pueden suponer una fuente de energía aprovechable si se controlan y se optimizan en beneficio propio.

19. Vortex Induced Vibration (VIV).  
Wendt, J. (2009). *Computational Fluid Dynamics An Introduction* (3rd ed.).  
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-85056-4>  
(Recurso en línea a través de Granatensis)

20. Colapso del Puente de Tacoma Narrow.  
British Pathé, (1.940)  
Tacoma, Washington, EE.UU.  
<https://www.youtube.com/watch?v=XggxeuFDaDU>

21. Extraído de:  
<https://vortexbladeless.com/es/desarrollo-tecnologia/>  
(consultado: Abril 2.020)

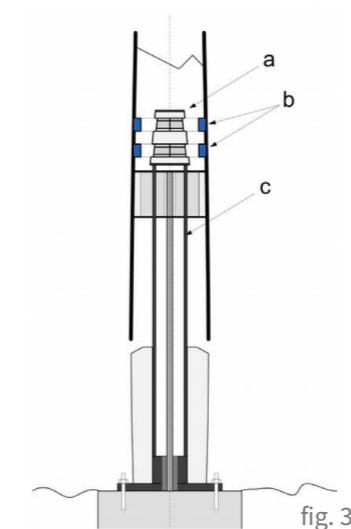
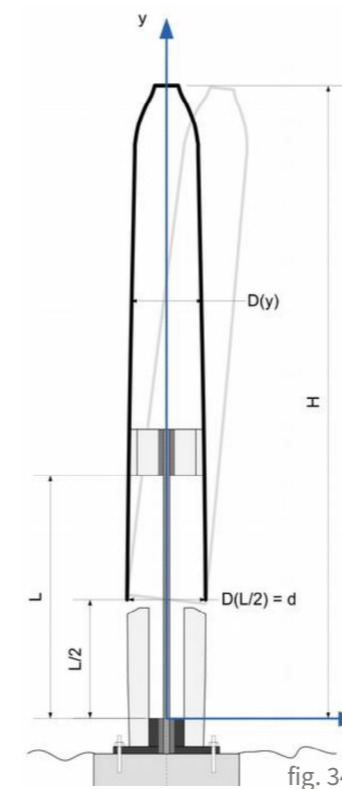


fig. 36

fig. 34. Esquema de la evolución del diámetro del mástil en función de la altura

fig. 35. Disposición del alternador y el sistema de sintonizado  
a. Estátor. Parte fija  
b. Oscilador. Parte móvil  
c. Soporte del alternador

fig. 36. Prueba de funcionamiento de Tacoma Vortex  
[https://www.youtube.com/watch?v=B\\_vg-EM3-18&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=B_vg-EM3-18&feature=youtu.be)

Del estudio de un ejercicio de Prácticas Ecológicas aplicadas a la Arquitectura surge la idea y un primer planteamiento de obtención energía limpia en entornos de recursos limitados, materialidad básica, fuertes contrastes paisajísticos y en los que el viento era un factor permanente pero ignorado.

El emplazamiento elegido para el estudio e implantación es la localidad de Carchuna. Su morfología consta de tres elementos configuradores, que parecen convivir pero que marcan unas fronteras claramente visibles: el pueblo, los invernaderos y la costa.

De ellos, el factor predominante es el cultivo protegido, con el plástico como claro protagonista. El dominio paisajístico de ese mar de plástico entra en conflicto cuando queda enfrentado con el núcleo urbano o con el paseo marítimo. Ese contraste de elementos tan opuestos en las fachadas de numerosas calles del pueblo no contempla una convivencia real como elementos que pertenecen a un todo.

Los invernaderos no sólo consumen superficie horizontal, ofrecen a su vez unos planos de fachada y cubierta homogeneizados por el plástico que crean ese ambiente interno controlado pero que permiten una visión difusa entre interior y exterior.

La configuración geométrica tan marcada que posee el campo de invernaderos y el pueblo, hacen que se acentúe la presencia de los vientos que llegan del Mediterráneo y ascienden hacia la espalda montañosa al Norte. Estos rasgos tan marcados pueden aprovecharse para obtener energía limpia a bajo coste que a su vez pueda generar acciones que difuminen esos límites tan estrictos.

Teniendo en cuenta todos estos factores, en un primer acercamiento se obtuvieron los alicientes necesarios para la propuesta:

- **Fachadas** que no dialogan.
- **Viento** de velocidad media-baja constante.
- La presencia predominante del **plástico**.
- La **oportunidad** de dotar de una nueva función a la tipología de invernadero que beneficie a todos los agentes.

fig. 37. Vista aérea de Carchuna.  
Orientación Oeste-Este.  
Google Earth (2.020)

El prototipo desarrollado y la idea de aplicación propuestos se basan en una serie de principios físicos que aplicados de manera conjunta pretenden dar forma a un sistema capaz de generar energía eléctrica recolectando energía cinética del viento.

**- Principio de Faraday:**

Explica la relación entre campos magnéticos y campos eléctricos. Su enunciado sostiene que “La tensión inducida en un circuito cerrado es directamente proporcional a la razón de cambio en el tiempo del flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito mismo como borde” [22]. Ejemplificar este principio es sencillo si nos valemos de una bobina de cobre y un imán. Si introducimos el imán dentro de ella, si efectuamos un movimiento de vaivén con el imán o si se deja estático y lo que movemos es la bobina, el campo magnético variante en el tiempo genera un voltaje o Fem (una fuerza electromotriz inducida) en la bobina, negativa al cambio del flujo magnético (Ley de Lenz). fig. 38

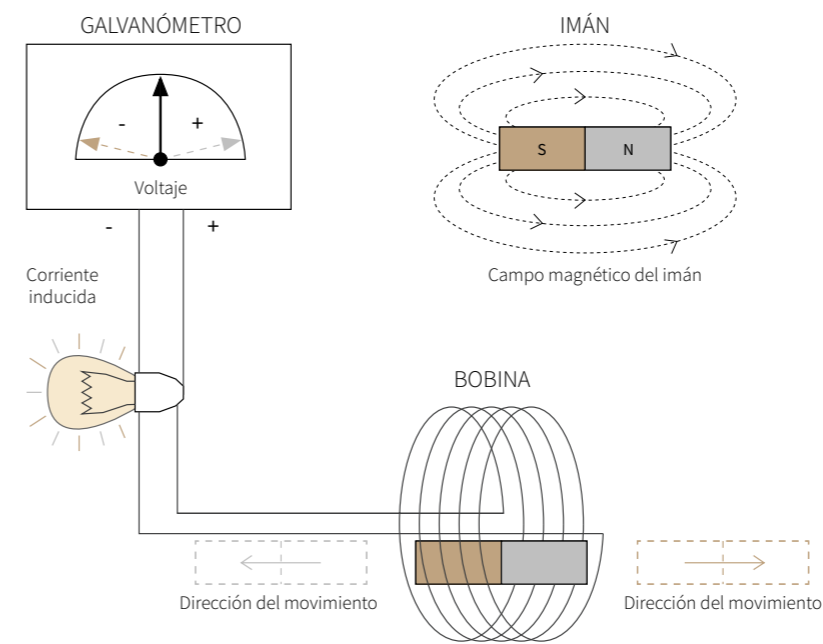


fig. 38. Ley de Faraday. Esquema de funcionamiento de una corriente por inducción electromagnética. Elaboración propia

**- Regiones de turbulencia:**

Cuando sobre el viento medio se superponen movimientos aleatorios del aire, se producen remolinos turbulentos que viajan en el flujo y van decreciendo hasta que finalmente se disipan. Existen distintos tipos de turbulencias predecibles mediante modelos numéricos hasta un cierto punto, pasando entonces a denominarse caóticas. fig. 39

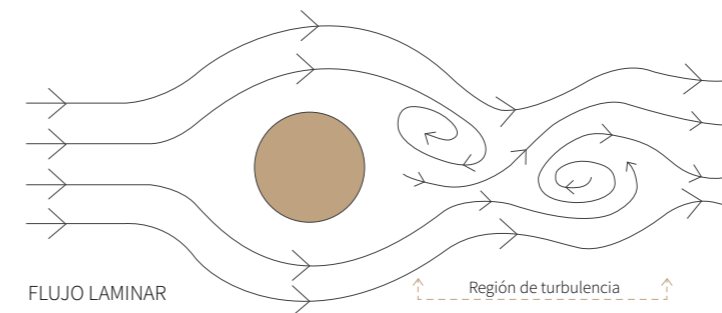


fig. 39. Región de turbulencia en flujo laminar. Elaboración propia

**- Gradiente de viento:**

Variación de la velocidad del viento en función de la altura, dependiente de la naturaleza del terreno (rugosidad). En las zonas cercanas al suelo la velocidad del viento disminuye debido a la fricción sobre el terreno y la presencia de obstáculos (aspereza  $p$ ). Si sufre desviaciones en su dirección se ve afectada la presión, produciéndose variaciones de velocidad considerables (efecto tobera). fig. 40

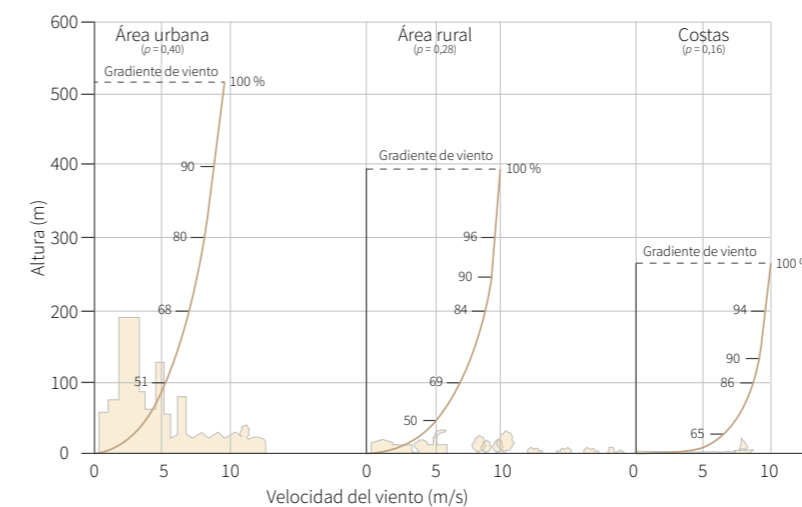


fig. 40. Gradiente de viento en función de la aspereza del terreno. Elaboración propia

**- Desprendimiento de vórtices:**

También denominado *Vortex Shedding*, *Vortex Street effect* ó Vórtices de von Kármán [19]. Este fenómeno aparece cuando un flujo laminar como el viento fluye contra un obstáculo a determinadas velocidades, y dependerá del tamaño y forma del objeto. Este flujo de viento al

19. Vortex Induced Vibration (VIV).  
Wendt, J. (2009). *Computational Fluid Dynamics An Introduction* (3rd ed.).  
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-85056-4>  
(Recurso en línea a través de Granatensis)  
22. Principio o Ley de Faraday  
<https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law>

colisionar genera un patrón cíclico de vórtices. Los vórtices aparecen en la cara del obstáculo opuesta al flujo y se desprenden de manera alternativa, dando lugar a la denominada calle de vórtices. Las zonas de baja presión que crean son las responsables de que el objeto tienda a moverse de manera también alternativa hacia ellas, dando así lugar a ese aleteo. A una velocidad intermedia y controlada, el aleteo alcanzará un ritmo constante, la resonancia ú oscilación [23]. Si la frecuencia de desprendimiento de vórtices coincide con la frecuencia de resonancia del objeto, el flameo se descontrolará y derivará en el denominado colapso por resonancia. fig. 41

**- Resonancia aerolástica:**

Generalmente denominada *aerolastic flutter* (aletteo aerolástico). Las fuerzas aerolásticas son aquellas acciones producidas por el viento en una estructura debido a la deformación de ésta. El flameo es una propiedad dinámica de una superficie sustentadora que se dobla bajo una carga aerodinámica. Cuando la carga deja de actuar se restaura la forma original, repitiéndose de manera cíclica el proceso. Si se controla el aleteo que producen los vórtices y el ángulo de ataque (dirección del viento) para que el sistema sea capaz de disipar la energía entregada por el viento, la acción será inofensiva y dará lugar a ese aleteo aprovechándolo para recolectar la energía eólica. fig. 42

**- Aerodinámica de los cuerpos finitos:**

Será un parámetro fundamental a la hora de diseñar el prototipo, pues su estética dependerá del comportamiento global que presente al interaccionar con el viento. Tendrá en cuenta el flujo externo (el aire superficial), flujo interno (el aire que pasa por el dispositivo) y el desprendimiento de la capa límite, que puede ser fuente de ruido o rotura.

Partiendo de estos principios, se desarrolla un prototipo que valiéndose del aleteo o vibración de una membrana, sea capaz de recolectar la energía eólica y transformarla en energía eléctrica. Posteriormente se aplicará en un sistema generador capaz de ser integrado en un proceso arquitectónico, no sólo como un recurso de eficiencia energética, sino también siendo capaz de generar un sentido estético en el entorno de su implantación.

23. Animación del desprendimiento de vórtices. <https://aeroelasticity.pratt.duke.edu/research/pod-rom-viv> (consultado: Junio 2.020)

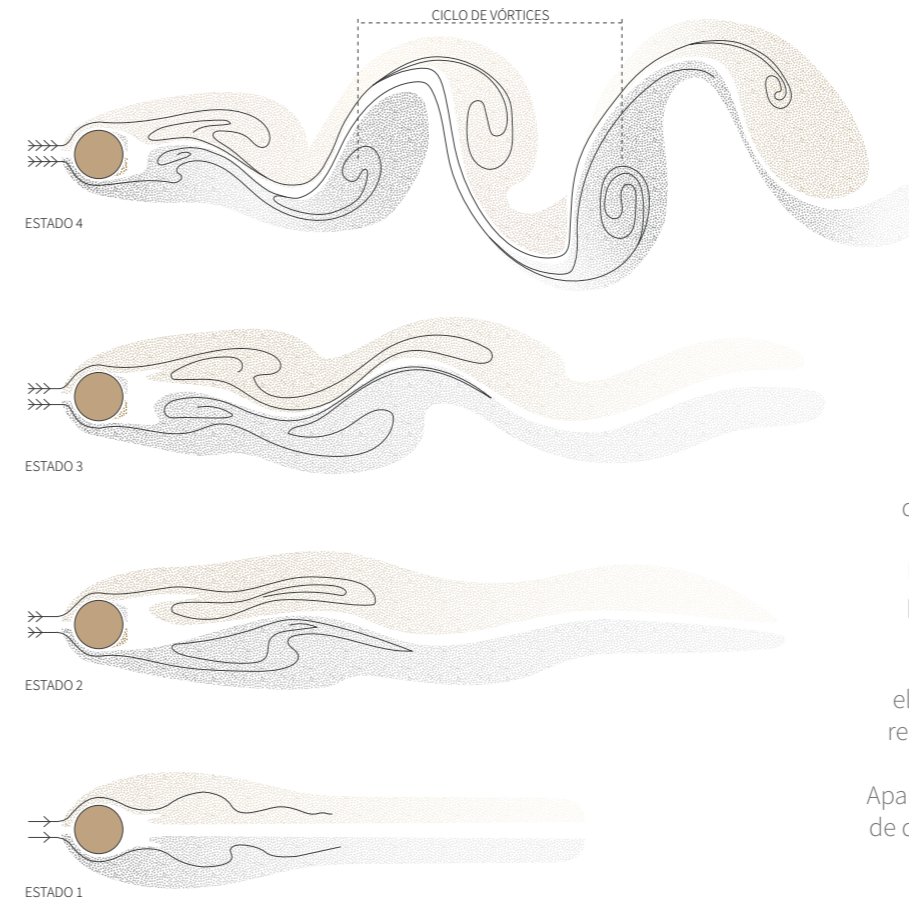


fig. 41. Esquema de evolución de la calle de vórtices proporcional al aumento de la velocidad del viento. Estado 1: la velocidad del viento es baja y prevalece la viscosidad, el viento rodea la partícula y continúa el flujo. Estado 4: la velocidad del viento es tan elevada que la inercia que posee le impide rellenar el hueco que queda tras el objeto y continúa su trayectoria. Aparecen los vórtices o remolinos, que tratan de desplazar el objeto como se observa en la

fig. 42

Elaboración propia

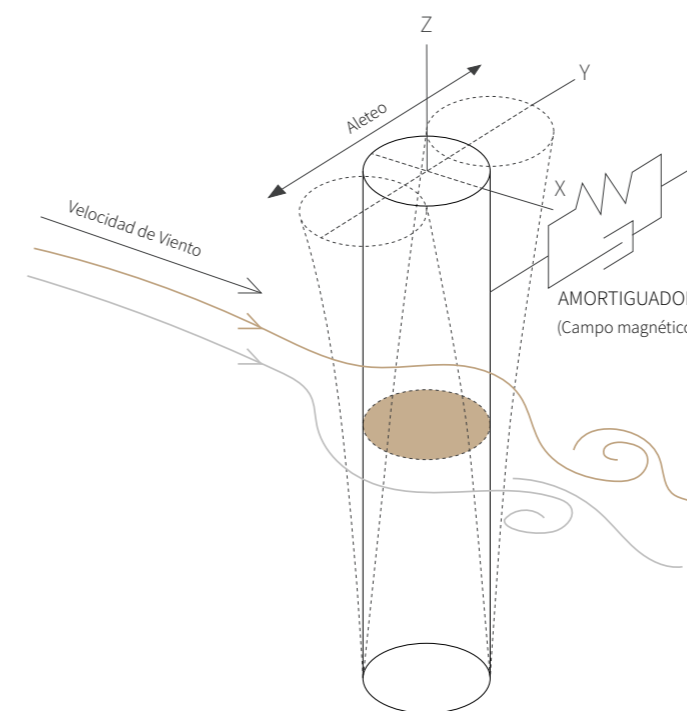


fig. 42. Esquema explicativo del efecto aleteo y su relación con el desprendimiento de vórtices.

Elaboración propia



## 5. 2. Prototipo

### Materiales

Para la construcción del prototipo se emplean materiales reciclados. La obtención de corriente inducida se puede lograr fácilmente respetando los fundamentos físicos de generación de energía electromagnética. Esta es una de las ventajas que presenta el sistema, pues con un bajo coste de material se pueden obtener resultados.

Un factor fundamental del sistema es la elección del material de la membrana. Ha de ser un material resistente a la par que flexible, pero también se debe tener en cuenta el aspecto de integración que la pantalla generará con el entorno en el que se implante. En este caso, el material elegido es una lámina de PEBD [24] tricapa de 800 galgas, por ser el plástico empleado en la envolvente de los invernaderos.(8)

Para el conjunto generador del prototipo se reutiliza parte de un disco duro HDD, concretamente la mitad que alberga al actuador, su eje y su brazo. (5)

Mediante listones de madera se recrean los planos delimitadores a los que irá acoplado el aerogenerador. (6)

La membrana de PEBD queda ensamblada en su extremo superior mediante tornillería al brazo actuador, y en el extremo inferior se añade un clip, un gancho de tornillo y tuerca mariposa que permiten modificar el tensado de la banda. (1 y 2)

Para el ensayo al que se someterá el prototipo recreando el entorno real en su comportamiento frente al viento y la energía eléctrica obtenida se emplean instrumentos de medición tanto de energía eléctrica como de viento. El multímetro recoge los datos de voltaje y amperaje de la corriente en la salida de la bobina. fig. 3

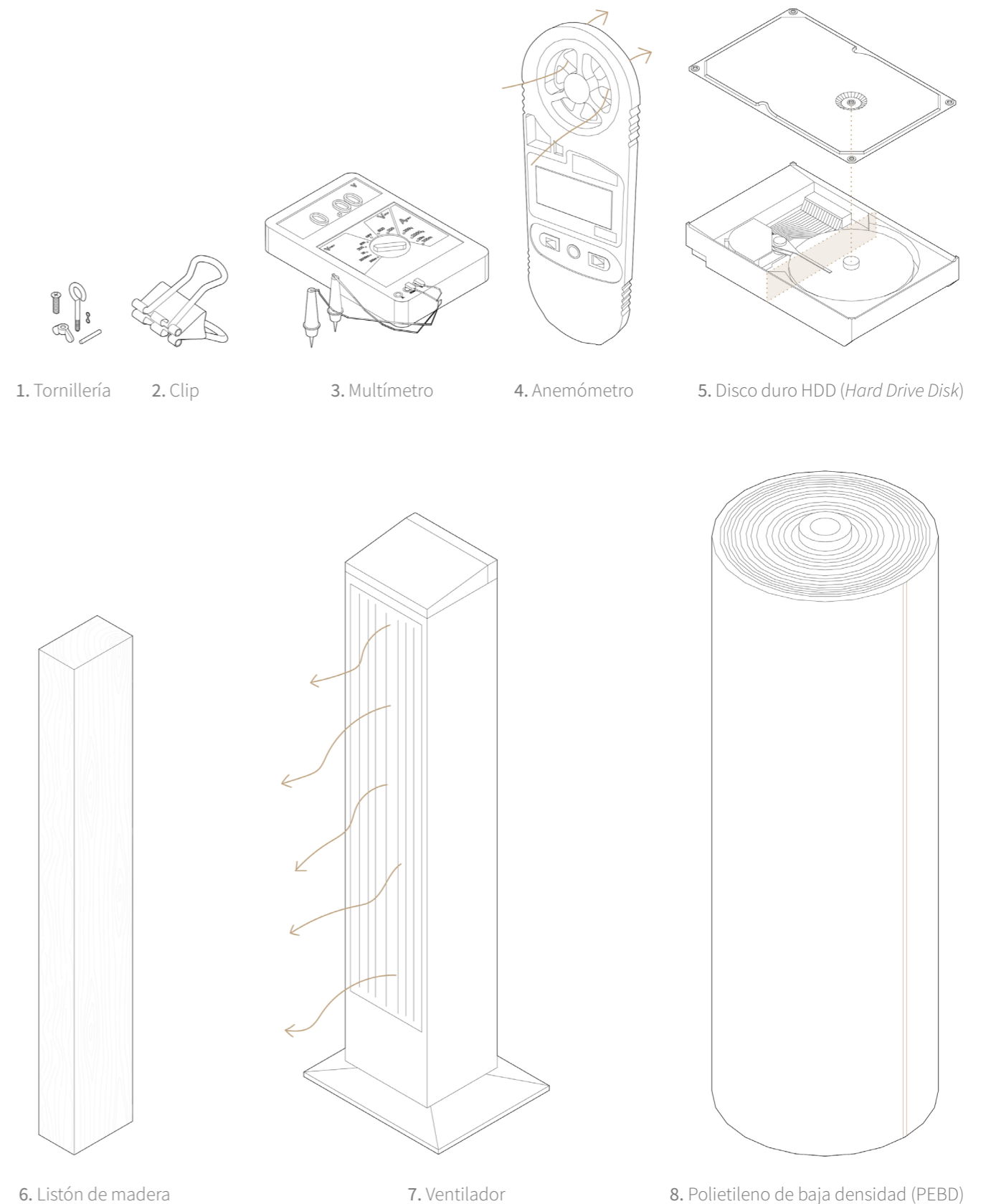
Mediante un ventilador de pie vertical se genera el viento permitiendo abarcar la longitud total del dispositivo y el control de la velocidad del aire. fig. 7

El anemómetro mide la velocidad del aire, sus valores extremos y medios para tener el control de estos parámetros en las pruebas de viento efectuadas. fig. 4

fig. 43. Esquema de materiales necesarios para la construcción del prototipo. Elaboración propia

24. Polietileno de Baja Densidad

## 5. CONTENIDO Y DESARROLLO



## Despiece

El prototipo de generador aerolástico se compone de 5 partes diferenciadas cuyos componentes y montaje se muestran en el despiece del conjunto.

Usando materiales reciclados se construye el sistema generador y la capacidad de modificar los parámetros que permiten ensayar la obtención de energía con distintas velocidades de viento.

La importancia radica en la bobina de cobre realizando un movimiento de vaivén entre dos imanes permanentes. Ese movimiento se consigue gracias a la oscilación de una membrana de PEBD paralela al paramento vertical, al que se acopla el sistema a modo de segunda piel.

Extrapolando los parámetros básicos el sistema es adaptable a distintas tipologías de paramentos y longitudes, y su mimetismo se logra con la elección del material de la membrana.

## A.- CONJUNTO GENERADOR

1. Cubierta de imanes
2. Imán superior/inferior
3. Base de imanes
4. Carcasa *Hard Disk*
5. Rodamiento
6. Brazo de giro
7. Bobina
8. Salida de corriente generada

## B.- ACOPLAMIENTO

9. Acople de membrana (a brazo de giro)
10. Membrana PEBD

## C.- MEMBRANA

Banda de PEBD (Longitud y ancho variables)

## D.- PLANOS DELIMITADORES

Paramento vertical (Longitud adaptable)

## E.- TENSOR

9. Acople de membrana (a tensor)
10. Membrana PEBD
11. Tuerca mariposa
12. Gancho de tornillo
13. Clip

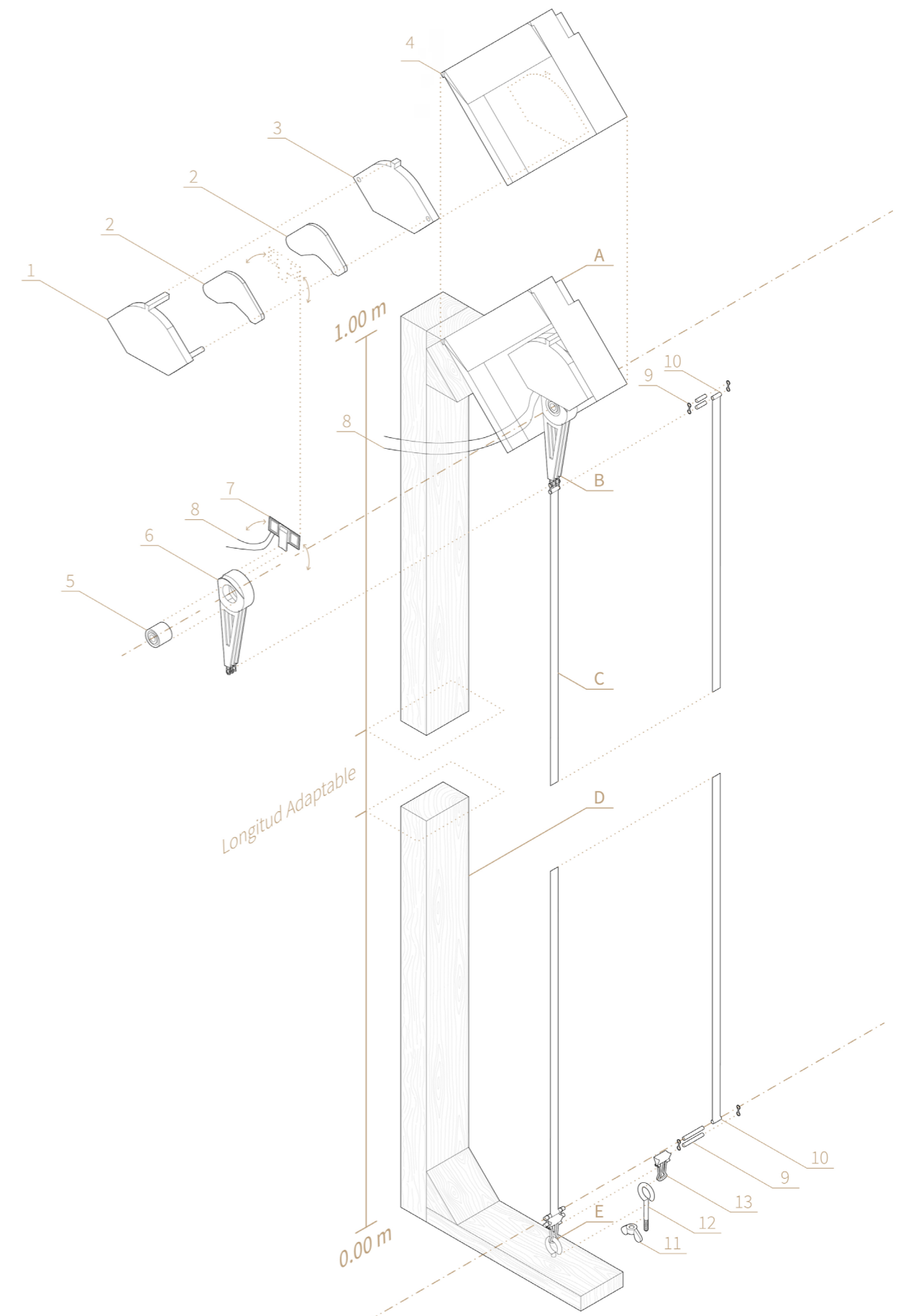


fig. 44. Despiece de los elementos del prototipo.  
Elaboración propia

Construcción



fig. 45. Perspectiva de prototipo. Elaboración propia.



fig. 46. Toma de datos. Elaboración propia.

Partiendo de la obtención de los materiales previamente listados en el subcapítulo y según el despiece anterior, se procede a la materialización del prototipo.

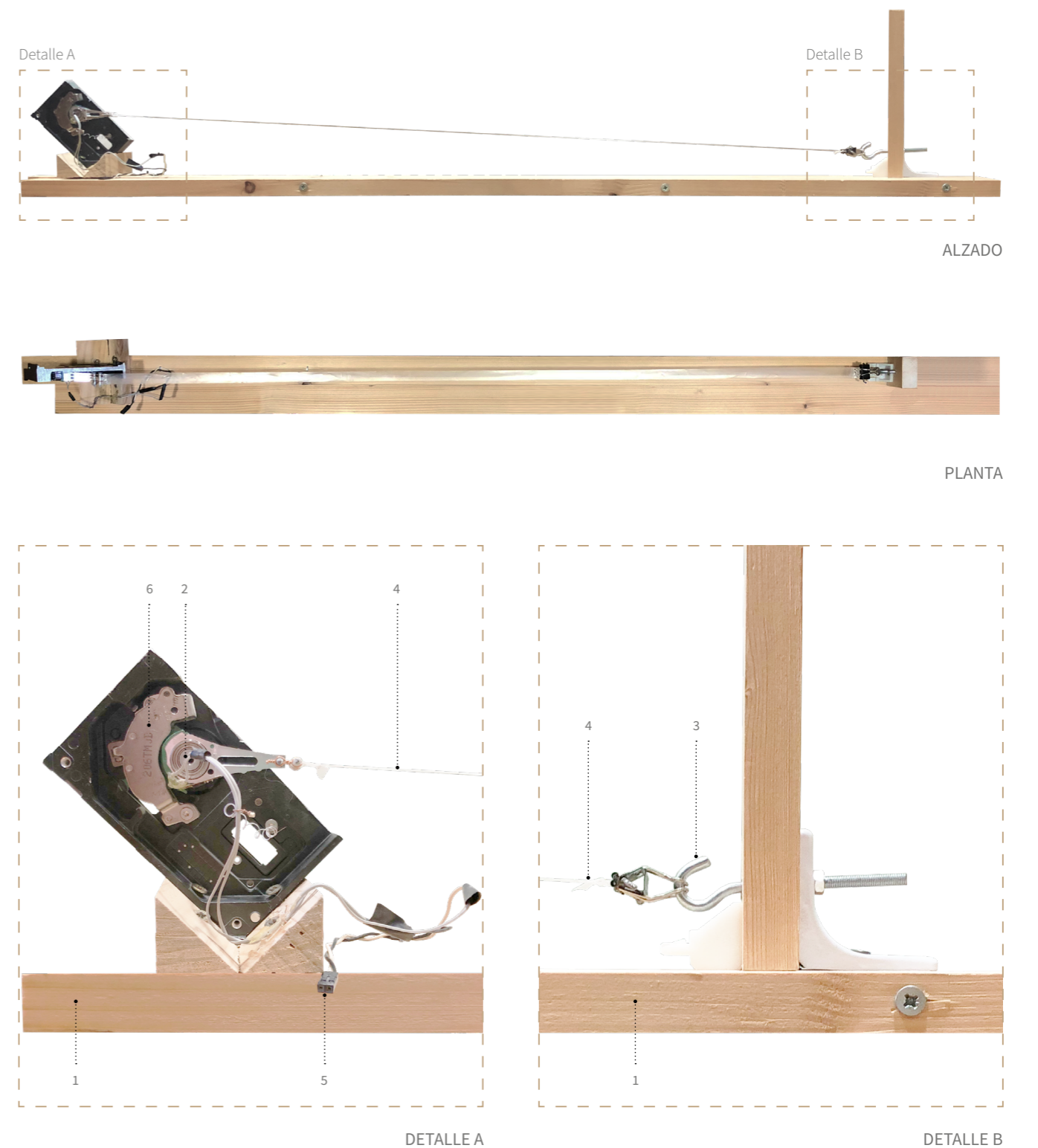
Se simula el plano sustentador y los ejes longitudinales que albergarán el alternador y el punto fijo tensor de la membrana. Sobre éste se anclan ambos componentes de manera que la membrana de PEBD quede paralela al plano, generando ese efecto de segunda piel que a su vez permite el paso del viento entre ellos y que no obstaculiza la oscilación provocada.

En el [Detalle A], se distinguen las distintas partes que componen el alternador o generador de corriente eléctrica inducida. En este componente se lleva a cabo la toma de corriente que se usa para la toma de datos del posterior ensayo llevado a cabo [fig. 46]. En su implantación real, éste sería el punto de obtención de la energía generada, de manera que conectando el número de membranas que demanden los cálculos del circuito que dará servicio a los dispositivos de consumo, se cree el sistema generador de energía eólica.

El extremo opuesto [Detalle B] permite tensar o liberar la membrana de cara a labores de adaptación o mantenimiento del sistema.

La materialización pone de manifiesto que gracias al sencillo principio de generación eléctrica mediante oscilación de la membrana del prototipo, la implantación no conlleva costes elevados. El uso del alternador puede prolongarse en el tiempo, y el reemplazo de la membrana cada 3-4 años al igual que la cubierta de invernaderos no supone una gran inversión adicional.

Una vez formalizado el elemento individual que representa el prototipo, mediante un patrón de repetición se genera el sistema de generación de energía micro-eólica, aplicado en el presente trabajo a los invernaderos, pero fácilmente adaptable a otros elementos de nuevo diseño o pre-existentes.



1. Plano vertical // 2. Eje longitudinal de oscilación // 3. Eje longitudinal tensor de la banda // 4. Banda de polietileno // 5. Salida corriente inducida generada // 6. Conjunto generador (alternador).

Funcionamiento

La descripción general del aerogenerador es que una membrana fija en uno de sus extremos y con libertad de giro en el opuesto, hace oscilar de manera continua una bobina confinada en el espacio intermedio de dos imanes paralelos entre sí. Se obtiene de este modo una corriente eléctrica inducida en la bobina, generada por el cambio en el entorno del campo magnético de los imanes al moverse la bobina entre ellos. fig. 47

Los responsables de que esa bobina entre en constante movimiento oscilatorio son el viento y la membrana. Incluso con bajas velocidades de viento (se consideran las inferiores a 4-5 m/s), el paso del aire a ambas caras de la membrana inicia la oscilación, que irá aumentando de manera proporcional a la velocidad del viento.

Uno de los extremos de la membrana es un anclaje fijo que permite ajustar la tensión de ésta o liberarla en caso de sustitución. El otro extremo es el que permite la oscilación. Debido al tensado de la membrana y al rodamiento de ese extremo, una mínima vibración ya genera la oscilación de la bobina y con ello la generación de corriente. fig. 49

Desde la bobina se toman dos puntos de contacto desde los que parten los dos cables que sirven para tomar la corriente producida en la bobina. A través de ellos se llevará a cabo en un primer momento la toma de datos de ensayo y posteriormente la conexión de los dispositivos que se alimenten de esa energía. fig. 47

La energía generada es corriente alterna (CA), la cual se rectifica para transformarla en corriente continua. La energía producida puede ser consumida de manera inmediata o almacenada en baterías para su uso posterior, ya sea por ausencia de viento o por desconexión del sistema. fig. 48

La velocidad de viento necesaria para hacer funcionar el dispositivo es mínima. La potencia obtenida por cada membrana es baja, por lo que en su concepción, el sistema está pensado como una repetición en serie de elementos que consiguen una potencia adecuada y que en conjunto es capaz de considerarse un elemento constructivo que incorporar en el proceso de diseño y construcción por su eficiencia energética e integración. fig. 50

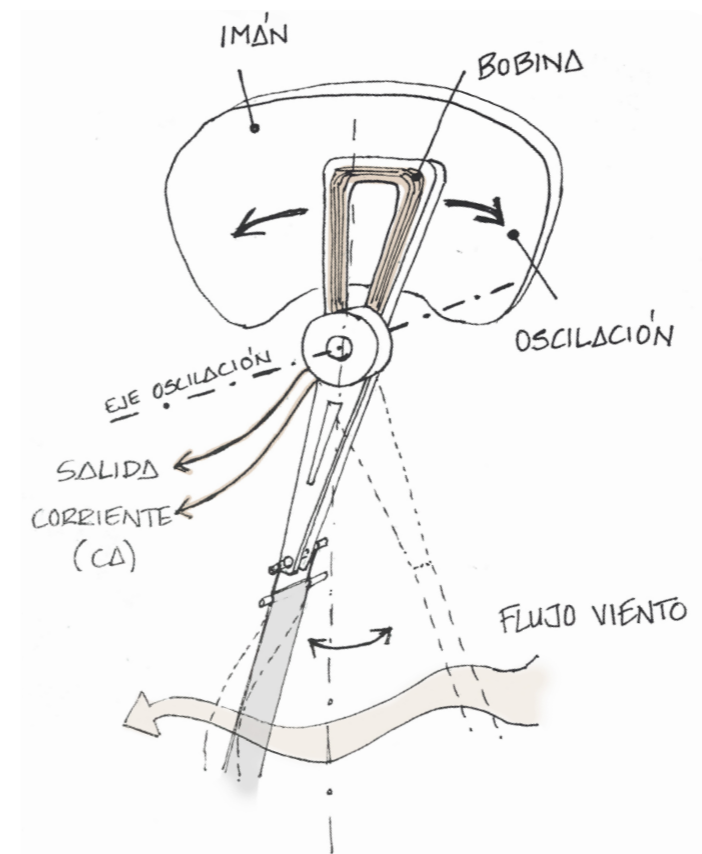


fig. 47. Principio de funcionamiento

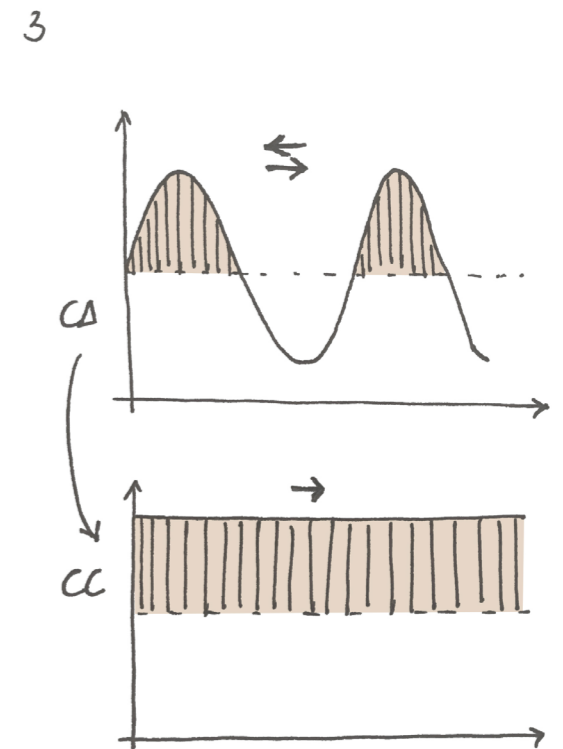


fig. 48. Corriente alterna / Corriente continua

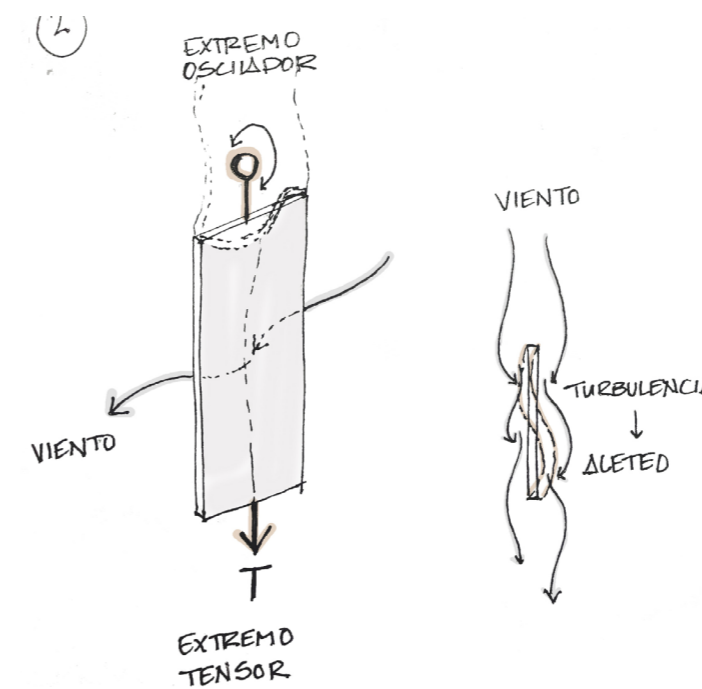


fig. 49. Aleteo de membrana por acción del viento

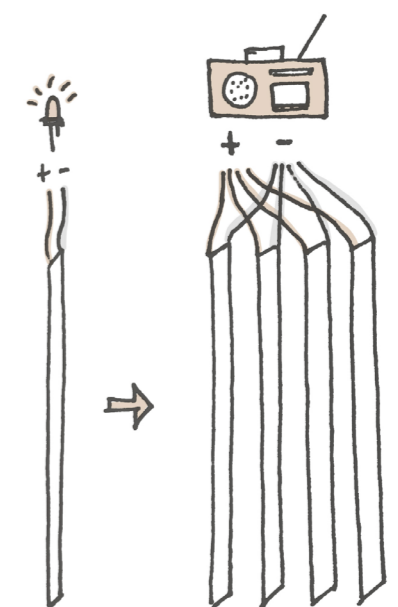


fig. 50. Membrana individual/Sistema conectado

## 5.3. Ensayo

### Descripción

El ensayo llevado a cabo recrea el resultado final de la propuesta de sistema generador eólico en un entorno concreto pero extrapolable a otra localización considerando los valores climáticos y morfológicos que presente.

Se efectúa la toma de datos con una longitud y ancho de membrana estándar que permita calcular posteriormente la eficiencia total del conjunto. El material ensayado como membrana es PEBD ya que sus especificaciones técnicas cumplen los requisitos necesarios de productividad, resistencia, durabilidad y costes; además es el material idóneo para lograr la mimetización con el entorno y conseguir su integración como segunda piel.

Se inicia el funcionamiento del ventilador desde su potencia más baja y se va incrementando de manera controlada con el anemómetro una vez obtenidos los datos de cada escalón de velocidad de viento.

El prototipo se sitúa paralelo al ventilador y de igual modo en posición vertical, simulando la segunda piel que generaría de manera equidistante a la fachada sobre la que se instala.

Con el multímetro conectado a la salida de la bobina, se registran los datos de voltaje obtenidos en cada supuesto para su posterior procesamiento y conclusión.

Los parámetros que influyen en el resultado óptimo buscado y que se han tenido en cuenta tanto en el diseño del prototipo como en la ejecución del ensayo son:

- Velocidad de viento
- Ángulo de incidencia del viento
- Ancho de membrana
- Tensado de membrana
- Disposición del prototipo

Los resultados obtenidos pueden extrapolarse a cualquier entorno de implantación, como se hará en el siguiente subcapítulo al estudiar los parámetros climáticos y morfológicos a considerar, en este caso, en Carchuna.

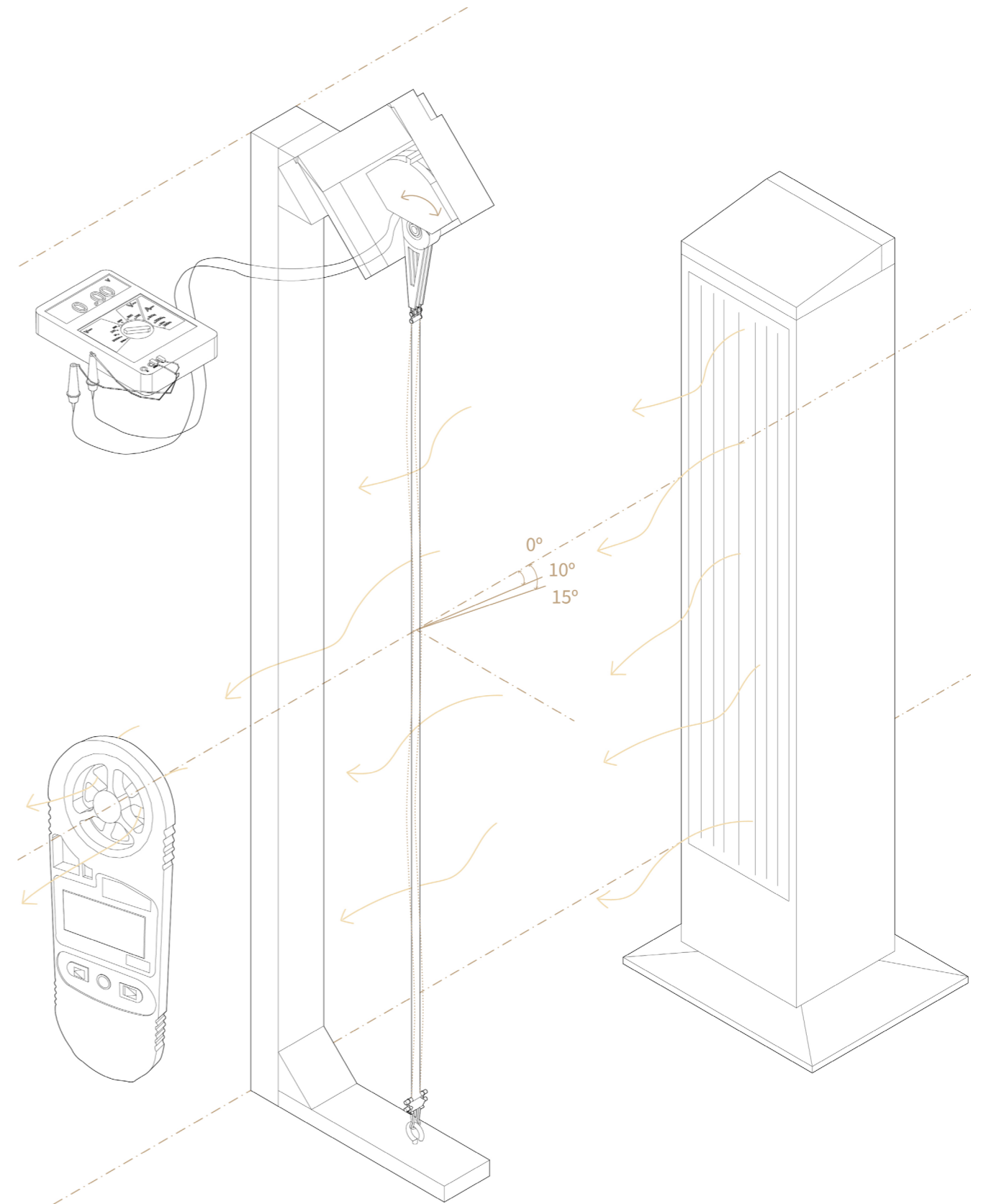


fig. 51. Esquema del ensayo al que se somete el prototipo.  
Elaboración propia

Parámetros

Los factores que se han tenido en cuenta para estudiar la efectividad del prototipo según distintas situaciones son los siguientes:

- Viento

La toma de datos se lleva a cabo en un rango de velocidad de viento que abarca desde los 2 m/s a los 4,5 m/s. Se establecen 4 intervalos de incremento. [fig. 52]

- Longitud de la membrana

La longitud de la membrana es de 89 cm. Se ensaya el efecto del tensado incrementando su longitud en dos niveles de 0,5 cm hasta llegar a los 90 cm. La longitud de la membrana está relacionada con el rango de velocidades de viento del entorno en que se implante. Ensayos de aeroelasticidad similares [25] demuestran que para velocidades superiores a 10 m/s la longitud de la membrana debería estar en un rango inferior a 50 cm. [fig. 53]

- Ancho de la membrana y tensión

Se realizan pruebas con dos anchos de membrana, 1,5 cm y 2 cm [fig. 54]. La membrana estudiada es de Polietileno de baja densidad, cuyo módulo de Young o de elasticidad es de 250 MPa. Para el cálculo de la tensión en la membrana se usa la fórmula de Young [26]:

$$E = \frac{FL}{A\Delta L}$$

E: Módulo de Young (Pa)  
 F: Fuerza (N)  
 L: Longitud original (m)  
 A: Área de sección transversal (m<sup>2</sup>)  
 ΔL: Incremento de longitud (m)

- Ángulo de ataque

Se estudia el efecto del ángulo de ataque del viento mediante tres direcciones: con dirección de viento paralela a la membrana es decir, 0° y con un ángulo de 10° y 15°. [fig. 55]

- Alternador

En este caso el generador consta de dos imanes de neodimio y la propia bobina del actuador del disco duro. A mayor potencia o dimensión del imán o más vueltas de bobinado y de diámetro del núcleo de cobre, la corriente generada aumenta. [fig. 56]

25. Arroyo, E., Foong, S., & Wood, K. L. (2014). Modeling and experimental characterization of a fluttering windbelt for energy harvesting. Journal of Physics: Conference Series, 557, 012089.  
 26. Fórmula del módulo de Young

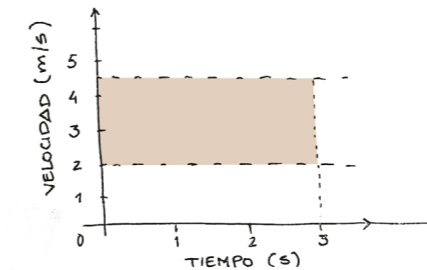


fig. 52. Rango de velocidades de viento ensayadas.

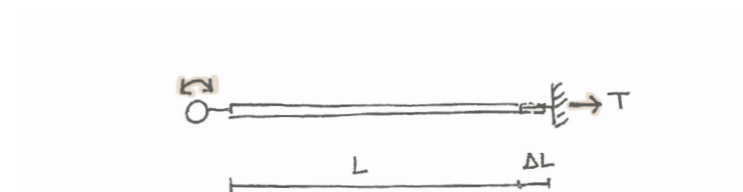


fig. 53. Longitud de membrana en función de su tensado.

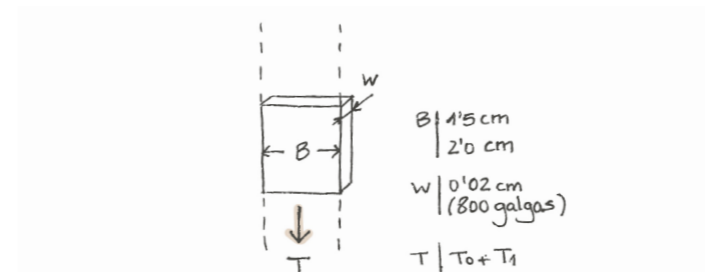


fig. 54. Anchuras de membrana ensayadas.

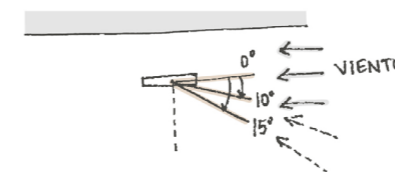


fig. 55. Variación del ángulo de incidencia del viento durante el ensayo.

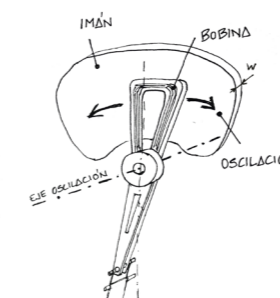


fig. 56. Bobina e imanes componentes del alternador.

Resultados

El ensayo realizado tiene como objetivo determinar las condiciones óptimas de diseño del sistema para que su implantación se integre en el entorno, a la par que su recolección de energía eólica sea lo más eficiente posible.

La membrana se dispone con una tensión pre-aplicada de 5 N en una longitud de 89 cm, aumentando la tensión en dos intervalos hasta llegar a los 90 cm:

Tensión (N)	Incremento de longitud (deformación)	
Ancho	5 mm	10 mm
15 mm	0,316 N	0,632 N
20 mm	0,421 N	0,842 N

Se realiza una medición de la potencia generada por el prototipo a la máxima deformación (1 cm) y a máxima velocidad (4,5 m/s) para evaluar qué ancho de membrana responde mejor:

Ancho	Potencia (mW)
15 mm	1,428
20 mm	1,413

El ancho de membrana de 1,5 cm arroja mejores resultados. Se procede a ensayar dicho ancho en el rango de velocidades disponibles y en los dos niveles de tensado para comprobar el voltaje obtenido:

Voltaje (V)	Incremento de longitud (deformación)	
Velocidad (m/s)	5 mm	10 mm
2	0,71	1,02
3	0,97	1,13
4	1,12	1,39
4,5	1,79	1,96

Partiendo del 1,5 cm de ancho de membrana, se opta por ensayar con el aumento de tensado de 10 mm, puesto que arroja mejores resultados de voltaje para los mismos incrementos de longitud tenidos en cuenta. Se estudia a su vez la potencia y corriente que proporciona el prototipo en este supuesto:

Velocidad (m/s)	Potencia (mW)	Corriente (mA)
2	0,043	0,024
3	0,366	0,182
4	1,083	0,462
4,5	1,428	0,577

El ángulo de incidencia del viento se estudia en los supuestos de 0°, 10° y 15° a la máxima deformación (1 cm) y velocidad de 3 m/s, obteniéndose los siguientes voltajes de salida:

Ángulo (°)	Voltaje (V)
0	1,13
10	1,18
15	1,15

De cara a optimizar la implantación, se estudia la influencia de la dirección de la membrana de manera horizontal o vertical :

Voltaje (V)	Dirección de la membrana	
Velocidad (m/s)	Horizontal	Vertical
2	0,93	1,02
3	1,01	1,13
4	1,27	1,39
4,5	1,84	1,96

Conclusiones

Una vez ejecutado el ensayo en cada una de las situaciones consideradas, organizada la toma de datos se procede al análisis de éstos. Las conclusiones de optimización que se extraen del estudio llevado a cabo son las siguientes:

- Longitud de la membrana y tensión

La longitud de la membrana ensayada se comporta de manera adecuada en el rango de velocidades de viento consideradas. Admite un ajuste de su tensado sin haberse producido rotura ni daño del prototipo. A la tensión máxima ensayada, equivalente a un incremento de 1 cm, la corriente generada es levemente superior. Se procederá por tanto a una instalación previa con un tensado óptimo, y se le aplicará un tensado adicional que le confiera su estado final.

- Ancho de la membrana

Se realizan pruebas con dos anchos de membrana, 1,5 cm y 2 cm. La diferencia entre ambas es mínima, por lo que se puede optar por la que mejor se adapte al diseño final del sistema.

- Ángulo de ataque

Se estudia el efecto del ángulo de ataque del viento con dirección paralela a la membrana (0°), a 10° y 15°. De este modo se estima el comportamiento de la membrana con las variaciones de dirección de viento que experimenta un punto con el paso de las horas por la evolución del clima local.

- Alternador

La respuesta que ha ofrecido el alternador de bajos recursos ha sido satisfactoria y se puede lograr un buen sistema mediante repetición y conexión de membranas. Por motivos de dimensionado o mayor demanda energética podría optarse por imanes de mayor dimensión ó bobinado más denso.

fig. 60.



fig. 57. Rango de velocidades.



fig. 58. Ensayo con diodo LED.

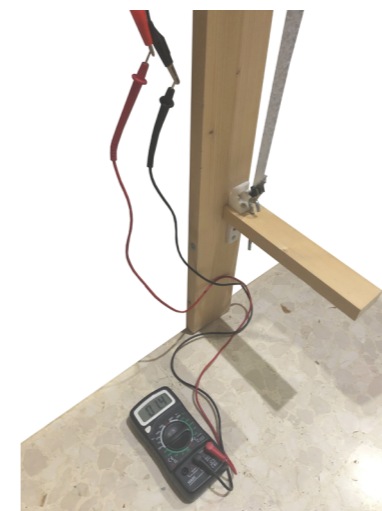


fig. 59. Toma de datos



## 5.4. Propuesta

### Implantación

Una vez fabricado y ensayado el prototipo, las conclusiones arrojan datos satisfactorios para un sistema micro-eólico. El diseño del prototipo partía de dicha base, y contemplaba en su implantación la conexión en serie/paralelo de membranas formando un panel que actúe como segunda piel y en el que al aunarlas, la energía total sea capaz de alimentar consumibles o almacenarse en baterías. fig. 61

Teniendo en cuenta las características óptimas de la membrana estudiada, a una velocidad media de 4 m/s la energía obtenida es:

Voltaje (V)	Potencia (mW)	Corriente (mA)
1,39	1,083	0,462

Dichos datos obtenidos son suficientes para alimentar de manera directa un diodo LED. Al ser la corriente obtenida alterna, la iluminación será oscilante a modo de pulso ya que el LED sólo permite que la corriente fluya en una dirección. Con un LED bicolor se puede apreciar el alumbrado de ambas polaridades. fig. 62

Con el objetivo de alimentar aparatos de uso cotidiano o permitir la carga de baterías, la corriente alterna obtenida se transforma en corriente continua. Según la necesidad de potencia o voltaje la conexión de las membranas será en paralelo (se suman potencias y se mantienen voltajes) o en serie (se suman voltajes y se mantienen potencias).

A mayor conexionado de membranas, mayor puede ser el voltaje final de salida. El sistema puede ser adaptable según el objetivo contemplado, teniendo en cuenta en su dimensionado previo y en su salida de corriente tras la transformación.

$$\text{Voltaje AC (V } \sim \text{): } \frac{V_{AC}}{\sqrt{2}} = V_{DC}$$

Se consigue de este modo un sistema de generación micro-eólica fuera de red, orientado al auto-consumo en un entorno local.

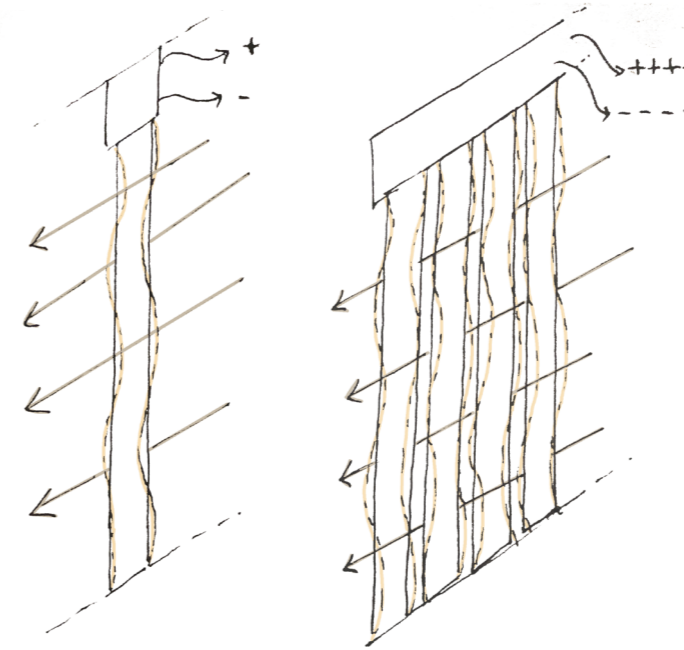


fig. 61. Funcionamiento de membrana individual y de asociación de membranas formando un sistema generador.

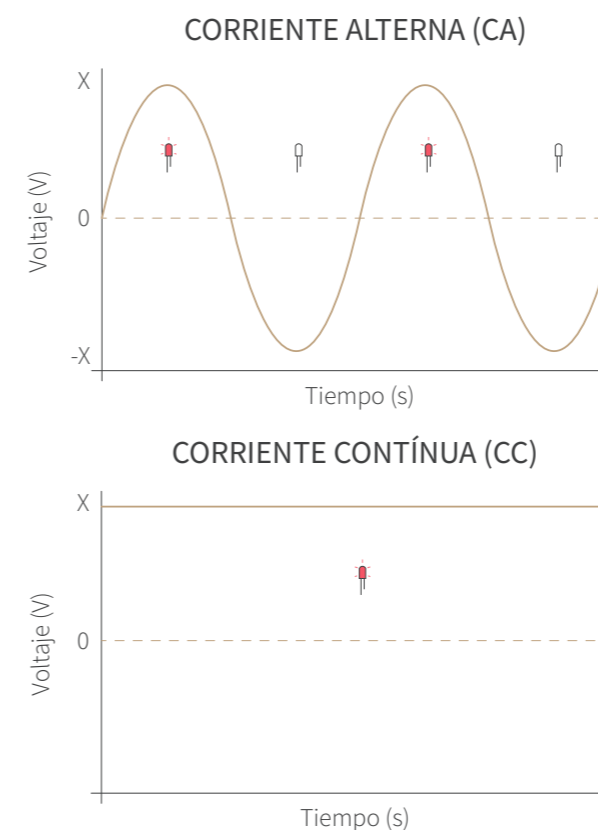


fig. 62. Esquema explicativo de luminancia de diodo LED para corriente alterna y continua.

Sistema

El proceso al que se somete la corriente generada se esquematiza en la [fig. 64]. La corriente CA (polaridad inversa en ciclos) se transforma en corriente CC (polaridad continua). Se rectifica la polaridad alternante para que sea estable y evitar daños en los aparatos. Esta rectificación se consigue con un puente de diodos o puente rectificador. Los diodos permiten el flujo eléctrico en un solo sentido, generando una señal eléctrica de salida en forma de pulsos denominada media onda de rectificación. Previamente al uso de esta corriente, hay que estabilizarla para lograr una onda de rectificación completa, para lo que se usan principalmente los condensadores. Según el caso, se podría añadir un amplificador de señal.

El sistema de membranas conectadas en serie o paralelo aunando rendimientos se contempla en dos supuestos: fig. 63

- Consumo directo

Se analiza qué tipo de dispositivo se desea conectar. Un diodo LED precisa de caídas de tensión (voltaje) pequeñas en torno a 1,6-3,6 V dependiendo del color y dimensión. Si la conexión se realiza previa a la estabilización y transformación de la corriente es imprescindible calcular la resistencia del LED para evitar su fundido en caso de picos de tensión.

La amplitud de sensores *wireless* existentes en el mercado también precisan bajos consumos que podrían abastecerse con una sola membrana. Una pequeña radio AM/FM también precisa de bajos voltajes de CC.

Una vez estabilizada la corriente para evitar daños en los aparatos electrónicos, el sistema puede servir de fuente de alimentación tanto en el interior del invernadero como hacia el exterior.

- Almacenamiento

La energía generada puede almacenarse en baterías para su posterior consumo. De esta manera, en periodos de baja velocidad de viento, en momentos en los que no haya actividad en el interior del invernadero o con el fin tener reservas de energía, se puede seguir recolectando energía eólica.

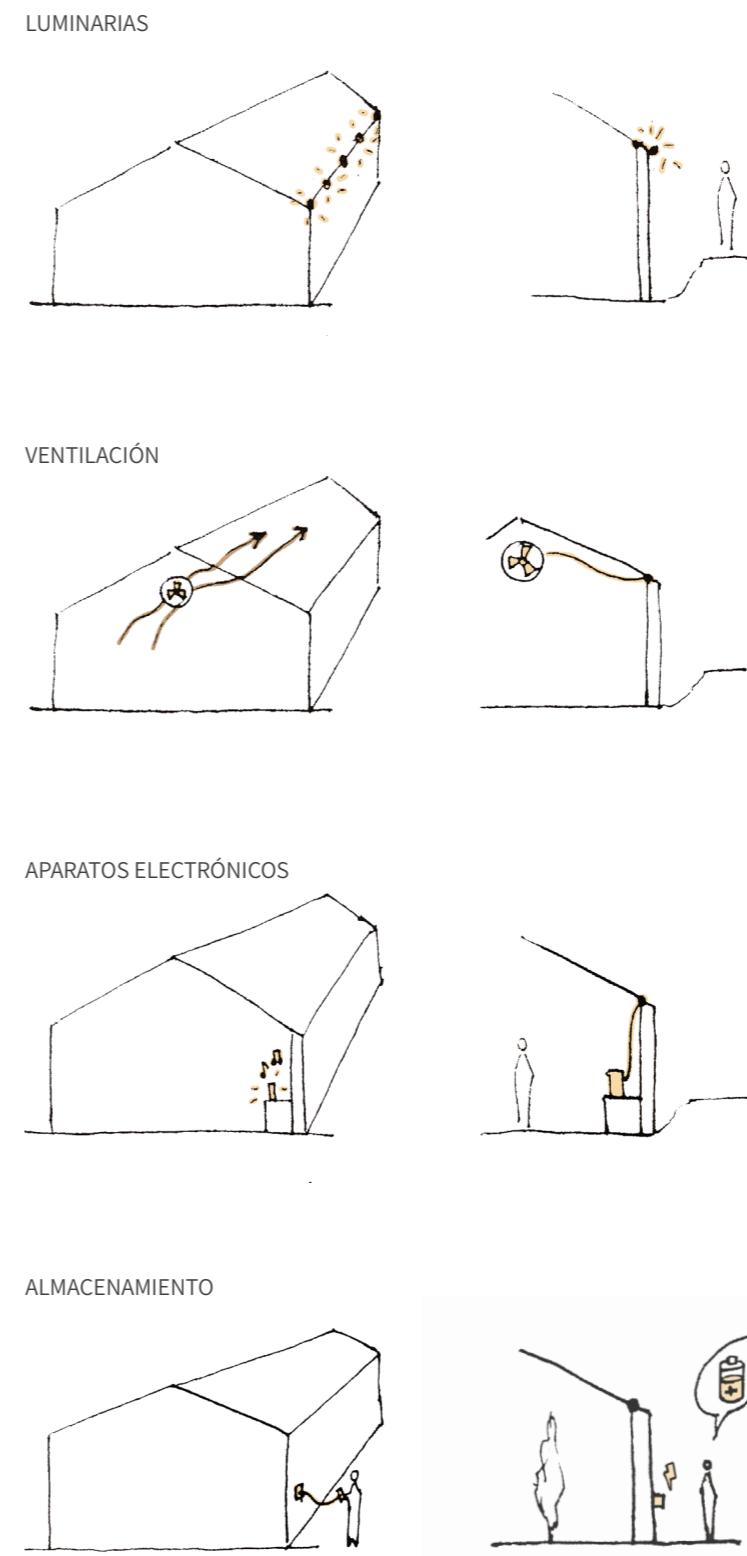


fig. 63. Ejemplos de posibles aplicaciones de la energía generada, ya sea mediante consumo directo o almacenamiento.

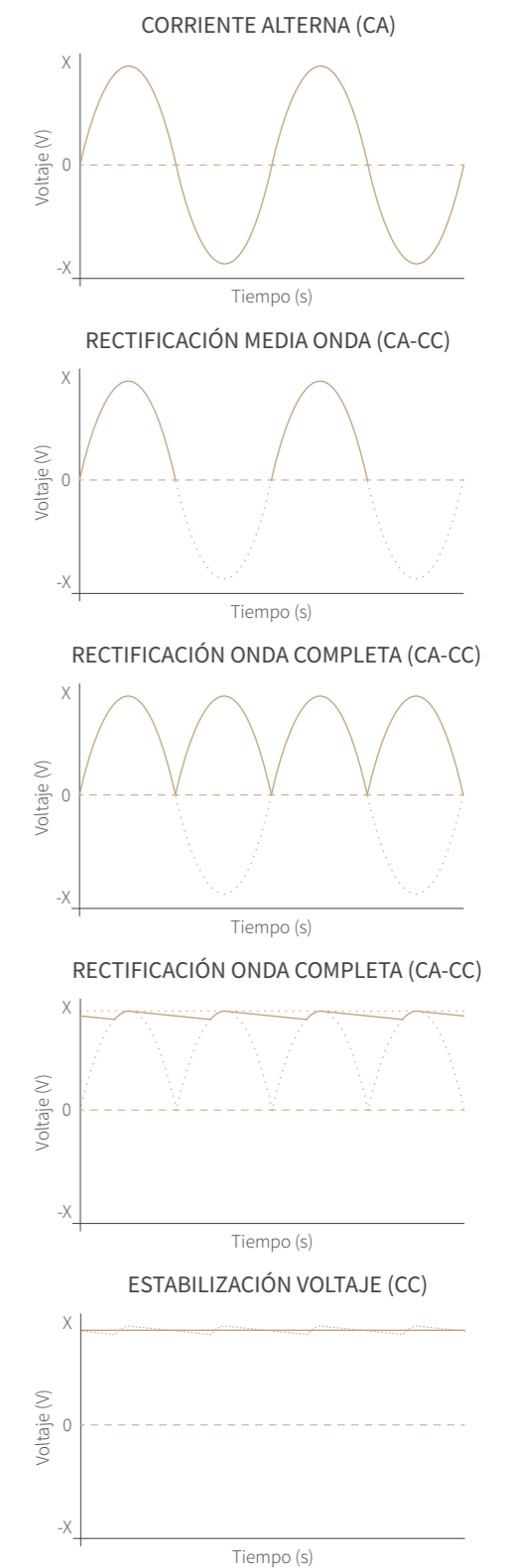


fig. 64. Proceso de transformación de la corriente obtenida por el sistema.

Electrónica

La variedad y bajo costo de componentes electrónicos disponibles en el mercado, permite que el procesado que hagamos de la energía obtenida dependa de manera prácticamente exclusiva del uso o especificaciones técnicas del aparato que se desee alimentar.

En la [fig. 65] se equipara el circuito electrónico que conformará el sistema según los dispositivos a los que se pretenda alimentar, con las fases a las que se somete la energía generada.

De este modo, quedan esquematizadas las conexiones consideradas:

- Conexión de diodos LED

La corriente CA generada se rectifica [c. 2], se regula el voltaje a 5V para obtener un pulso estable [c. 5] y se conectan los LED's teniendo en cuenta sus especificaciones para conectarles una resistencia que impida su fundido. Si directamente conectamos los módulos de [c. 4] o [c. 7], se pueden conectar tiras LED de hasta 12 V. Siguiendo este esquema pueden conectarse también dispositivos de bajo consumo como por ejemplo, sensores *wireless*.

- Carga de baterías

Si en el proceso anterior optamos por el módulo de [c. 6] conectado a un módulo cargador de baterías [c. 9], se puede almacenar la energía generada en una o varias baterías conectadas en serie/paralelo para alimentar posteriormente dispositivos si no se opta por un consumo instantáneo. Cuando se lleve a cabo la carga de dispositivos electrónicos, se recomienda la conexión del regulador de voltaje [c. 11]. De este modo se pueden cargar *smartphones* o cámaras que precisan de 5V y 1A desde la batería [c. 11], o de manera directa desde los estabilizadores de voltaje [c. 5, c. 6].

- Conexión de dispositivos

Se pueden conectar directamente dispositivos cuya carga precise 5V y 1A directamente a los estabilizadores de voltaje [c. 5 y c. 6], o al de [c. 7] cuando la demanda sea mayor.

Puede plantearse un amplio rango de prestaciones calculando sus necesidades.

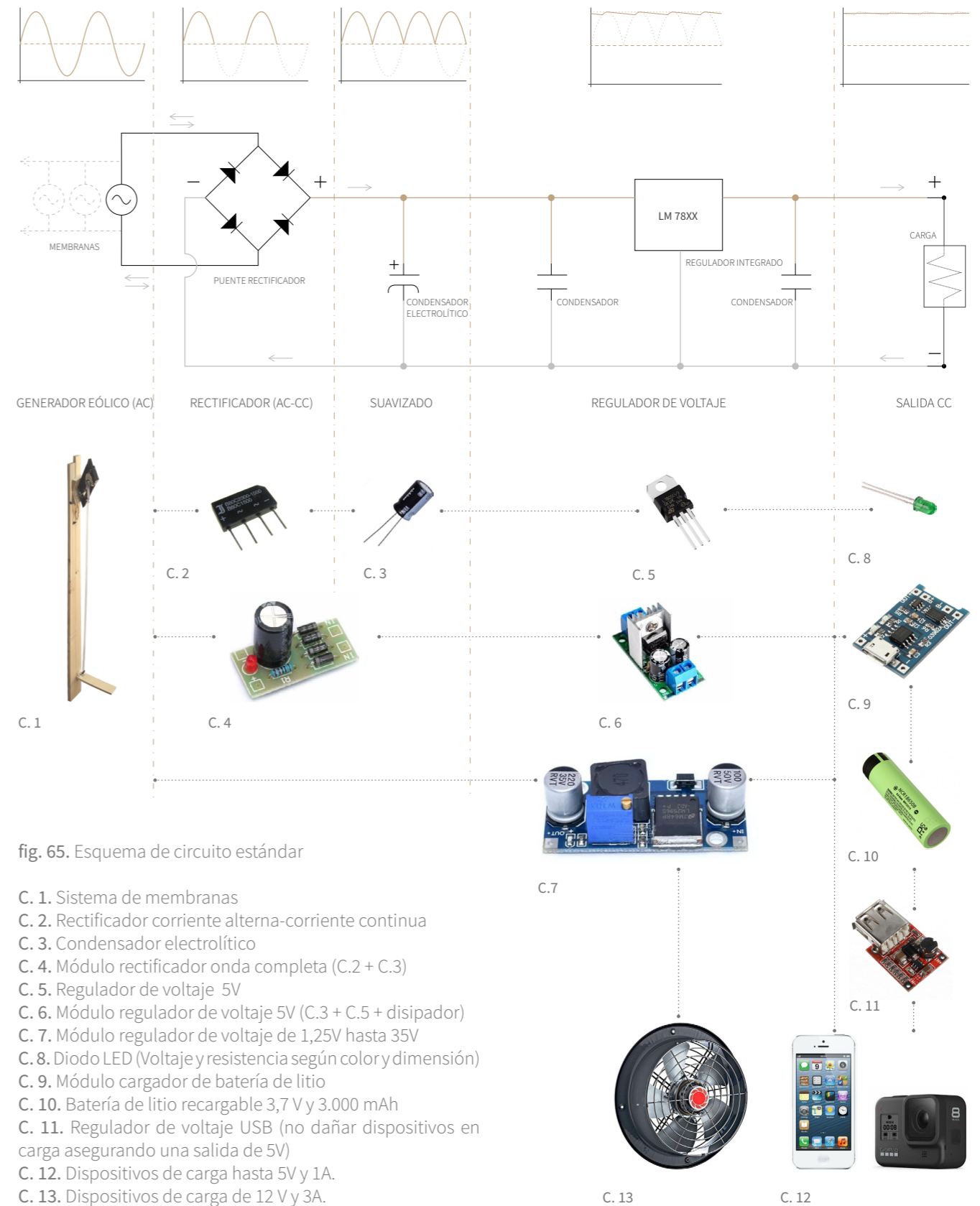


fig. 65. Esquema de circuito estándar

- C. 1. Sistema de membranas
- C. 2. Rectificador corriente alterna-corriente continua
- C. 3. Condensador electrolítico
- C. 4. Módulo rectificador onda completa (C.2 + C.3)
- C. 5. Regulador de voltaje 5V
- C. 6. Módulo regulador de voltaje 5V (C.3 + C.5 + disipador)
- C. 7. Módulo regulador de voltaje de 1,25V hasta 35V
- C. 8. Diodo LED (Voltaje y resistencia según color y dimensión)
- C. 9. Módulo cargador de batería de litio
- C. 10. Batería de litio recargable 3,7 V y 3.000 mAh
- C. 11. Regulador de voltaje USB (no dañar dispositivos en carga asegurando una salida de 5V)
- C. 12. Dispositivos de carga hasta 5V y 1A.
- C. 13. Dispositivos de carga de 12 V y 3A.

## 5.5. Emplazamiento de estudio

La actual Carchuna, fue originalmente una llanura litoral atravesada por la Carretera Nacional 340 Cádiz-Barcelona, segmentada en este área por los núcleos de Motril y Calahonda. En 1.932 la División Hidráulica del Sur de España inicia los primeros estudios para determinar una posible ampliación y mejora de los regadíos de Motril con aguas sobrantes del río Guadalfeo.

En 1.947 el INC [27] comienza la redacción de un proyecto general de colonización para estas zonas regables. Se propone la creación de dos nuevos núcleos urbanos: Carchuna y Puntalón, con viviendas para colonos, grupo escolar, capilla, casa rectoral y edificios oficiales. Las estimaciones para Carchuna fueron de 125 viviendas en fase inicial y otras 65 en una ampliación posterior.

La ocupación por parte del INC de los Llanos de Carchuna arranca en 1.960, pero la transformación del paisaje ya había comenzado y las tierras estaban siendo explotadas por gente llegada de las Alpujarras conocedoras de la técnica del enarenado, que data de 1.880 en zonas del Pozuelo y La Rábida [30]. Los agricultores despalaron, nivelaron, enfangaron y enarenaron la zona consiguiendo un buen rendimiento, lo que dificultaría la expropiación y ocupación y retrasará el comienzo de las obras previstas por el INC. Al no disponer aún de agua para riego, los riegos eran eventuales mediante la captación de agua en pozos superficiales excavados en la misma parcela y aguas salobres, ayudándose de grupos moto-bombas móviles y mangueras. Eventualmente, se decide mantener a los agricultores en régimen de explotación provisional cobrándoles anualmente un canon de arrendamiento hasta que se realizaran las obras de canalización todavía inexistentes. [28]

Es en 1.953 cuando Florentino Vázquez y Marina Cortés construyen el almacén Los Vázquez en el centro de los Llanos y enfrente a la N-340, estableciéndose la primera edificación de la futura Carchuna. Su sobrino Fulgencio Spá Cortés trabajará junto a ellos en la gestión de la "Corrida", la actividad comercializadora que se desarrollaba en ese punto de encuentro entre los agricultores de los Llanos de Carchuna y los compradores de hortalizas de toda la geografía nacional. En torno al almacén y su actividad agrícola comienza a desarrollarse la parte antigua del núcleo de Carchuna ("el pueblecillo") [29], con el fin de albergar a los primeros agricultores asentados. Los Llanos producían hortalizas extratemperanas

27. INC (Instituto Nacional de Colonización (1.939-1.971).

28. Espinosa Cortés, Olga (2.014).

29. Licerias Ruiz, A. (2.005)

30. Gómez Díaz, Donato. (1.999-2.000)



fig. 66. Vista de Carchuna desde la playa. 1.973.

Se aprecia el asentamiento original, el nuevo núcleo de colonización y el almacén Los Vázquez.

Incipiente llegada del cultivo bajo plástico frente a la producción enarenada al aire libre. <https://www.doncactus.com>



fig. 67. Construcción del primer almacén "Los Vázquez", 1953.

Considerado germen de los futuros asentamientos.

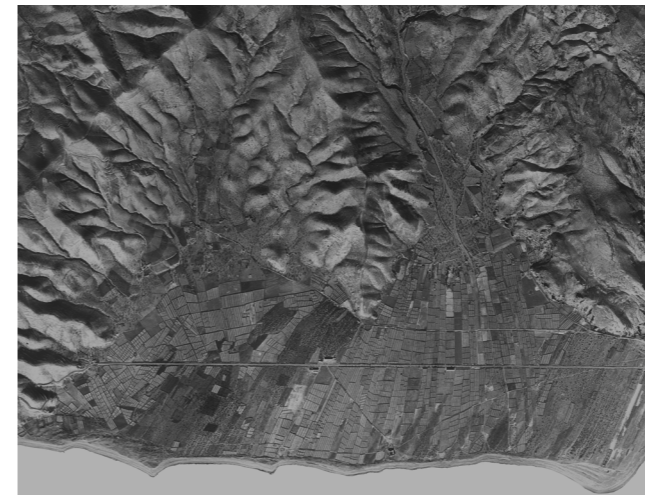
A día de hoy continúa su actividad como almacén de suministros referente. Fulgencio Spá. <http://www.fsagro.com>

de gran valor en el mercado. En los años 30 y 40 los “paquebotes”, pequeños barcos de vela, transportaban por mar cosechas desde la playa de la que sería Carchuna hasta Málaga y Algeciras.

En 1.955 se inician las obras de construcción del canal de riegos de Carchuna seguidas de la acometida de energía eléctrica al Puntalón y Carchuna, las redes de acequias, desagüe y caminos. En 1.964 el INC adjudica las obras de construcción del nuevo pueblo de Carchuna en una primera fase que contempla 70 viviendas para colonos, dependencias agrícolas, edificios oficiales, artesanías y urbanización, al Oeste del almacén y del núcleo primitivo. Es en el año 1.965 cuando el arquitecto Víctor López Morales firma el proyecto original del poblado. En 1.968 se termina la segunda fase de 16 viviendas aprovechando una ampliación de Calahonda, mientras que la primera no ha dado comienzo. No será hasta 1.976 cuando se instale en Carchuna el agua potable. Se construyen 96 viviendas, escuelas, artesanías, guarderías, mercado e iglesia, finalizándose el conjunto en 1.981.

Gracias a la cronología de las ortofotos [31] se aprecian en 1.956 las fincas agrícolas explotadas gracias a la técnica del enarenado, y una primera construcción, el almacén Los Vázquez de 1.953. En la ortofoto del vuelo del propio IRYDA [32] de 1.977 se observa cómo ya conviven el pequeño asentamiento de agricultores que trabajaban las fincas como arrendatarios y la ejecución del poblado de colonización, de planta ordenada y que supuso la expropiación de fincas a la familia propietaria. En las fases posteriores la técnica agrícola de explotación de tierras evolucionó al cultivo bajo plástico, que tuvo su pleno apogeo a partir de los años 80. En 1.998 se ha producido un aumento de tierras productivas, estancado ya en la imagen de 2.004 tras aprobarse en 2.003 el PGOU de Motril. Destaca la presencia de un nuevo sector de viviendas que sirve de costura entre el asentamiento original y el poblado de colonización. En la imagen de 2.010 se percibe una disminución de fincas agrícolas debido a la construcción de la nueva autovía A-7 y su ramal de desvío E-15 hasta su finalización en 2.015. La última imagen de 2.019 muestra la práctica estabilización del territorio, colmatado de invernaderos y confinados núcleos poblacionales que aun siendo de usos diferenciados, desde su origen estaban destinadas a una irremediable convivencia.

31. Extraídas de: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam> (consultado: Abril 2020)  
 32. IRYDA (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Fusión al INC y al Servicio de Concentración Parcelaria y Ordenación Rural, 1.971-1.995)



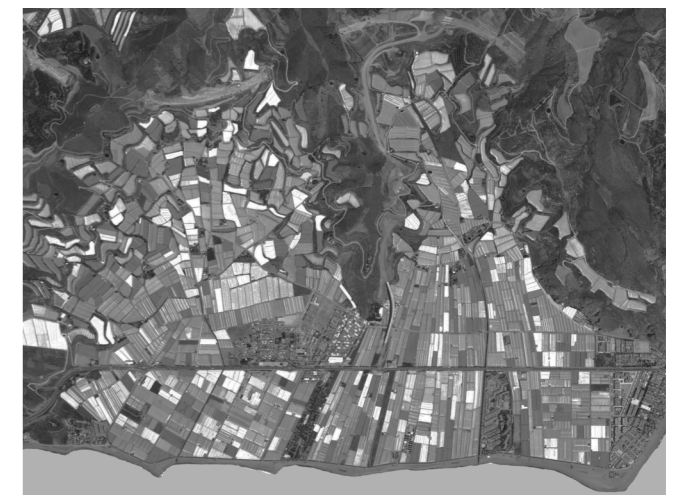
1956, Carchuna. Vuelo americano 1956-57. REDIAM. Junta de Andalucía.



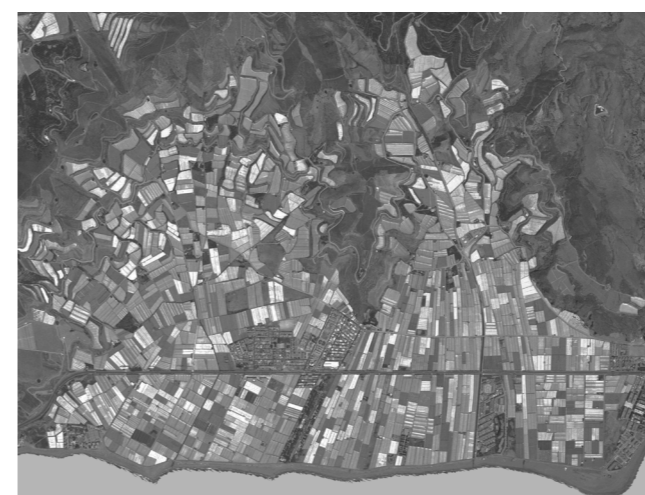
2004. Vuelo fotogramétrico color 2004. REDIAM. JJ. AA.



1977. Vuelo del IRYDA 1977-83. REDIAM. JJ. AA.



2010. Vuelos PNOA Básico 2010-2011. REDIAM. JJ. AA.



1998. Vuelo fotogramétrico color 1998-99. REDIAM. JJ. AA.



2019. PNOA máxima actualidad cedido por IGN. REDIAM. JJ. AA.

La localidad de Carchuna se encuentra delimitada topográficamente al Norte por la Sierra del Conjuero, que actúa de cerco natural de la llanura litoral denominada Los Llanos de Carchuna; al Oeste por el Cabo Sacratif, y al Este con Calahonda. La barrera montañosa la convierte en una costa relativamente escarpada lo que le confiere interés desde el punto de vista eólico para este trabajo. Su configuración geomorfológica protege la llanura de los fríos vientos norteños a la vez que actúa de pantalla para los vientos sureños procedentes del Mar de Alborán.

El comportamiento del viento en la llanura litoral se puede apreciar en la [fig. 69]. El viento inicia su entrada desde el mar, recorre la planicie e inicia su ascensión hacia las montañas. Se crea por tanto un área de continuas turbulencias en la extensión dominada principalmente por el campo de invernaderos.

Esta configuración orográfica ha sido, no obstante, ágilmente resuelta en el desarrollo superficial de las parcelas de cultivo. En su origen fueron ocupando la llanura hasta su colmatación y fue entonces cuando se invadieron parte de las laderas hasta que llegaron las restricciones normativas con el PGOU de 2.003.

El trazado de la retícula agrícola canaliza los vientos dominantes que buscan ascender las montañas desarrollándose de manera longitudinal en dirección Norte-Sur. De este modo, la mayor potencia de viento recorre las calles y supone menor impacto tanto para las estructuras agrícolas como para la cosecha interior cuando se realiza la ventilación.

La implantación del prototipo también ha de tener en cuenta esta situación orográfica. Se busca obtener rendimiento eólico sin que dañe el sistema generador adosado a los invernaderos. Por tanto, los parámetros configuradores del trazado agrícola se verán fielmente reflejados en la propuesta de aplicación.

En el siguiente subcapítulo se analiza de manera concreta el viento desde el punto de vista meteorológico para poder afinar criterios de diseño.

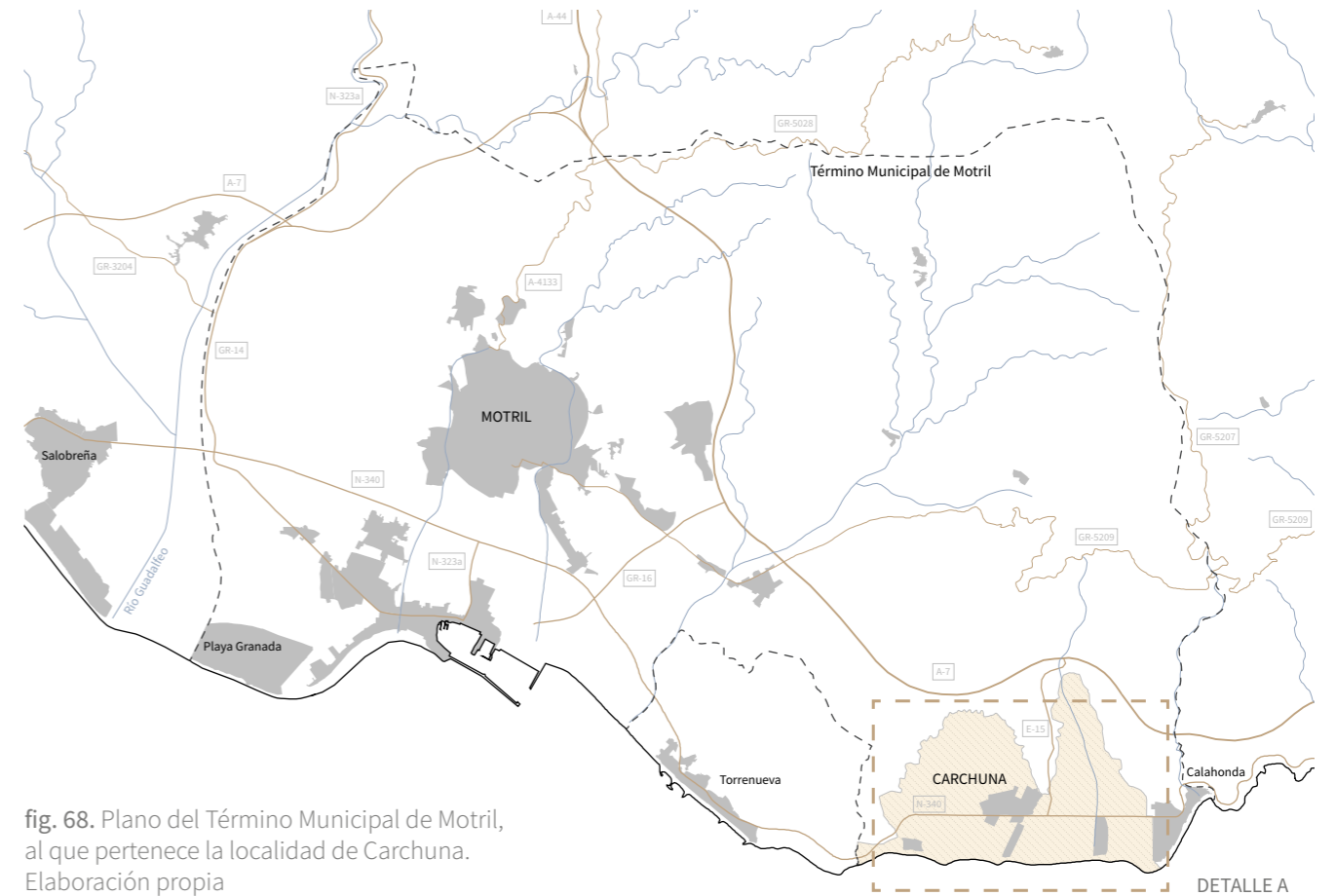


fig. 68. Plano del Término Municipal de Motril, al que pertenece la localidad de Carchuna. Elaboración propia

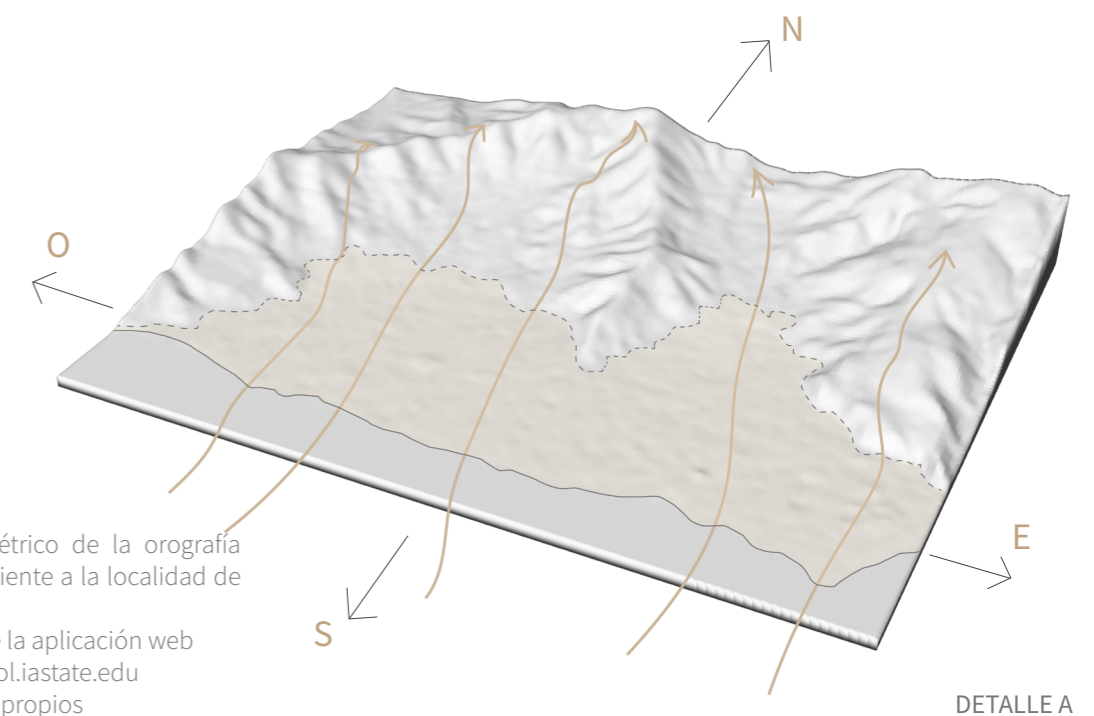


fig. 69. Detalle volumétrico de la orografía del terreno correspondiente a la localidad de Carchuna. Modelo 3D obtenido de la aplicación web <https://touchterrain.geol.iastate.edu> Plano y tratamiento 3D propios

### Soleamiento

Con el fin de determinar qué planos formales de la trama de invernaderos resultan óptimos para la implantación del prototipo, se efectúa un análisis meteorológico de la localidad. En concreto, los parámetros que más influyen a la durabilidad y eficacia de las membranas son el viento y el soleamiento.

Desde el punto de vista de soleamiento se analiza la incidencia del Sol durante los meses de mayor intensidad con el objetivo de detectar aquellos planos en los que al implantarse el sistema generador van a experimentar un mayor calentamiento y por tanto, han de evitarse.

La localización geográfica de Carchuna que se introduce en la herramienta de análisis, es la siguiente:

- Latitud: 36.701508174 °
- Longitud: -3.442133081 °

Una vez localizada se introduce el modelo 3D del terreno, obteniéndose los datos de elevación y azimut que se muestran en las imágenes. fig. 70

Los resultados mostrados corresponden a la posición solar del cenit (mediodía) por ser la más elevada, para cada mes del año. En los meses más cálidos, correspondientes a Julio, Junio y Agosto, el Sol alcanza su mayor altitud. En este periodo estival, las planos a evitar serían los correspondientes a las cubiertas de los invernaderos.

De hecho, en el calendario agrícola estival, la práctica habitual es proceder al encalado o blanqueo de dichos planos para evitar un sobrecalentamiento de la lámina de PEBD. De este modo se asegura una mayor durabilidad del material y la capa aplicada va desapareciendo con el paso de los meses y las primeras lluvias.

También en estos meses, según el tipo de cosecha a la que se dedique cada plantación, puede producirse una pausa en la producción, en la que se aprovecha para llevar a cabo mejoras y mantenimiento de las estructuras.

Este análisis ha de unificarse, junto con el que se va a efectuar a continuación de parámetros de viento locales.

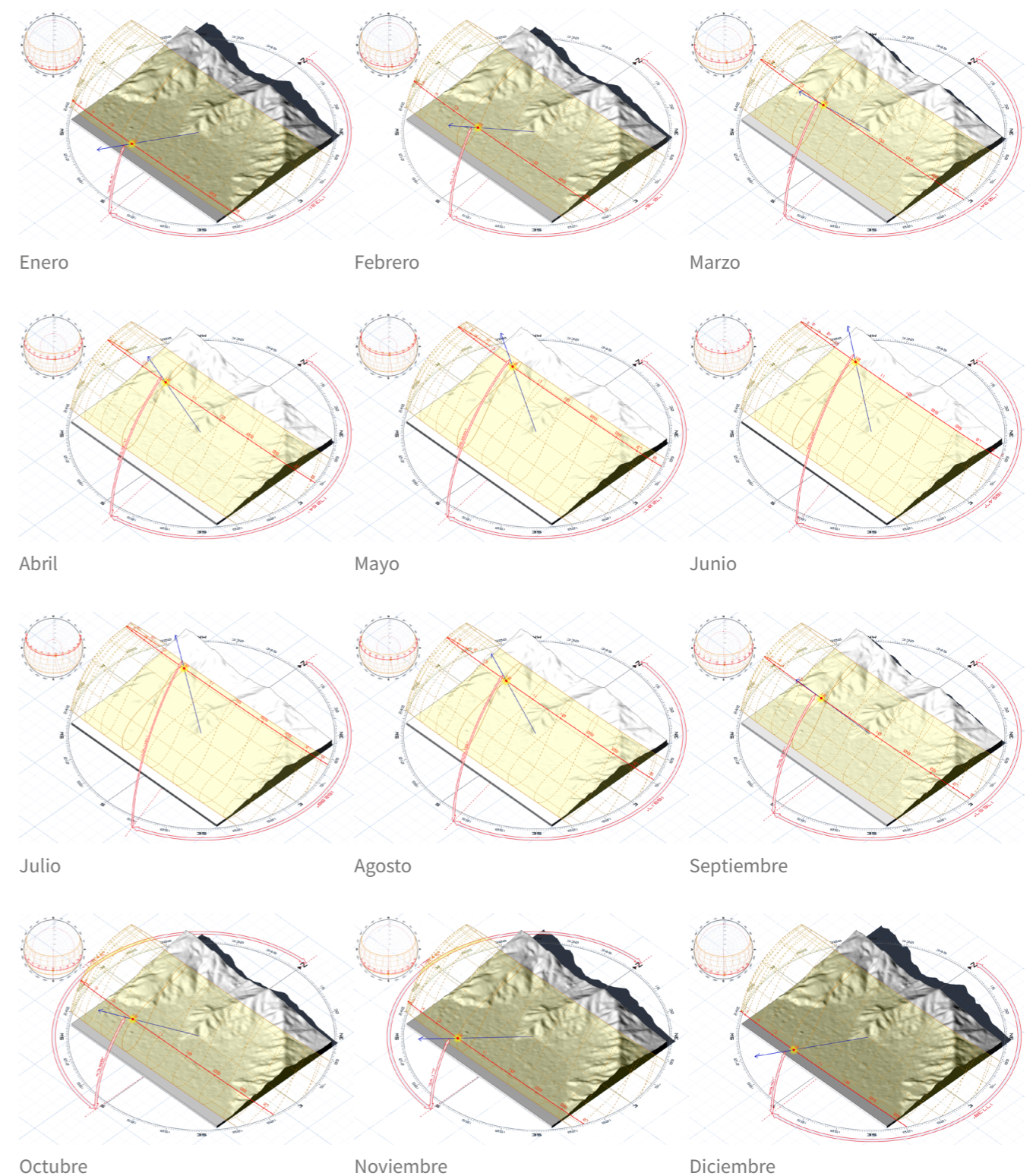


fig. 70. Estudio de soleamiento  
Elaboración propia

33. Estudio de soleamiento efectuado con la herramienta 3D Sun-Path. Extraído de la web: <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html> (consultado: Mayo 2020)

Viento

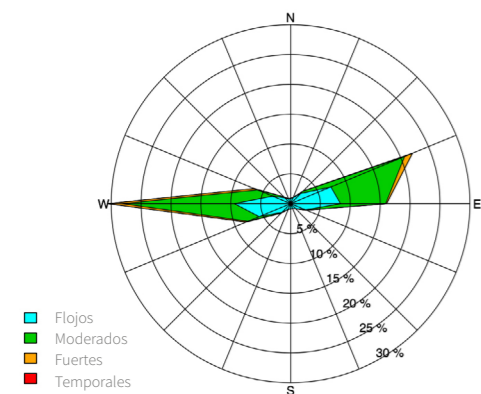


fig. 71. Rosa de los vientos anual. Media histórica (1.981-2.010) (36° N, 3° W). AEMET

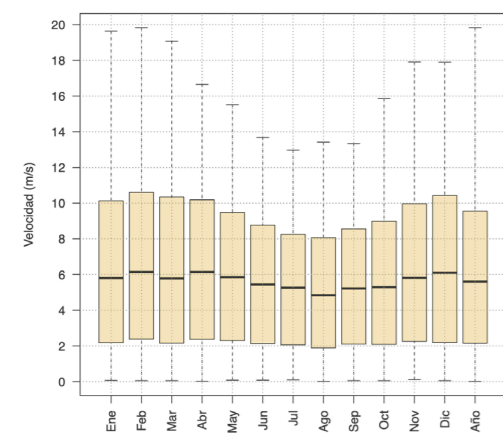


fig. 72. Velocidad media del viento (1.981-2.010) (36° N, 3° W). AEMET

El análisis de los datos de viento en la zona de Carchuna resulta imprescindible para extraer el rango de velocidades del emplazamiento, que son los que se han tenido en cuenta anteriormente en el ensayo del prototipo a la hora de establecer un marco de experimentación.

A escala general, según la localización geográfica (Lat: 36.70°; Long: -3.44°), se acude al Atlas de Clima Marítimo [35] para tener una amplia visión histórica del viento en la zona de actuación.

A través de las Rosas de los vientos de la [fig. 73] se puede apreciar la media histórica mensual elaborada entre los años 1.981-2.010. Condensando aún más esos mismo datos, se extrae la Rosa de los vientos de la [fig. 71]. En ella se resume el comportamiento del viento medio mensual de toda la muestra histórica considerada en un sólo gráfico.

Analizando el resultado, se comprueba que los vientos que prevalecen en la zona son de carácter moderado con una frecuencia relativa de alrededor del 30 % del total de la base de datos en dirección Oeste y de un 20% en dirección Este. No se consideran vientos temporales y los de carácter fuerte son despreciables. Los meses de abril y mayo son los que presentan vientos moderados en menor frecuencia, mientras que en los meses de julio y agosto aumentan, especialmente los de dirección Este.

Aunando este dato al extraído anteriormente al estudiar el soleamiento, se corrobora que los meses de julio-agosto serán los que requieran una consideración especial para evitar daños en la implantación del prototipo.

A través de los percentiles de la velocidad media del viento en m/s a lo largo del año se calcula una velocidad media anual de 5,6 m/s. La aspereza que actualmente presenta el terreno y con los datos actualizados del CENER [34] se acota ese dato entre los 4,5-5 m/s, con capacidad de ser aplicados en el ensayo del prototipo.

Son numerosas las herramientas que nos permiten manejar datos actualizados de viento, lo cual facilita la adaptación del sistema propuesto a nuevos entornos.

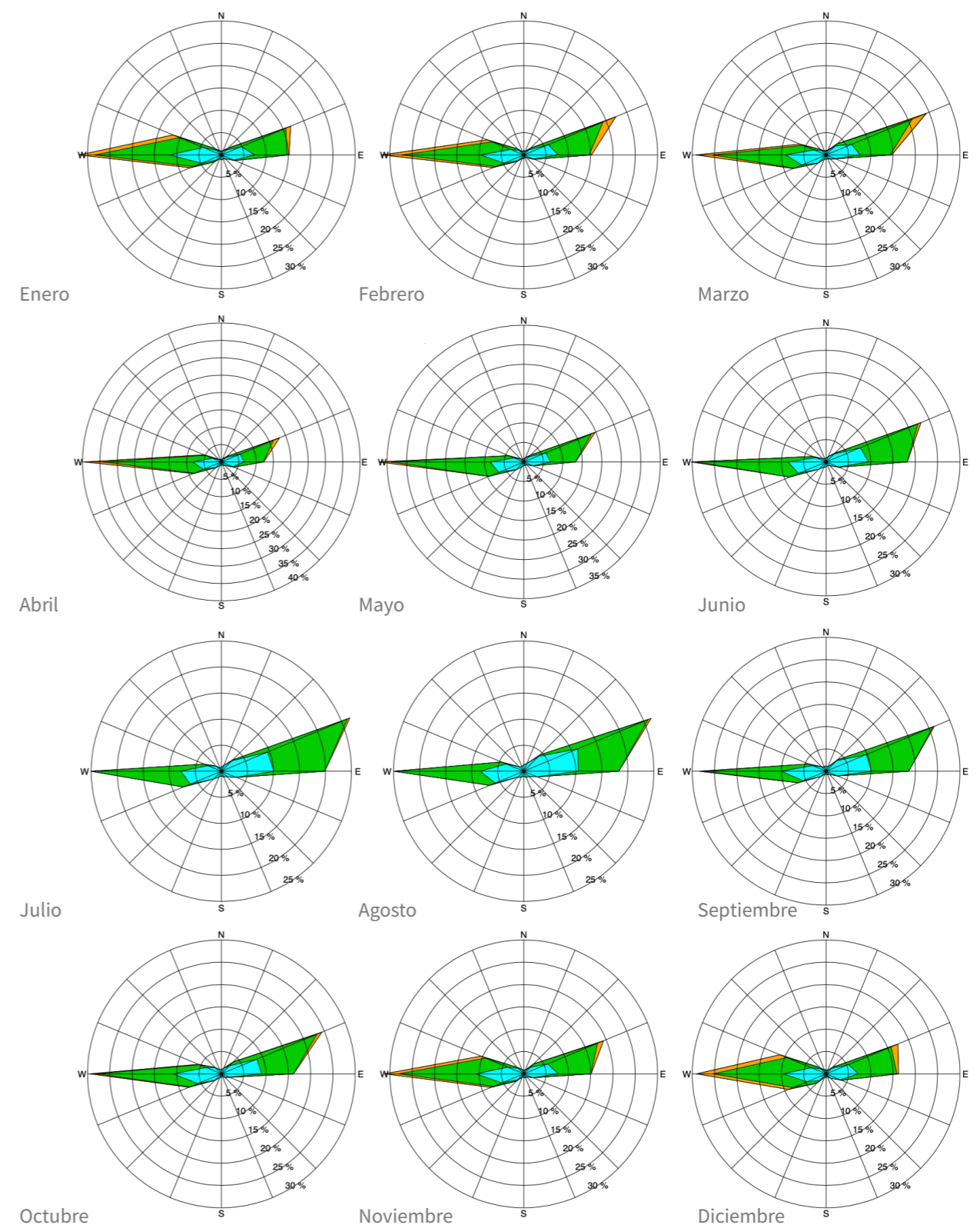


fig. 73. Rosas de los vientos, 1.981-2.010 (36° N, 3° W). AEMET

34. CENER (Centro Nacional de Energías Renovables). Visor de datos.  
35. AEMET(2.105)



## 5. 8. Ámbito de actuación

### Estado actual

En la metodología aplicada, se muestran a modo de radiografía general de Carchuna una serie de datos que permitan obtener una visión general pero certera de los parámetros que configuran el emplazamiento propuesto para el sistema aerogenerador.

- Localización: 36.70° N, 3.44°O) y una altitud 5 msnm.
- Clima: el clima de la Costa Tropical está catalogado como Mediterráneo subtropical. [36] Según la clasificación climática de Köppen (1981-2010), Carchuna quedaría englobada en el tipo BSh (Clima Seco. Tipo B:Clima árido; Subtipo BS: estepa; h: variedad cálida; Estepa Cálida).
- Temperatura media anual: 20°, no existen riesgos de heladas.
- Temperatura media de las máximas anual: 25°.
- Temperatura media de las mínimas anual: 17.5°.
- Precipitación máxima diaria anual media: 70 mm.
- Precipitación media anual: 400-500 mm
- N° medio anual de días de niebla: 50.
- N° medio anual de días de tormenta: 10.
- N° medio anual de días de granizo: 0.
- Insolación anual: 2.970,6 horas (máximos en agosto y mínimos en diciembre).
- ETo (Evapotranspiración Potencial de Referencia) acumulada media anual(sept1996-1go2016): 1100-1200 mm.

Desde el año 2.001 se viene realizando el estudio cartográfico de superficie invernada en el litoral de Andalucía Oriental.[37 y 38] Según los datos registrados en el informe de julio de 2.018, el municipio de Motril (al que pertenece Carchuna) cuenta con 1.130 hectáreas, de las cuales 538 Ha se ubican en Carchuna. No obstante, analizando los datos disponibles desde 2.001, se observa que la variación es cada vez menor o incluso nula, y en casos como el de Motril, negativa. [fig. 74] Este es un dato significativo que guarda relación con la construcción del tramo de la autovía A-7 y con la aprobación del PGOU en 2.003 que limitó la ocupación que venían desarrollando los nuevos invernaderos de las laderas.

36. MAPA, 1989. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.  
37. Informe Año 2.018. JJ. AA.  
38. Ficha Junio 2.019. JJ. AA.



fig. 74. Esquema de etapas significativas en la evolución territorial de la localidad de Carchuna. La trama gris muestra la superficie ocupada por el cultivo hortofrutícola característico de la llanura, en la que el invernadero es el protagonista  
Elaboración propia

## 5.9. El cultivo bajo plástico

Los últimos datos oficiales que registran la situación actual del cultivo bajo plástico en Andalucía corresponden al año 2.019. [38].

De ellos se extrae qué tipología de invernadero caracteriza el emplazamiento de estudio y qué grado de tecnificación presentan para así poder adaptar la implantación del prototipo al sistema constructivo de éstos. De las 538 Ha de invernaderos registrados en Carchuna los datos que se obtienen son:

- Las tipologías presentes son: 9,7% parral plano, 88,8% raspa y amagado, 1,1% multicapilla y un 0,4% otra tipología. La tendencia es la sustitución del tipo parral plano por el raspa y amagado.
- Principales materiales presentes en los invernaderos: 20,9% madera, 75,6% tubo galvanizado y 2,7% perfil IPN. Se suele comenzar a sustituir la madera por metal en el perímetro, ya que estructuralmente tiene más importancia.
- Altura máxima en cumbre 3,7 m y 2,8 m mínima. 10-12° de inclinación y 25° en nuevos.
- El 82% de los invernaderos cuentan con doble puerta.
- El 31,7% no tienen ventanas, aunque la mayor parte disponen de abertura cenital. Las ventanas cenitales abatibles son mayoritarias. Un 90% de los invernaderos cuentan con bandas plegables en la ventilación lateral y un 5,3% enrollables, de accionamiento mayoritariamente manual.
- El 96% de los invernaderos cuentan con mallas anti-insectos en las aperturas de ventilación.
- El 87% de los invernaderos no cuentan con sistema de climatización.
- Un 55,8% de las fincas invernadas cuentan con conexión eléctrica, con una potencia mínima contratada de 5,35 kW.
- El material más usado es el polietileno tricapa PE-EVA-PE (Triplast de Plastimer de 200 µm de espesor u 800 galgas(100 µm= 400 galgas)). La cara interior de PE (Polietileno de baja densidad) suele ser antigoteo y la exterior autolimpiable y de larga duración EVA (copolímero de etileno y acetato de vinilo). Suele cambiarse cada 3-4 años/cosechas.

38. Ficha Junio 2.019. JJ. AA.  
39. IFAPA 2.010. JJ. AA.  
40. Rosales Villegas, MA. (2.008)

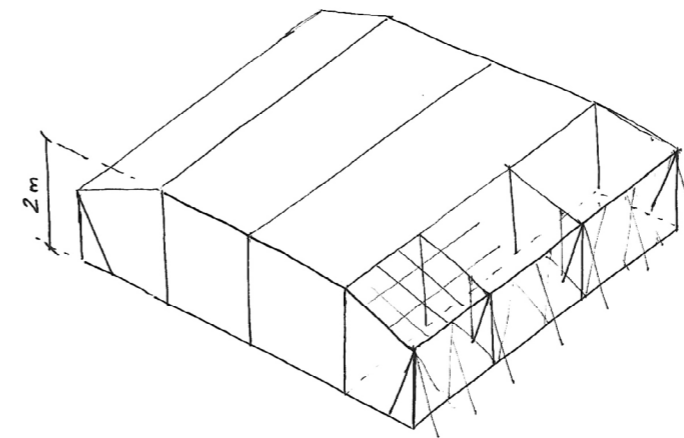


fig. 77. Invernadero tipo Parral plano. Ventilación mediante pliegue de lámina.

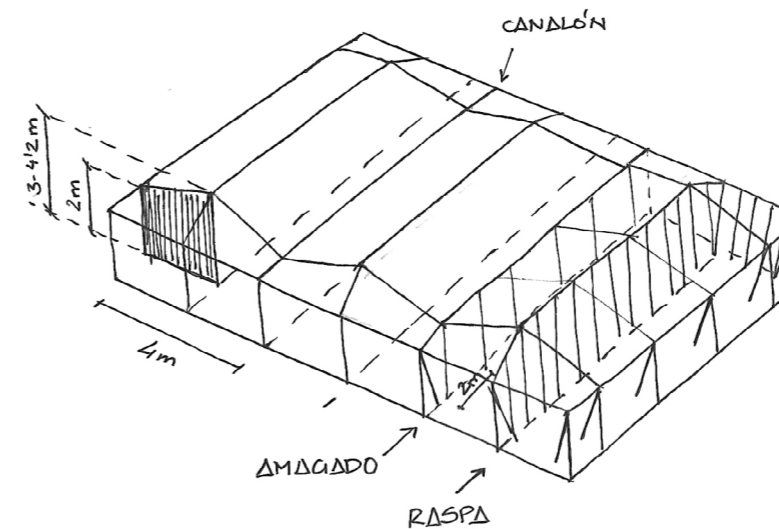


fig. 77. Invernadero tipo Parral mejorado. Conocido como tipo Almería ó Raspa y amagado. Mayor inclinación de cubierta.

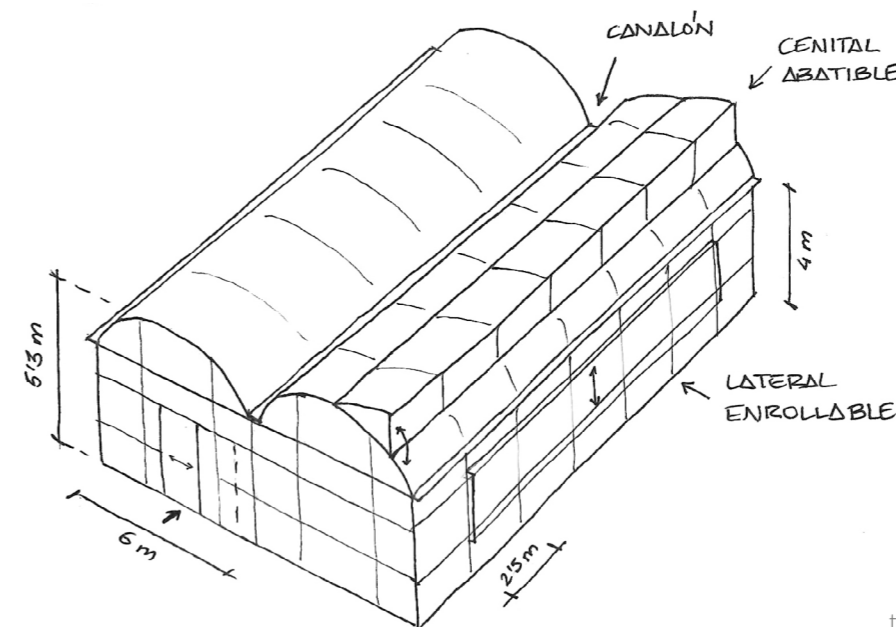


fig. 77. Invernadero tipo Multicapilla. Más tecnificado y mejor sistema de ventilación.

## 5. 10. El efecto del viento en los invernaderos

Del análisis a escala local se ha llegado a la conclusión de que los vientos son de carácter moderado, predominantes en dirección Este-Oeste, con un incremento en la intensidad durante los meses de julio y agosto, coincidiendo con los mayores datos de soleamiento mensual. Así mismo, la velocidad media del viento queda englobada entre los 4,5-5 m/s.

La rápida expansión territorial que experimentaron los cultivos protegidos desde los años 80 y el confort consumista que otorgaron al asegurar en el mercado cosechas fuera de temporada, han generado una relación de dependencia en la que la convivencia tradición-innovación se ve truncada por el vertiginoso calendario productivo.

Son numerosos los estudios que se llevan a cabo con el fin de mejorar los invernaderos existentes y aplicar adelantos técnicos en los de nueva construcción y sirven como fuente en el ejercicio de conocer en mayor profundidad qué efectos produce el viento en la escala concreta del invernadero. [42]

Gracias a ellos se analiza la incidencia del viento en las paredes de los invernaderos y en los sistemas de apertura usados para la renovación del aire en el interior. [41] [fig. 78]

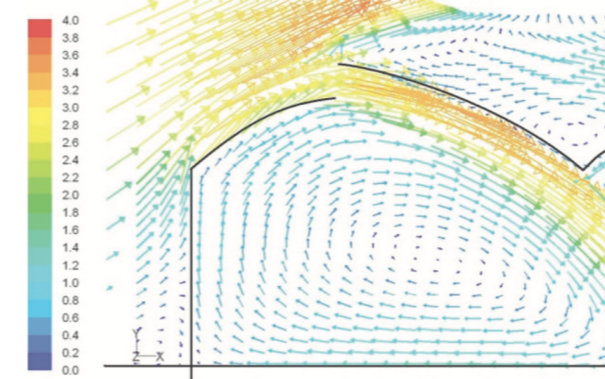
El sistema contempla como opciones establecer una segunda piel paralela a la existente o una continuación de ésta, si se opta por enrasarlo al hueco de los ventanales. El uso del polietileno en la membrana oscilante permite que dicha piel consiga mimetizarse y no suponer un impacto visual.

En invernaderos con ventilación cenital abatible o con deflectores [fig. 79] también puede ser usado en el interior ya que el efecto del viento al penetrar a barlovento cumple con la velocidad requerida para provocar el aleteo de las membranas.

En paredes que conformen fachadas a vías principales el uso idóneo se considera enrasado con los ventanales, ya que la velocidad del viento es mayor. En calles secundarias o interiores, el sistema paralelo no conlleva inconvenientes.

41. Baeza, E. J (2.007).  
42. Montero, J. I (2.009)

VENTILACIÓN A BARLOVENTO



VENTILACIÓN A SOTAVENTO

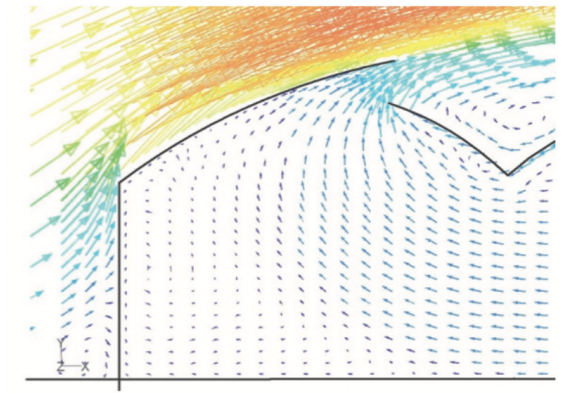


fig. 78. Influencia del viento en ventanal cenital a barlovento (cara al viento) o barlovento (de espaldas al mismo).

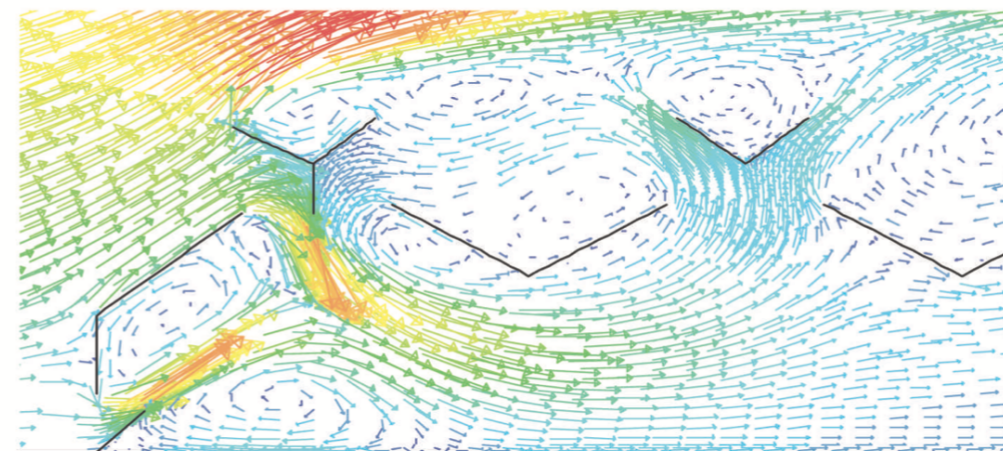
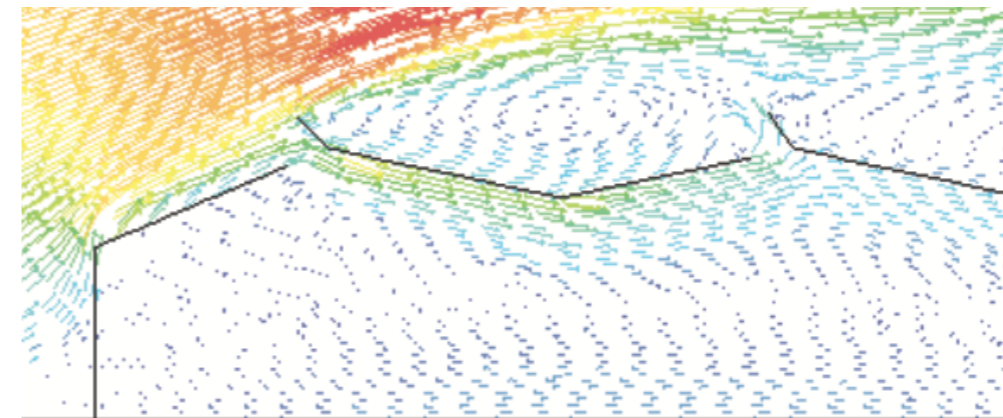


fig. 79. Comparativa de la influencia del viento en el uso de ventanas cenitales simples, dobles (con uso o sin uso de deflectores) y con ventilación inversa.

## 5. 11. Implantación

Del estudio desgranado del entorno de cultivo bajo plástico protagonista en Carchuna, y las características y respuestas que ha mostrado el prototipo y por extensión el sistema generador, se pueden anticipar una serie de aplicaciones adecuables al sistema constructivo de los invernaderos. fig. 80

Teniendo en cuenta soleamiento, orientación y dirección del viento, el sistema puede ir adaptándose en distintos puntos de las estructuras para lograr su óptimo rendimiento sin que interfiera en la producción agrícola y dotando a su vez de utilidad a agricultores, habitantes y visitantes.

En ventanas cenitales abatibles en las que el uso de deflectores mejora la ventilación natural, el sistema puede incorporarse al mecanismo de modo que al penetrar el aire al interior del invernadero se produzca la oscilación y por tanto, la generación de energía. Este mecanismo de ventilación está presente en los invernaderos de nueva construcción, por lo que puede adicionarse a él. fig. 81 y 82.

En el sistema de ventilación inversa, que también muestra claros beneficios en la circulación de aire, el mismo procedimiento puede adaptarse en las paredes laterales. fig. 82

En ventilación lateral, la más habitual por gozar de mayor recorrido y simplicidad de montaje, el sistema contempla las opciones de apertura abatible o enrollable. fig. 83

En paramentos en los que no existan aberturas se puede optar por generar directamente una segunda piel paralela a la existente sin que suponga impacto visual, ya que el material empleado contribuye a su integración. Es recomendable que se emplee en calles interiores, para minimizar los efectos de posibles rachas de viento.

No obstante, la versatilidad del sistema permite que cualquier situación pueda llegar a plantearse y resolverse constructivamente.

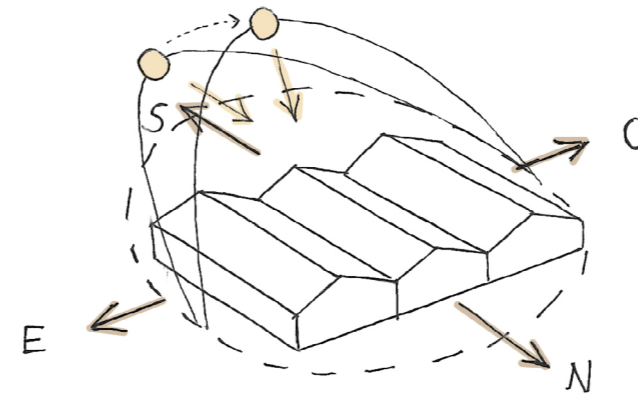


fig. 80. Parámetros de orientación, soleamiento y dirección de viento tenidos en cuenta al plantear posiciones de implantación del prototipo.

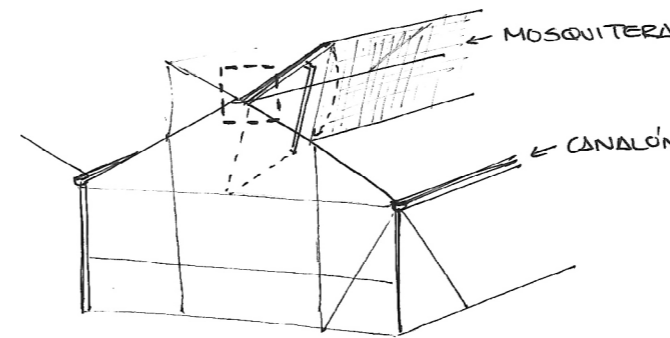


fig. 81. Idoneidad de la tipología de ventilación cenital abatible presente en los invernaderos de nueva construcción.

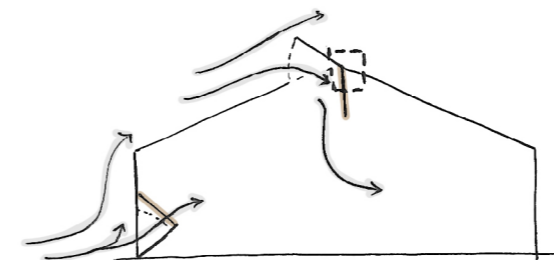


fig. 82. El efecto deflector aplicado al prototipo en ventilación cenital e inversa permite considerarlo como una adecuación óptima en relación con la producción cosecha-energía.

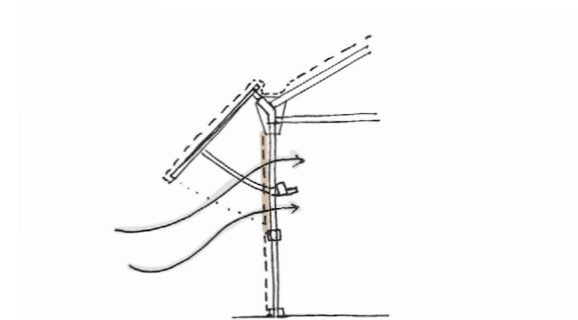


fig. 83. En ventilación lateral el prototipo permite adecuarse como segunda piel, ya sea a cara exterior o enrasado con las aberturas abatibles o enrollables.

## 5. 12. Aplicaciones

Los beneficios que puede aportar el sistema generador cuentan con la misma versatilidad que la implantación en sí.

En primer lugar, puede servir de suministro al propio invernadero al que se acopla a modo de servidumbre recíproca. Se puede hacer uso de dispositivos desde el interior mediante conexión directa o a través del almacenamiento de energía. A la vez que el viento penetra en el invernadero y provoca la generación eléctrica, puede hacerse uso de ella en actividades cotidianas durante la cosecha. fig. 84 y 85

En aquellas calles de la localidad en las que los invernaderos crean fachadas, se pueden establecer tomas de energía de uso público de manera que supongan un beneficio para los habitantes de la localidad o visitantes de la costa. Se dota de este modo de un carácter más cotidiano y cercano al viandante, ofreciéndole la capacidad de integrar en sus acciones un elemento presente pero ajeno él. fig. 86

La existencia de doble puerta a invernaderos ofrece la posibilidad de adentrarse en un juego de planos en profundidad existentes, pero que a su vez tome un nuevo matiz productivo. fig. 87

La geometría limpia y sencilla que da forma a los invernaderos puede integrarse como elemento de configuración de la actividad urbana en aquellas calles en las que viviendas e invernaderos comparten escenario. Dotarles de un rasgo de *land-art* al considerar sus aristas como líneas suavemente iluminadas que creen una nueva trama flotante al caer el sol puede enriquecer la percepción del entorno. fig. 88

La implantación del sistema busca provocar una reflexión sobre cómo aprovechar los recursos disponibles y los elementos pre-existentes para crear nuevos beneficios, atmósferas cotidianas o recursos integradores aunando innovación y tradición. fig. 89

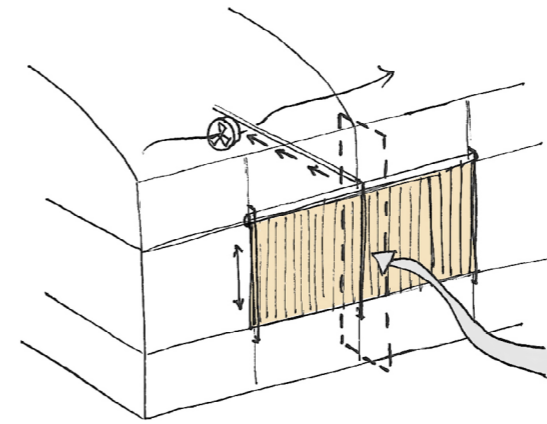


fig. 84. Generación de energía epidérmica y consumo de ésta en labores agrícolas.

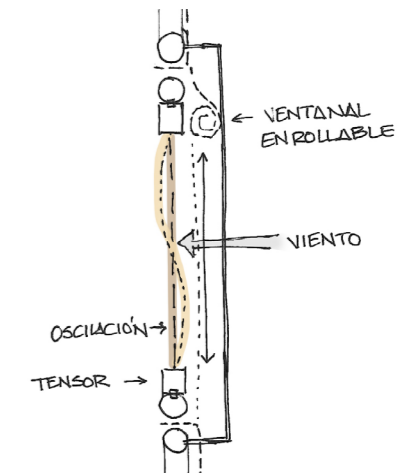


fig. 85. Facilidad de adaptación del sistema según los objetivos demandados.

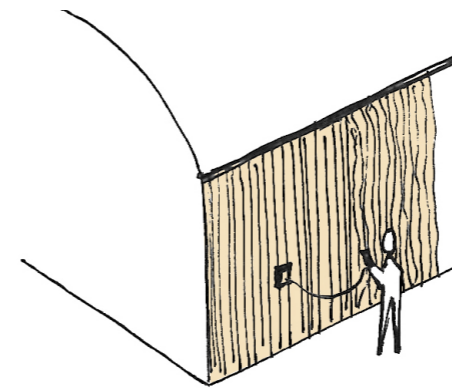


fig. 86. Consumo de energía de carácter público buscando integración con el viandante.

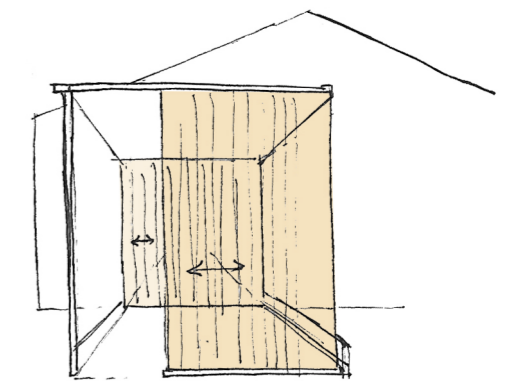


fig. 87. Aprovechamiento epidérmico de los invernaderos incorporándose a su sistema constructivo.

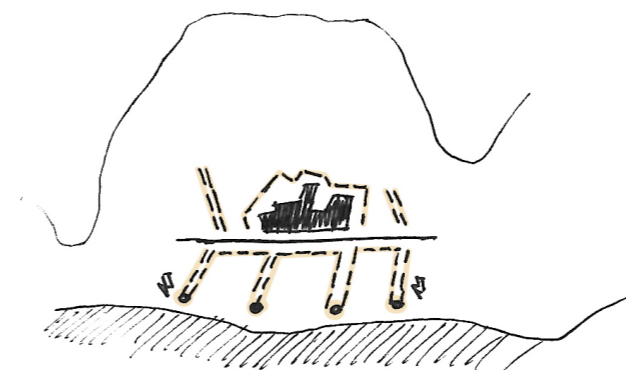


fig. 88. Iluminación de aristas a modo de trama urbana flotante.

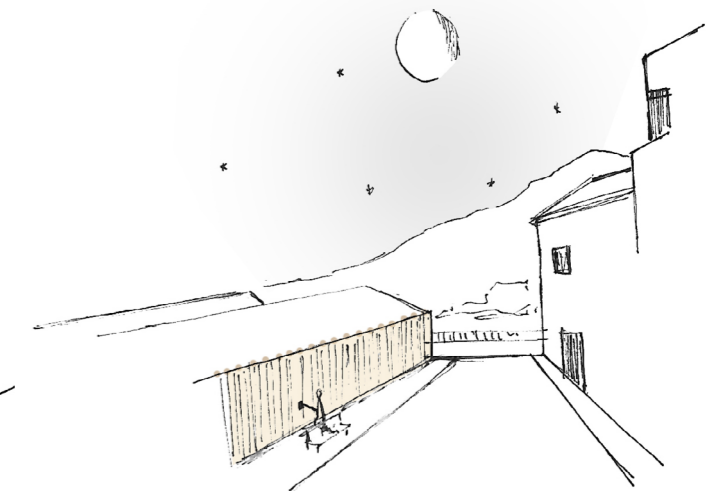


fig. 89. Integración de invernaderos a escenas cotidianas.

## 5. 13. Oportunidades

El presente TFG se centra en explorar la propuesta de un sistema de micro-generación eólica, y para ello se apoya en una implantación tipo que es la que se toma como extensión del estudio. Es este el entorno que inspiró la idea, y es quien merecía experimentarla.

A pesar de ello, el ámbito de aplicación al que puede aspirar el sistema no tiene más límite que el de la imaginación, el análisis, dimensionado y diseño.

El ser humano precisa hoy día de energía eléctrica como herramienta para llevar a cabo la gran mayoría de sus acciones. Cómo obtenerla no debería ser un asunto nimio del que mantenernos ajenos.

No obstante, en algunos medios los recursos disponibles son básicos y las infraestructuras escasas. Es allí donde sistemas minoritarios como el estudiado, de fácil montaje y simple funcionamiento pueden suponer una oportunidad de adecuación.

Escenarios de emergencia arquitectónica, entornos naturales o asentamientos temporales, son algunos ejemplos en los que el ser humano puede verse beneficiado de energías alternativas.

Instalaciones que configuran elementos del paisaje, en constante contacto con el viento como único acompañante pueden ser espacios de experimentación.

La continua evolución en sistemas constructivos y materiales aplicados cada vez más en fachadas y tendencia predominante de edificios con desarrollo en altura, pueden brindar la oportunidad de incorporar su tejido epidérmico a esta experimentación.

Es obvio que la conciencia climática está cada día más presente en nuestro modo de actuar, pero hay mucho camino por experimentar y poco tiempo como margen de error.

## 5. CONTENIDO Y DESARROLLO

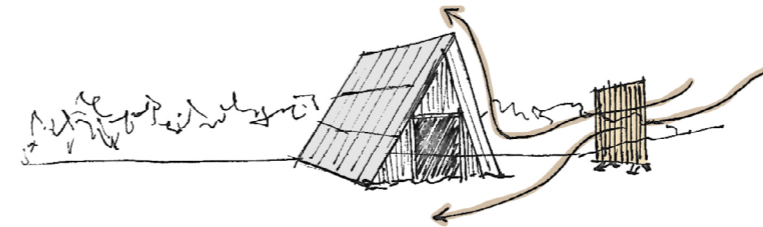


fig. 90. Entornos de emergencia arquitectónica o bajos recursos constructivos



fig. 91. Entornos naturales, rurales o de asentamiento temporal

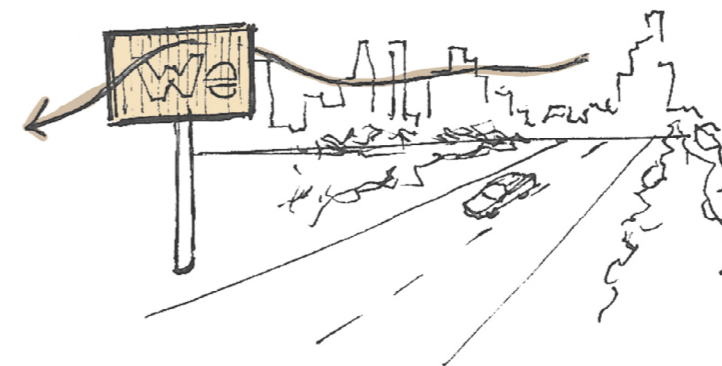


fig. 92. Áreas periféricas en las que se requieran consumos puntuales de energía

Efectuado el camino por el que el presente TFG ha pretendido servir de guía, resta el ejercicio final de extracción y procesamiento de las conclusiones que se han pretendido arrojar.

La inmediatez del mundo que nos rodea nos envuelve en un vertiginoso ritmo de vida en el que en ocasiones resulta difícil lograr espacios de reflexión y emoción. Una sociedad a la que ya nada sorprende pierde la capacidad de experimentar nuevas sensaciones que convulsionen sus sentidos.

Como individuos se espera de nosotros resiliencia y capacidad de proporcionar una respuesta y adaptación a situaciones que nos va planteando el devenir. Como futuros arquitectos, se añade además la responsabilidad de ser una figura social capaz de anticiparse a conflictos y proporcionar soluciones sin perder de vista que nuestra labor deambula entre el Arte y la Técnica.

La figura que el arquitecto ha desarrollado históricamente posee una innegable labor social que se ve agudizada en épocas de crucial importancia como la que nos está tocando vivir a nivel mundial.

La motivación original en este trabajo surgió del interés por la experimentación de nuevas formas de obtención de energía limpia. Esa inspiración nació de la vivencia personal en un entorno *a priori* hostil, y con el paso del tiempo se fue gestando la sensación de que todo entorno tiene oportunidades que ofrecer.

El ser humano tiene la maravillosa pero desaprovechada virtud de ser capaz de extraer algo positivo de cualquier situación. Desde la solidaridad y la generosidad de nuestras acciones podemos, grano a grano, mejorar el entorno y la existencia de quienes nos rodean.

La grandeza de la Arquitectura como profesión y como manera de entender la vida nos otorga la habilidad de superar cualquier límite mediante el deseo de aprendizaje.

El presente trabajo realiza una incursión, desde el respeto y la humildad, en la exploración

de las nuevas tecnologías aplicadas a la labor proyectual del arquitecto.

Cada día resulta más evidente que Tecnología y Arquitectura forman un tándem aún por explorar y desarrollar a máximo rendimiento.

El desarrollo de la actividad profesional en cualquier ámbito tiende de manera inevitable a equipos multidisciplinares que sean capaces de dar respuesta a cuestiones complejas de manera conjunta. Está en nuestra mano ser capaces de ocupar un papel protagonista en esa labor.

La evolución tecnológica nos brinda la oportunidad de, una vez más, derribar fronteras y abarcar nuevos campos de conocimiento y desarrollo.

Hoy día las Escuelas de Arquitectura cuentan con cada vez más nutridos espacios de fabricación y experimentación o *Makerspaces* en los que tomar consciencia de que la innovación está a nuestra disposición.

Sin embargo, la esencia del papel del arquitecto reside en aunar estos avances sin perder de vista la tradición y el aprendizaje adquiridos.

Es una nueva responsabilidad que asumimos y que nunca debemos perder de vista en cada una de nuestras acciones. Debemos afrontar el ejercicio de la profesión desde el respeto al medio ambiente y las necesidades sociales que nos rodean.

Integrar avances tecnológicos en una labor con tanto arraigo histórico, precisa de un desaprendizaje que nos permita volver a conocer y ya entonces, innovar.

Con este acercamiento a una técnica tradicional de claro de impacto territorial como es el cultivo bajo plástico, se pretende explorar la generación de energía limpia en un entorno de fuertes contrastes paisajísticos y de convivencia, a través del aprovechamiento eólico, una fuente de energía inagotable y bastante inexplorada. Tradición, innovación, integración, viento.  
**Arquitectura.**

### - Aeroelasticidad

Las fuerzas aerolásticas son aquellas acciones producidas por el viento en una estructura debido a la deformación de ésta.

### - Aerogenerador

Sistema capaz de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica para luego, por medio de un generador, producir energía eléctrica.

### - Alternador

Generador de corriente alterna, que crea corriente eléctrica por medio de campos magnéticos.

### - Azimut

Ángulo que forma el meridiano con el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.

### - Cénit (Zenit)

Situación del Sol en el punto más alto de su elevación sobre el horizonte.

### - Corriente eléctrica inducida

Proceso por el cual el campo magnético creado por un conductor eléctrico provoca una fuerza eléctrica en otro conductor próximo

### - Elevación

Distancia angular vertical que hay entre un cuerpo celeste y el horizonte local del observador.

### - Energía Eólica

Energía que utiliza el recurso inagotable del viento para transformar su energía cinética en energía mecánica o eléctrica.

### - Invernadero

Recinto cerrado, cubierto y acondicionado para mantener una temperatura regular que proteja las plantas de las inclemencias extremas propias del tiempo invernal, como frío intenso, heladas, viento, etc.

### - Orografía

Parte de la geografía física que se encarga del estudio, descripción y representación del relieve terrestre.

### -Oscilación

Espacio recorrido por un cuerpo oscilante, entre sus dos posiciones extremas.

### - Turbina

Máquina que consiste en una rueda en el interior de un tambor provista de paletas curvas sobre las cuales actúa la presión de un fluido haciendo que esta gire.

### - Vórtices

Fenómeno que aparece cuando un flujo laminar fluye contra un obstáculo y al colisionar genera un patrón cíclico de vórtices. Los vórtices aparecen en la cara del obstáculo opuesta al flujo y se desprenden de manera alternativa, dando lugar a la denominada calle de vórtices. Las zonas de baja presión que crean son las responsables de que el objeto tienda a moverse de manera también alternativa hacia ellas, dando así lugar a un aleteo.

43. Real Academia Española.  
<https://dle.rae.es>

44. Oxford Languages.  
<https://www.lexico.com/es>



## Bibliografía Básica

1. Aranda-Mercader, JD (2.000) "El dominio del viento". Caja de Ahorros del Mediterráneo. Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia. Cartagena, España. 207 pp.
2. Arroyo Ilera, F. 51 (2012-2) "Imágenes de molinos y artificios hidráulicos en las iconografías urbanas Cuadernos Geográficos", 36-52 pp.
3. Baeza, E. J. (2007). "Optimización del diseño de los sistemas de ventilación en invernaderos tipo parral". Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.
4. Baeza, E. J.; Perez-Parra, J.; Montero, J. I.; Bailey, B.; Lopez, J. C. y Gazquez, J. C. (2009): "*Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics*"; *Biosystems Engineering*, 104 (1); pp. 86-96.
5. Barrero-Gil, A. (2.008). "Dinámica de osciladores aerolásticos" Tesis Doctoral. Madrid, España.  
Disponible para consulta en línea en:  
[http://oa.upm.es/1849/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_53737.pdf](http://oa.upm.es/1849/1/INVE_MEM_2008_53737.pdf)  
(Consultado: Junio 2.020)
6. Braun-Hogenberg. Civitates Orbis Terrarum. "The cities of the World 1572-1618". Edición facsímil. 1966. Edición Digital: Institut Cartogràfic de Catalunya, Cartoteca digital. <http://cartotecadigital.icc.cat>
7. Cádiz-Deleito, JC (1.992) "Historia de las máquinas eólicas" Tabapress. Madrid, España. pp. 432-442.
8. Cádiz-Deleito, JC; Ramos-Cabrero, J (1.984) "La energía eólica: tecnología e historia" Blume. Madrid, España. 221 pp.
9. Caro-Baroja, J (1.952) Disertación sobre los molinos de viento. "Revista de Dialectología y Tradiciones Populares, Tomo VIII, Cuaderno 2º" Bermejo. Madrid, España. pp. 213-366.
10. Cartografía de invernaderos en Almería, Granada y Málaga. Informe año 2.018. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Cartografia%20\\_inv\\_AL\\_GR\\_MA\\_180725.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Cartografia%20_inv_AL_GR_MA_180725.pdf)
11. Castilla, N. (2005) "Invernaderos de plástico: tecnología y manejo". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
12. Den-Hartog, JP (1.985) "*Mechanical Vibrations*" Courier Corporation.
13. "El cultivo protegido en el clima mediterráneo". Estudio FAO Producción y Protección vegetal 90. Roma, 2.002
14. Espinosa Cortés, Olga (2.014). "Pueblos de Colonización. El Puntalón, Carchuna y Calahonda". Universidad de Granada.
15. Fernández-Díez, P (2.000) "Evolución de los Molinos Eólicos"
16. Fernández-Lavandera, E; Fernández-Rodríguez, CM (1.998) "Los molinos: patrimonio industrial y cultural" Grupo Editorial Universitario. Granada, España. 306 pp.
17. Fichas caracterización del sector agrario y pesquero de Andalucía. Junio 2019. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios\\_informes/19/12/Fichas%20caracterización%20del%20sector%20agrario%20y%20pesquero%20de%20Andaluc%C3%ADa\\_2019.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios_informes/19/12/Fichas%20caracterización%20del%20sector%20agrario%20y%20pesquero%20de%20Andaluc%C3%ADa_2019.pdf)
18. Forti, JC; García-Arilla, EL (2.017) "Mejora y fabricación para un generador eólico vertical" Proyecto Final de Ingeniería. Argentina. pp. 17-23.
19. Gómez-Díaz, D.(1.999-2.000) " Sobre el alambre: Parrales e invernaderos. Un ejemplo de las herencias estructurales y tecnol[ogicas del sureste español" Revista de Humanidades y Ciencias Sociales de IEA, 17. Almer[ia, España. pp.49-84,
20. Krüger, F (1.931) Notas etnográfico-lingüísticas da Póvoa de Varzim. "Boletim de Filologia" Tomo IV: 1-2. Lisboa, Portugal. 276 pp.
21. Kulunk, E. (2011). "*Aerodynamics of Wind Turbines, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*", Dr. Rupp Carriveau (Ed.). InTech.  
Disponible para consulta en línea en:  
<http://www.intechopen.com/books/fundamental-and-advanced-topics-in-wind-power/aerodynamics-of-windturbines> (Consultado: Abril 2.020)
22. Liceras-Ruiz, A. (2.005). "Proyectos y experiencias. Estrategias didácticas aplicadas al estudio del paisaje. Los poblados de colonización en los Llanos de Carchuna (Motril)" PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, no52, febrero 2005, p. 110-113.
23. López-Gómez, A. (1999): "Molinos de viento y de agua en las vistas de Wyngaerde (1562-70)". Estudios Geográficos. nº 235. p. 303-324.
24. Lorenzo-Mínguez, P; Sánchez-Guerrero-Cantó, MC; Medrano-Cortés, E; Alonso-Ramírez, FJ; Pérez-Parra, J; Baeza, E; Gázquez, JC; López, J; Montero, J. (2.010) "Manejo del Clima en el Invernadero Mediterráneo". IFAPA. Consejería de Agricultura, Pesca. Junta de Andalucía.
25. Mapas climáticos de España (1981-2010) Y ETo (1996-2016). Ministerio para la transición ecológica y Agencia Estatal de Meteorología. Gobierno de España. Madrid. (2.018)
26. Montero, J. I.; Stanghellini, C. y Castilla, N. (2009) "*Greenhouse Technology for Sustainable Production in Mild Winter Climate Areas: Trends and Needs*"; *Acta Horticulturae*, (807); pp. 33-46.
27. Montero, J. I. (2.012): "Desarrollo de estructuras para invernaderos"; CEA03. Julio 2.012; Fundación Cajamar. pp.45-69.
28. Perez-Parra, J. (2.002): "Ventilación natural de invernaderos tipo parral"; Tesis doctoral. Escuela Técnica superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.
29. Rojas-Sola, JI; Amezcua-Ogáyar, JM (2.005) "Origen y Expansión de los Molinos de Viento en España"  
Disponible para consulta en línea en:  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442005000600004&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442005000600004&script=sci_arttext)

(Consultado: Abril 2.020)

**30.** Rosales-Villegas, MA. (2.008). "Producción y calidad nutricional en frutos de tomate Cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: Respuestas metabólicas y fisiológicas" Tesis Doctoral. Granada, España.

**31.** Sánchez-Carreño, J. (1991) "El invernadero tipo Almería: Materiales, equipos y herramientas y proceso constructivo del invernadero tipo Almería." incluido en José R. Díaz Álvarez, (Cdor.), Curso Internacional sobre Agrotecnia de cultivo en Invernaderos, Almería: FIAPA., IFA.

**32.** Wendt, J. (2.009). *Vortex Induced Vibration (VIV)*. "Computational Fluid Dynamics An Introduction" (3rd ed.).

<https://doi.org/10.1007/978-3-540-85056-4> (Recurso en línea a través de Granatensis)

## Webgrafía

**1.** Institut Cartogràfic de Catalunya, Cartoteca digital.

<http://cartotecadigital.icc.cat>

(Consultado: Junio 2.020)

**2.** Glosario de Energía Eólica, Asociación danesa de industria eólica.

<http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/glossary.htm>

(Consultado: Junio 2.020)

**3.** Manual de Referencia de Energía Eólica, Asociación danesa de industria eólica.

<http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/stat/units.htm>

(Consultado: Junio 2.020)

**4.** Ortofotos históricas de Andalucía.

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>

(Consultado: Abril 2.020)

**5.** Global Wind Energy Council.

<https://gwec.net/windsights/>

(Consultado: Abril 2.020)

**6.** Wind Turbine Models

<https://en.wind-turbine-models.com>

(Consultado: Abril 2.020)

**7.** ENDESA Fundación.

<https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-generador-electrico>

(Consultado: Mayo 2.020)

**8.** APA. Asociación de Empresas de Energías Renovables.

<https://www.appa.es>

(Consultado: Abril 2.020)

**9.** Climántica. *Science Education Society*.

<http://climantica.org/climanticaFront/es/page/Weblog>

(Consultado: Abril 2.020)

**10.** Introducción a la recolección de energía por vibración.

<https://tecnoticias.net/2019/08/20/introduccion-a-la-recoleccion-de-energia-por-vibracion/>

(Consultado: Junio 2.020)

## Datos Eólicos

**1.** Visor Windfinder

<https://www.windfinder.com/#3/49.5042/9.5421>

**2.** Visor Windy

<https://www.windy.com/36.673/-3.431?36.679,-3.440,14>

(Consultado: Junio 2.020)

**3.** Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>

**4.** CLIMA. Junta de Andalucía

[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/menu\\_inicio.jsp](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/WebClima/menu_inicio.jsp)

**5.** Atlas de Clima Marítimo (1.981-2.010) Agencia Estatael de Meteorología (AEMET).

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, España. 2.015

**6.** CENER (Centro Nacional de Energías Renovables). Visor de datos.

<http://www.globalwindmap.com/VisorCENER/mapviewer.jsf?width=973&height=625>

## Ensayos

**1.** Angelo I. Aquino, John Kaiser Calautit, Ben Richard Hughes, (2.017) "*Integration of aero-elastic belt into the built environment for low-energy wind harnessing: Current status and a case study, Energy Conversion and Management*", Volume 149, 2017, Pages 830-850

**2.** Arroyo, E., Foong, S., & Wood, K. L. (2014). "Modeling and experimental characterization of a fluttering windbelt for energy harvesting". *Journal of Physics: Conference Series*, 557, 012089.

**3.** Windbeam. Zephyr Energy. [http://zephyrenergy.com/?page\\_id=440](http://zephyrenergy.com/?page_id=440)

(Consultado: Mayo 2.020)

**4.** Quy, Vu & van Sy, Nguyen & Hung, Dinh & Huy, Vu. (2016). "*Wind tunnel and initial field tests of a micro generator powered by fluid-induced flutter. Energy for Sustainable Development*".

*No puedes colocar algo nuevo en un lugar.  
Tienes que absorber lo que ves a tu alrededor,  
lo que existe en la tierra,  
y después,  
usar ese conocimiento  
junto con el pensamiento contemporáneo  
para interpretar lo que ves.*

**Tadao Ando**

Julio de 2020

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA  
DE GRANADA



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

