




FACULTAD DE
**ARQUITECTURA
Y URBANISMO**


UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile.
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Departamento de Arquitectura.
Seminario de Licenciatura.



LINEAMIENTOS PARA LA CONFIGURACIÓN DE UN NIVEL EÓLICO EN LOS EDIFICIOS EN ALTURA DE SANTIAGO DE CHILE.

Seminario de Licenciatura. Tecnología e Innovación



Alumno: Benjamín Flores Jeria
Profesora Guía: Jeannette Roldán Rojas

INDICE.

| | |
|--|-----------|
| MOTIVACIONES..... | 6 |
| ANTECEDENTES..... | 7 |
| RESUMEN DE PROBLEMATIZACIÓN | 8 |
| PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 9 |
| PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 9 |
| HIPOTESIS | 10 |
| OBJETIVOS..... | 10 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 10 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 10 |
| METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN | 11 |
| SINTESIS DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN | 12 |
| ESTADO DEL ARTE. | 13 |
| CAPÍTULO 1. FACTORES QUE INTERVIENEN SOBRE LA ACCIÓN DEL VIENTO EN SANTIAGO DE CHILE | 17 |
| 1.1 Factores Macro..... | 17 |
| 1.2 Factores Micro..... | 20 |
| 1.3 Acción del Viento sobre Santiago. | 23 |
| CAPÍTULO 2. ENERGÍA EÓLICA. ANALISIS MICRO DE SU EVOLUCIÓN Y ACCIÓN EN SANTIAGO. | 30 |
| 2.2 Modelo de Eficiencia Energética | 39 |
| CAPÍTULO 3. INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE UN NIVEL EÓLICO EN EDIFICIO EN ALTURA. | 45 |
| 3.1 Ejercicio aplicado de integración Eólica y su Aporte energético sobre contexto el actual de Santiago de Chile..... | 45 |
| 3.1.1 Superficie eólica teórica: Definiciones principales para la elaboración del nivel eólico sobre el área de estudio..... | 48 |
| 3.1.2 Aplicación sobre superficie de utilidad reducida, parámetros de cambio y el aporte a la matriz energética del edificio | 63 |
| 3.1.3 Aplicación de una cantidad reducida fija de aerogeneradores dispuestos en la superficie. | 71 |
| 3.2 Gráfico Resumen de los Resultados para las tres aplicaciones de estudio | 77 |
| 3.3 Análisis de Resultados | 78 |
| 3.3.1 Casos de Estudio | 78 |
| CONCLUSIONES | 81 |
| BIBLIOGRAFÍA | 84 |

| | |
|----------------------|-----------|
| ANEXOS..... | 87 |
| Anexo 01..... | 87 |
| Anexo 02..... | 88 |
| Anexo 03..... | 89 |
| Anexo 04..... | 90 |
| Anexo 05..... | 91 |
| Anexo 06..... | 92 |
| Anexo 07..... | 93 |
| Anexo 08..... | 94 |
| Anexo 09..... | 96 |

MOTIVACIONES.

El viento, desde mis primeros intentos de elevar un volantín, es el fenómeno que de niño alimentó mi curiosidad sobre su origen, intensidad, dirección, aroma y sensaciones. Tanto así, que ha sido capaz de fortalecer mi relación a lo natural, dirigiendo mis estudios e intenciones arquitectónicas a elaborar proyectos que dialoguen de la mejor manera posible con su contexto inmediato.

Este gran interés por comprender el viento en su totalidad me familiarizó con las energías sustentables, sobre todo con las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Las cuales, son capaces generar energía a partir de medios naturales, remplazando las energías tradicionales y fósiles.

De este modo, considerando la energía eólica como foco fundamental de interés, nace la iniciativa de estudiar y comprender como se podrá integrar su modo de generación al diseño y configuración arquitectónica, haciéndolo parte de la obra del habitar.

Y no hay mejor manera de unificar la energía eólica junto con la arquitectura, que, estudiándola desde sus dominios, las alturas.

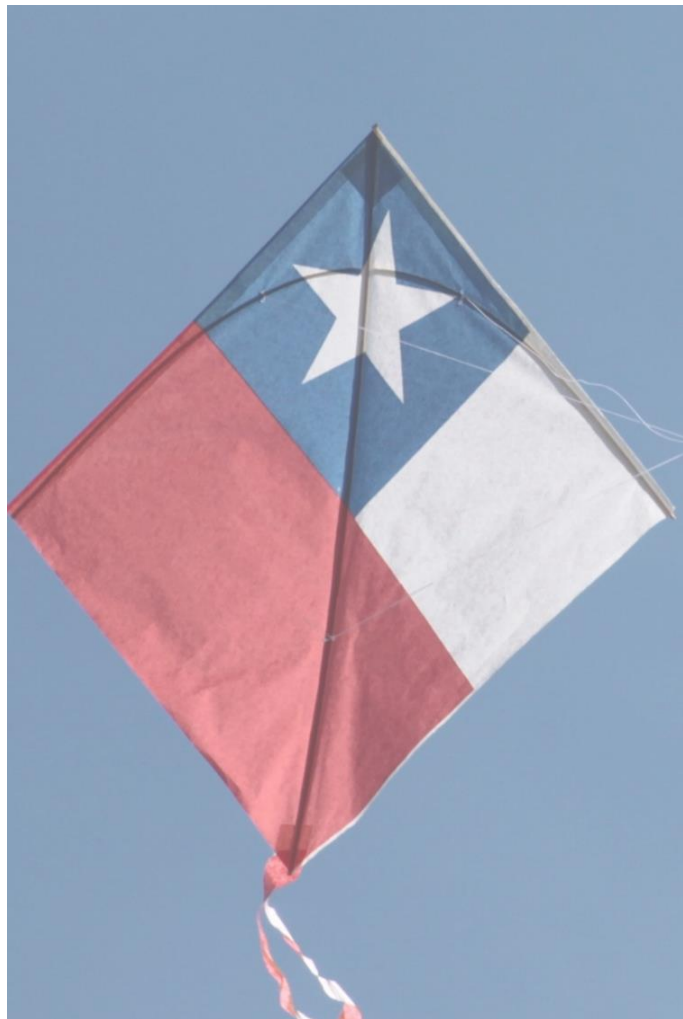


Figura 02. Juegos Típicos Chilenos. Volantín [Juego Típicos Chilenos \(colegiojuanpablo.cl\)](http://colegiojuanpablo.cl)

ANTECEDENTES.

El viento, como reacción natural, es el resultado de la interacción entre las oscilaciones de las temperaturas y los diferentes cambios de presiones existentes en la superficie de nuestro espacio, este, coexiste e interactúa con el habitar de los seres vivos, y siendo su movimiento un condicionante fundamental para el bienestar térmico y el confort ambiental en el espacio (Bustamante C., 2017)

Sus acciones y velocidades se consideran factores inciertos y difíciles de medir en total precisión (Baptista D., 2018), esto porque pueden variar su comportamiento dependiendo de múltiples factores naturales, como la latitud, longitud, la rugosidad topográfica del suelo, la presión atmosférica y el tiempo (Franklyn J., 2014). Aunque, aun enfrentándose a estas dificultades sobre su registro de datos, existe un régimen claro que perdura y no variará en el tiempo: a mayor altura sobre el terreno, mayores velocidades presentaran las ráfagas de viento (Muñoz C., 2019)

Es desde el dominio de las alturas, donde la tecnología y los avances sobre la generación de energías sustentables se sostienen para promover la producción de la Energía Eólica, esta Energía Renovable No Convencional (ERNC) genera energía desde la transformación de la energía cinética producida por las ráfagas de viento a energía eléctrica (Ossandón T., 2008) Reduciendo considerablemente la Huella de Carbono.

Su modelo tradicional es el reconocido sistema de las Granjas Eólicas, monumentales artefactos que de captan las ráfagas de viento producidas a grandes alturas desde las inmensas turbinas que reaccionan a su movimiento. Estas, aunque visualmente representen un modelo de innovación y avance tecnológico para el acercamiento a los modelos sustentables, presentan diversas fallas y complicaciones que arremeten contra el habitar y fauna local del espacio.

Desde los elevados precios que significan su elaboración, considerando su construcción, su transporte, su levantamiento y el precio del uso efectivo del suelo, como factores posteriores a su construcción como es su mantenimiento y el desarrollo de una extensa red de transporte energético que una que una el parque de generación con el entorno urbano. Son factores que interrumpen en el desarrollo de este modelo de generación transformándola en un sistema energético poco eficiente, desaprovechando la gran ventaja que tiene el desarrollo urbano sobre su contacto e interacción con el viento y su dominio en las alturas.

RESUMEN DE PROBLEMATIZACIÓN

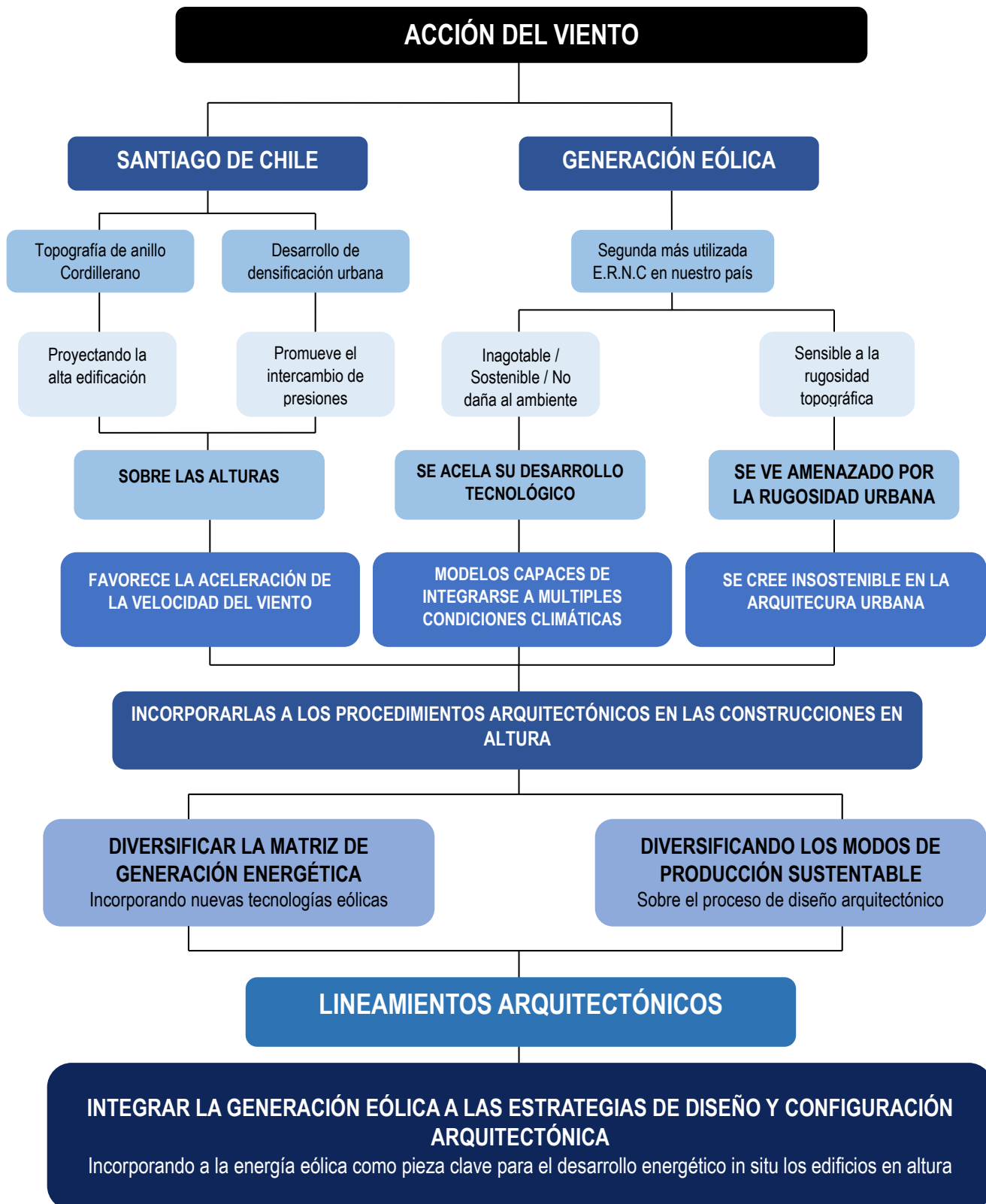




Figura 03: Azotea eólica del Edificio Alexander, Uruguay. Extraído de: [Alexander Building - Wind energy generated by windmills | ... | Flickr](#)

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Existe una urgencia por reducir nuestra huella de carbono, y es fundamental vincularla a la labor que tenemos en la arquitectura.

Y aunque el manejo de las ERNC se ha reproducido en ella gracias a los instrumentos que captan la energía solar, no se ha aprovechado las cualidades y beneficios que aportan otros medios de generación sustentable.

Es aquí donde aparece la energía eólica, medio sustentable que reduce la emisión de gases contaminantes que se extiende mayormente desde las alturas, y el cual, si es debidamente incorporado en los lineamientos arquitectónicos sobre las edificaciones, puede ser una herramienta clave para la integración de nuevos métodos de generación sustentable en la arquitectura.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Siendo esta investigación una oportunidad para suministrar de nuevas aristas relacionadas al desarrollo de una arquitectura sustentable, desde criterios sobre el diseño y la integración de medios eólicos.

Surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los lineamientos para la implementación de tecnologías eólicas en los edificios en altura de Santiago?



Figura 04: Azotea Tecnica Edificio Strala SE1. Extraído de: [The Strata - London SE1 | Buildington](#)

HIPOTESIS

Se sostiene que el avance y el desarrollo de las tecnologías actuales destinadas a la captación del viento en altura es posible incorporarlo en edificios de Santiago generando altos aportes energéticos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Sintetizar los parámetros necesarios para una correcta integración de la energía eólica en los edificios en altura, promoviendo un nuevo modo de generación sustentable aplicada en ella.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Abarcar los principios físicos que caracterizan la acción de viento sobre Santiago.
- Identificar el estado tecnológico actual de los aerogeneradores desde sus aportaciones a la generación de energía sustentable.
- Analizar la participación de los sistemas eólicos en el aporte al Ahorro energético del edificio emplazado en las condiciones eólicas de Santiago.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación busca codificar datos interconectados relacionados a la producción de la energía eólica incorporada en la arquitectura y cuál es su aporte en las edificaciones en altura.

El presente seminario se realizará en base de una **metodología cualitativa y cuantitativa** de carácter **experimental**, con la intención de codificar datos interconectados relacionados a la producción de la energía eólica incorporada en la arquitectura. Todo avance realizado desde un análisis cualitativo que busca profundizar los siguientes aspectos:

Se realizará un análisis climático sobre la zona de estudio, comprendiendo el comportamiento del viento como fenómeno aleatorio y su reacción ante la topografía urbana de Santiago, recaudando los datos sobre intensidades de las ráfagas de viento siendo de utilidad para la elaboración de los lineamientos.

Se realizará un análisis bibliográfico sobre los aspectos relacionados a la energía eólica, desde sus parámetros energéticos hasta su uso aplicado en nuevas tecnologías. También, se analizará como la energía eólica ha sido un factor de desarrollo en nuestro país, recaudando información sobre el estado de generación energética otorgada por plantas eólicas cercanas a la zona de estudio, comparando sus eficiencias y determinando un primer acercamiento a un correcto procedo de integración eólico en los edificios en altura.

Por último, se busca incorporar los datos recibidos en el estudio topográfico de Santiago en un modelo de flujos dinámicos, capaz de comprender de manera adecuada el comportamiento del viento en la metrópolis, estudiando su comportamiento en las alturas, y con los resultados compararlos de manera energética con los resultados de las plantas eólicas e identificar si cumplen un aporte positivo a la reducción de los gases emitidos en la edificación en altura.



Figura 05: Diseño aerodinámico de captación de ráfagas de viento. Torre Pearl River. China , [CTBUH Selects the 4 Best Tall Buildings for 2013 | Gallery | Archinect](#)

SINTESIS DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | FUENTES DE INFORMACIÓN | INFORMACIÓN ESPERADA | TÉCNICA | DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA |
|---|--|---|--|---|
| Abarcar los principios físicos que caracterizan la acción del viento sobre Santiago. | Revisión bibliográfica de datos de primera y segunda corriente de información; otros artículos, tesis de ingeniería eléctrica e ingeniería ambiental. | Identificar las condiciones geográficas que existen en la Santiago y como estas influyen de manera directa en el comportamiento del viento. | Recopilación de información. Análisis del comportamiento del viento desde bases generadas a partir de los centros meteorológicos de la ciudad. | Administrar la muestra de velocidades existe en tres estaciones meteorológicas al interior de Santiago, y comparar la base de datos de los últimos tres años, graficando el comportamiento eólico sobre la ciudad. |
| Identificar el estado tecnológico actual de los aerogeneradores a sus aportaciones a la generación de energía sustentable. | Revisión bibliográfica de datos de primera corriente; artículos de ingeniería eléctrica e ingeniería ambiental y segunda fuente (revistas de arquitectura, artículos de innovación constructiva y tesis universitarias.) | Establecer el estado de los instrumentos eólicos y sus aportes energéticos. Determinar desde una lista comparativa entre dispositivos cual es el más factible para su implementación en los edificios. | Recopilación de información. Ficha general del estado del desarrollo tecnológico de los aerogeneradores. Tablas comparativas de eficiencia de los aerogeneradores. | A partir de una comparativa entre múltiples aerogeneradores desde factores de eficiencia y rendimiento energético, formar las bases de reconocimiento de cual sistema es el más adecuado para su implementación en la ciudad. |
| Analizar la participación de los sistemas eólicos en el aporte al Ahorro Energético del edificio emplazado en las condiciones eólicas de Santiago. | Revisión bibliográfica de segunda fuente; revistas de arquitectura, artículos y tesis universitarias. Informe del estado energético presente en el país. | Identificar si la integración de los modelos de generación eólica en los edificios en altura representa una alta magnitud al ahorro energético del edificio. | Análisis del aporte realizado por los aerogeneradores mediante el desarrollo de cálculos energéticos y sus representación en la matriz energética de los edificios en altura. | Realización de ejercicios de cálculo y tablas comparativas fieles a las condiciones eólicas de la ciudad, registrando su comportamiento y su la factibilidad en la generación energética sustentable sobre territorio urbano. |

ESTADO DEL ARTE.

El viento es sin lugar a duda, uno de los recursos naturales más antiguo aprovechado por el ser humano, su manipulación data de hace miles de años, desde los registros de navegaciones a vela impulsadas por ráfagas, como la automatización de actividades de producción al interior de los molinos de viento en los avanzados asentamientos de la Edad Media. Su acción siempre se ha relacionado con la frescura y el balance térmico frente a las altas temperaturas, pero con el paso de los años, su entendimiento ha sido sinónimo de progreso a beneficio de nuestro desarrollo.

Desde un primer acercamiento, el viento se reconoce como toda masa de aire en movimiento, esta surge desde la desigualdad existente entre calentamiento, temperatura y presión presente en la superficie de estudio. Es necesario señalar que la suma de todos estos factores desarrollan en el viento un comportamiento disperso y aleatorio, por lo que su análisis para incorporarlo a factores de beneficio no lesivo al medio ambiente tiende a ser un desafío constante en la estadística de su comportamiento. (Fernández, 1993)

A finales del s. XIX, el profesor James Blyth de la “*Universidad de Stratchclyde*” desarrolló la teoría de crear energía a partir de medios eólicos los cuales no representen una amenaza para el medio ambiente (Marais, 2021). Y no fue hasta la década de 1970, por la controversia que se discutía sobre la producción de gases contaminantes, que la energía eólica se consideró como pionera en la generación energética con la finalidad de reducir los medios contaminantes tradicionales.

En términos simples, la energía eólica es el proceso de captación del movimiento producido por la intensidad de las ráfagas de viento, transformándola en energía eléctrica. (Moragues y Rapallini, 2004) Aunque en su terminología parece un proceso simple, este comprende una amplia acción de factores que deben ser llevados a cabo de manera precisa, para que su representación como medio de generación sustentable de frutos.

El modelo tradicional de los sistemas de generación eólica (SGE) son los parques eólicos, reconocido mundialmente por el uso de los monumentales artefactos de captación energética, los aerogeneradores (Bastianon, 2018), los cuales comprenden en su interior un sistema estructural general de producción de energía. “*Wind Energy Conversión Systems*” (WECS), el cual subdivide su estructura general desde múltiples funciones principales. (Gomez-Saavedra, 2020)

Para llevar a cabo su mensura, se utiliza principalmente el concepto de **Factor de Planta**, el cual, corresponde a la cantidad de horas diarias en que un determinado sistema de captación eólica genera energía para el sistema, por lo tanto, se mide mediante el tiempo en el que los aerogeneradores producen energía eléctrica

mediante el contacto con las fluctuaciones del viento. Se define que para obtener un costo similar al de una generación en base a energías convencionales, debe existir una velocidad media del viento de 8 m/s y un Factor de Planta superior a un 37% (Moreno, 2006)

En Chile, comenzó a efectuarse los planteamientos teóricos y prácticos del manejo del mecanismo de generación energética libre de emisión de CO₂ mediante la Ley 20.257, Publicada el 01 de abril de 2008, la cual forzaba la acción de promover estos medios energéticos a las empresas eléctricas mediante el Artículo 150° que menciona:

...” que una cantidad de energía equivalente al 10% de sus retiros en cada año calendario haya sido inyectada a cualquiera de dichos sistemas, por medios de generación renovables no convencionales, propios o contratados” (Ley 20.257, 2008, artículo 150°bis.)

Esto con la oportunidad de contribuir a la diversificación de las fuentes de abastecimiento energético y así reducir el impacto ambiental de los sistemas eléctricos, estimando que para el año 2025 un 20% de la energía eléctrica consumida en el país haya sido generada mediante medios ERNC.

El viento como generador de energía representa un recurso autóctono en todo entorno natural como urbano, su presencia prevalecerá desde cualquier eje donde sea medido y sus intensidades variarán a partir de la altura desde la cual se está ejerciendo la muestra de datos. Ya que, mientras a mayor altura sea considerado el estudio de su comportamiento, mayores velocidades presentarán las ráfagas de viento. (Plaza Castillo, 2015)

Mediante un estudio realizado por la Subdirección de Meteorología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Bogotá, se define que la altura estándar recomendable para obtener una velocidad uniforme de 8 m/s del viento debe ser de 80 m por sobre el nivel del terreno. (Franklyn, 2012)

La altura no es el único factor que interviene en el comportamiento de las velocidades del viento, es importante señalar como éstas varían desde factores relacionados al posicionamiento y las condiciones climáticas existentes en la zona de estudio, como es su comportamiento relacionado a la latitud, longitud, presión atmosférica y tiempo. (Franklyn, 2012)

Otro factor que interviene en sus intensidades es la relación que existe con el entorno inmediato del lugar, el cual varía desde parámetros naturales como urbanos. Considerándolo primeramente desde el medio natural: el estado de la topografía, la rugosidad nativa del suelo y la frondosidad vegetal que presente el entorno, alteran y disminuyen la intensidad de las ráfagas de viento. (Cancini y Cei, 2009) Y desde el medio urbano, el viento se ve modificado y obstaculizado por las

barreras arquitectónicas formadas por las fachadas de los edificios en altura, esto, sumado a la proyección de la urbe al dominio de las alturas, no dialogan de manera adecuada con su flujo, formando zonas de alta y bajas presiones las cuales intervienen en el comportamiento del viento. (Bustamante, 2014)

El viento es un factor complejo e incierto (Baptista, 2020), queda demostrado frente a las numerosas variables para tener en cuenta antes de presentar un programa que se relacione con su aprovechamiento energético, este hecho ha sido el factor de mayor incidencia al momento de proponer proyectos relacionados a su utilización como recurso sustentable, el cual no logra garantizar con seguridad los gastos emitidos por trabajar con su flujo. Pese a estas dificultades, existen algunos ejemplares constructivos capaces de demostrar, desde múltiples dificultades relacionadas a su proceso de captación, que el uso de este recurso natural puede arrojar datos concisos y ser un aporte fundamental para la incorporación de la energía eólica en la matriz energética de los edificios en altura.

Tal es el caso del Edificio *Oklahoma Medical Research Foundation*, proyecto pionero en la integración del sistema eólico como estructura integrada al diseño del edificio, este, mediante 18 turbinas eólicas V2 de empresa *Venger Wind* logran captar el movimiento cinético del viento a velocidades que rodean los 3.9 m/s, velocidades que se encuentran por debajo de lo recomendado para la captación energética. A su vez, estos aerogeneradores verticales están instalados a una distancia de 40 m por sobre el nivel del suelo, una baja altura para su instalación considerando que es recomendable superar los 80 m para obtener un flujo constante del viento.

Otro caso es el Edificio Alexander, diseñado por la oficina de Arquitectura Estudio Cinco en Uruguay, fue capaz de integrar en un edificio residencial de 16 pisos una azotea eólica que genera aportaciones a la matriz energética de uso. Mediante las turbinas eólicas de eje vertical *Eddy GT VAWT* de la empresa *Market Leader Investments*, esta instalación es capaz de abastecer a todos los servicios generales, tales como los ascensores, iluminación del hall de acceso, pasillos, escalera de emergencia, etc. Reduciendo los gastos comunes de los residentes del edificio. No solamente con eso, demostró que el tiempo de amortiguación sobre la azotea eólica fue de solo 3 años, luego solo genero utilidades a beneficio de la instalación.

Junto a estos, también está presente el *Bahrain World Center*. Ubicado en el Golfo Pérsico, contempla de tres puentes que sostienen tres turbinas eólicas tradicionales de 30 m de diámetro cada una, las cuales son capaces generar aportaciones en la matriz energética central del edificio, dotando al funcionamiento de los ascensores, la iluminación general y otros.

Los avances de la tecnología y las aspiraciones por construir un entorno habitable y amigable con el medio ambiente han agilizado considerablemente la iniciativa de introducir las nuevas tecnologías de generación energética a la arquitectura, entre

ellas, ya es bien conocida la disposición de métodos solares para generar energía limpia, aun así, no podemos desperdiciar el enorme potencial que representa la energía eólica en los medios donde esta predomina, las alturas. Es por lo que profundizar en crear los lineamientos constructivos para la implementación de un nivel eólico integrado a la arquitectura en altura es fundamental para promover el manejo híbrido entre estas dos bases sustentables, y acercar nuestra arquitectura al cero consumo energético del edificio.

CAPÍTULO 1. FACTORES QUE INTERVIENEN SOBRE LA ACCIÓN DEL VIENTO EN SANTIAGO DE CHILE

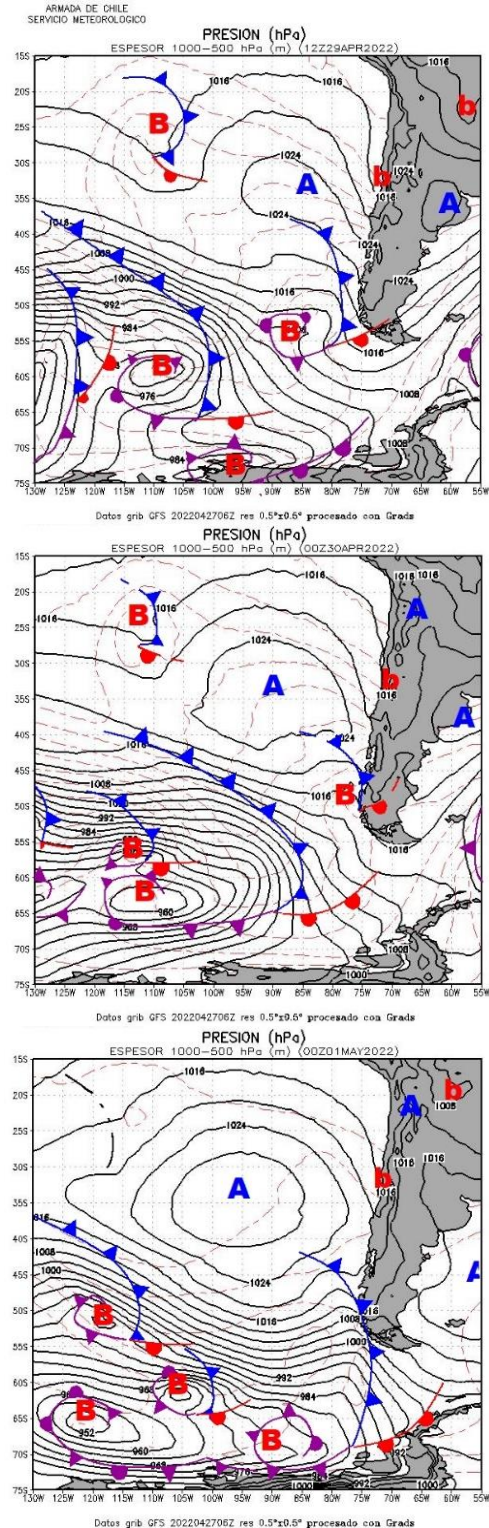
1.1 Factores Macro.

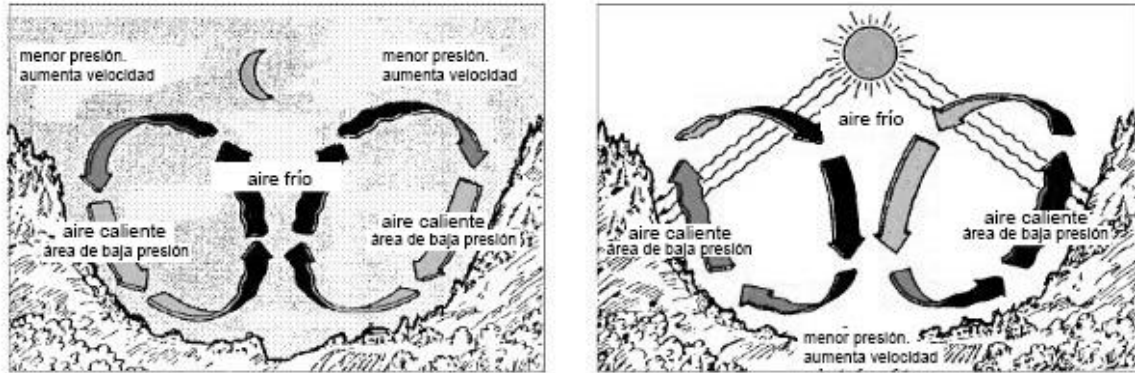
El régimen de viento está definido principalmente por la distribución y comportamiento espacial del **campo de presión atmosférico**, desde escalas continentales, regionales y locales (Henestroza, 2009). Desde estos factores, a mayor sea la diferencia de presiones, mayor se verá afectada las velocidades del viento.

Estas condiciones de circulación atmosférica se observan en Chile desde su alineación geográficas de latitud $40^{\circ} 00' S$ y longitud $71^{\circ} 00' O$, perteneciendo al régimen climático presente al interior de la Celda Ferrel, celda de circulación de las masas de aire que **condiciona el movimiento hacia el Este**, esto a niveles meteorológicos es la respuesta al Anticiclón subtropical del Pacífico Sur y el fenómeno de la Niña. En términos del comportamiento del viento a escala mayor, desarrolla la tendencia a dirigir la dirección del movimiento del viento desde el Suroriente.

A su vez, las condiciones climáticas relacionadas con los gradientes de temperatura también significan una alta influencia sobre el comportamiento del viento, las masas de aire cálidas se proyectan hacia arriba del plano y las masas de aire frío descenden aproximándose a la superficie, formándose caudales de aceleración desde el flujo de retorno.

Figura 06: Comportamiento de la presión atmosférica superficial entre las fechas del 29 de abril al 30 de mayo del 2022. Extraído desde: Servicio Meteorológico de la Armada de Chile. [Servicio Meteorológico de la Armada de Chile \(directemar.cl\)](http://Servicio Meteorológico de la Armada de Chile (directemar.cl))





Vientos de valles y montañas

Figura 07: Comportamiento del viento desde aspectos de la temperatura de las masas de aire. Extraído desde: Biblioteca sobre ingeniería energética. Energía eólica. [Libro \(pfemandezdiez.es\)](http://pfemandezdiez.es)

Aún frente a estas variables, es la topografía local en relación con el viento, el factor de mayor incidencia que altera su comportamiento (Fernández, 1993) siendo el **estado que presenta el terreno natural** el índice principal que condiciona la velocidad del viento.

El relieve topografía local de Santiago se caracteriza desde la concavidad que genera una cadena de nudos montañosos que rodean al Valle Central, situado entre los 500 y 600 m.s.n.m., la cadena montañosa se compone desde el Poniente con las formaciones de la cordillera de la costa, alcanzando alturas superiores a 1.500 m.s.n.m. y desde el Oriente con la Cordillera de los Andes con alturas superiores a los 4.000 m.s.n.m.

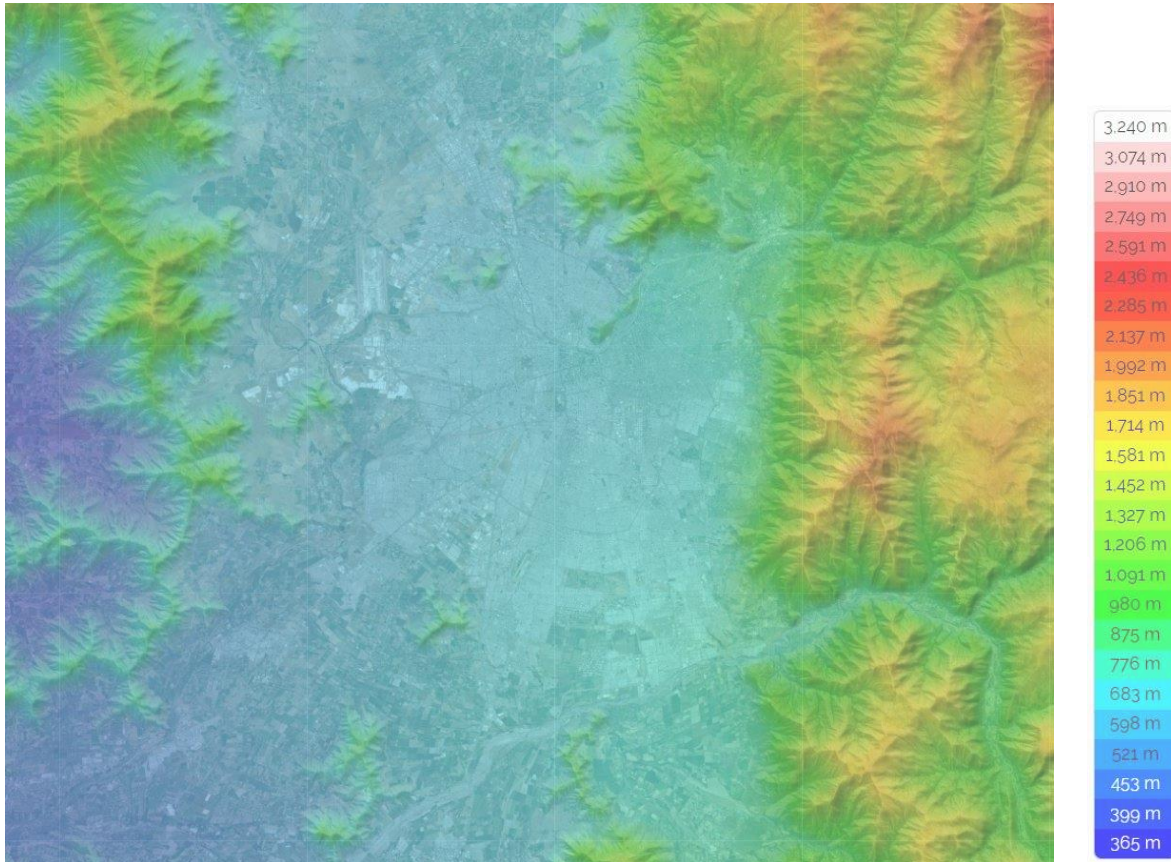


Figura 08: Mapa de análisis de la altitud del relieve topográfico de la Ciudad de Santiago. Extraído desde: Topographic Maps. [Mapa topográfico Chile, altitud, relieve \(topographic-map.com\)](http://Mapa topográfico Chile, altitud, relieve (topographic-map.com))

La topografía de carácter cóncavo de la localidad crea un efecto catabático en las velocidades del viento, esto es el descenso del aire fresco desde las regiones elevadas descendiendo hacia el Valle, estas favorecen la generación de brisas de altas velocidades. Igualmente, las brisas valle-montaña producidas se ven afectadas por el contraste de las temperaturas superficiales entre la montaña y la planicie del entorno local (Castro, 2018), ascendiendo las masas de aire durante el día y descendiendo a altas velocidades durante la noche.

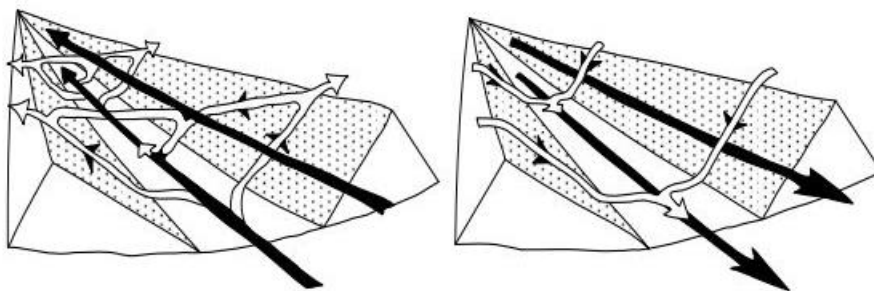


Figura 09: Circulación eólica en representación de la montaña y el valle, circulación blanca: viento de ladera; circulación negra: vientos de valle. Izq.: durante el día; Der: durante la noche. Extraído desde:

1.2 Factores Micro.

Aún frente a los factores topográficos que definen el patrón general de la acción del viento sobre la superficie, no son lo suficiente para responder a la interferencia local a la cual se somete el viento, es en este sentido que su comportamiento sufre alteraciones desde la proporcionalidad y el lenguaje de la ciudad sobre el terreno.

Desde los factores de la alta demanda habitacional al interior de la ciudad de Santiago y la tendencia de elevar la ciudad verticalmente buscando la rentabilidad por sobre el conjunto armónico espacial (Vergara y Asenjo, 2019) son interferencias que rompen el esquema de una escala acorde a la interacción con la superficie topográfica local, alterando el flujo natural de las corrientes de aire sobre el entorno inmediato.

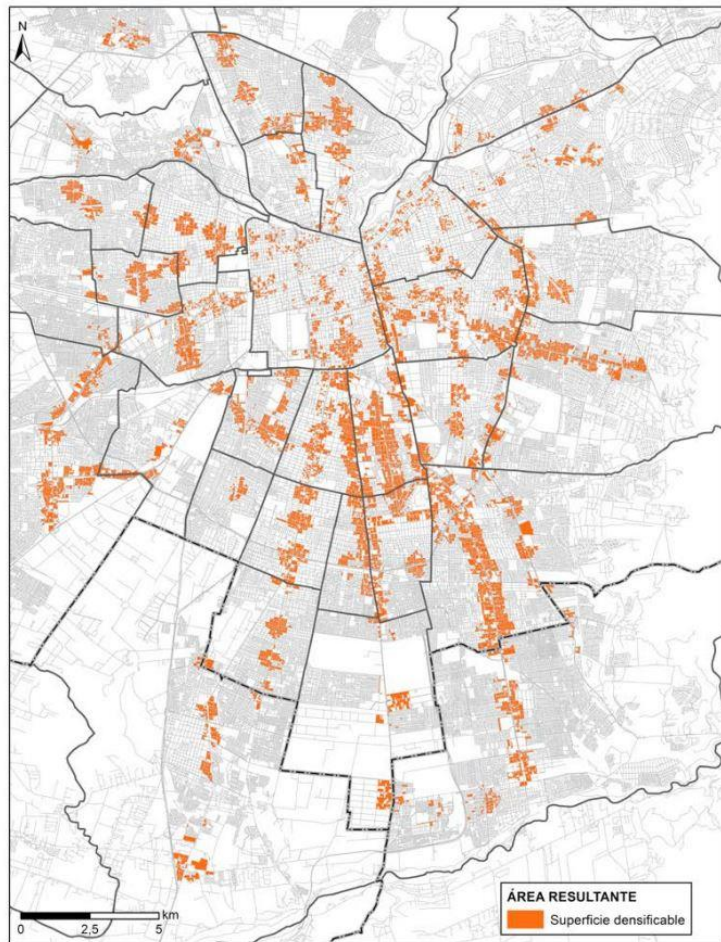


Figura 10: Mapa superficial estimable a nueva configuración de tipologías de alta densidad sobre la ciudad de Santiago. Disponible en: Consideraciones para el desarrollo del potencial de densificación en la ciudad de Santiago. CChC

Esto eleva el índice superficial de rugosidad natural del territorio mediante la fricción entre la superficie de las construcciones en altura de la ciudad y la acción del viento. Este aumento de la rugosidad superficial interfiere en el flujo natural de la corriente de viento, alterado sus velocidades, direcciones e intensidades.

Frente a esta problemática existen diversas normativas extranjeras las cuales calculan las solicitudes del viento frente a alteración de la capa superficial del territorio. Sobrellevando esta problemática desde la Ley Logarítmica, ley que describe el comportamiento eólico desde las alteraciones en su altura y la longitud de rugosidad del terreno (z_0) al cual se ve interferido en su comportamiento. A mayor rugosidad, mayor será la condicionante. (Ossandón R., 2008)

Estas conclusiones extranjeras son ingresadas a la Normativa Chilena, la cual concluye como el gradiente de rugosidad condiciona en el comportamiento de las presiones del viento sobre la superficie, interfiriendo en el valor de la velocidad del viento conforme se eleva la altura, definiendo el comportamiento de las presiones desde la teoría de Hellmman y su gráfica de interferencia.

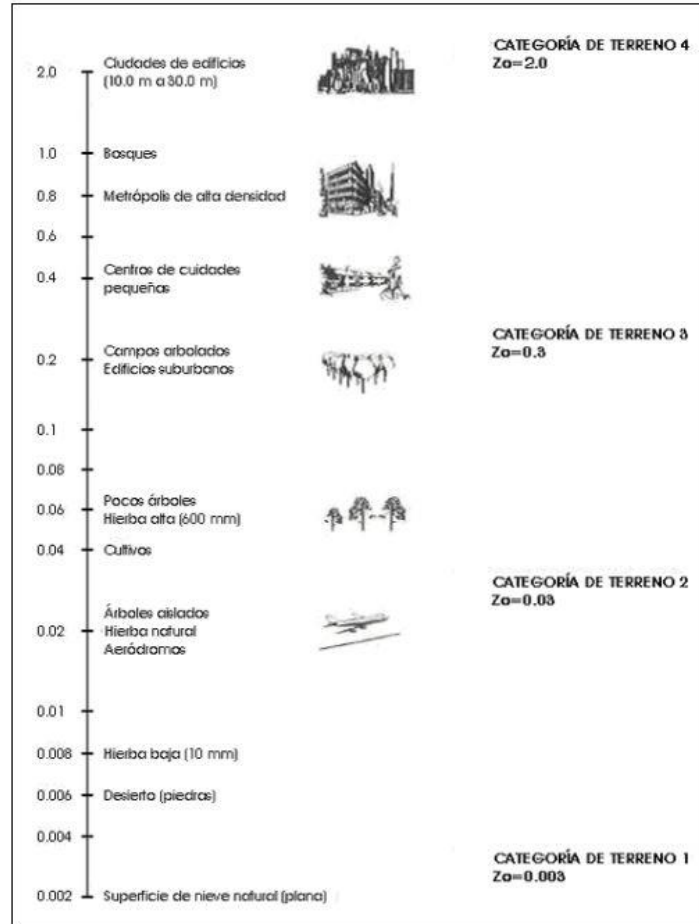


Figura 11: Valores de z_0 otorgados desde las diferentes condiciones de rugosidad del terreno, Extraída desde la norma ISO 4354:07: Wind actions on structures

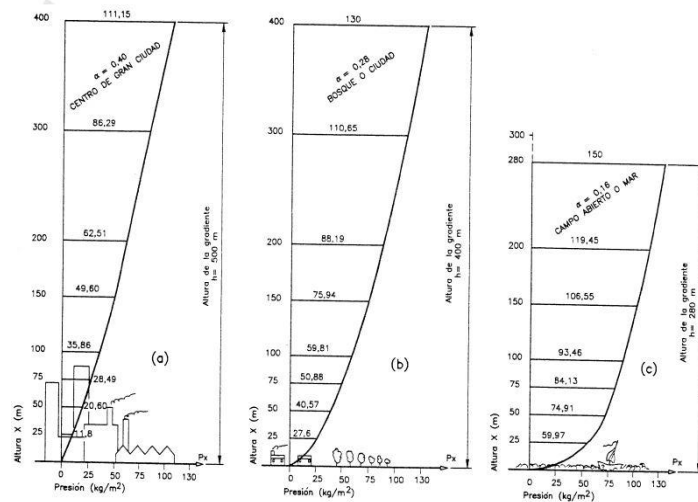


Figura 12: Comportamiento presión eólica y alturas desde diferentes condiciones de rugosidad de la superficie. Extraída desde NCh 432. MINVU

La constante z_0 relacionada a la longitud de la rugosidad de la superficie es uno de los factores de relevancia que se aproximan a la cuantificación del comportamiento eólico sobre el perfil vertical del viento.

La Ley logarítmica mencionada anteriormente considera la aleatoriedad en el comportamiento del viento y su propiedad del flujo laminar sobre el espacio, por lo cual se relaciona directamente con la mecánica de fluidos, que mediante la aplicación logarítmica en sus desarrollo, permite formular la ecuación fundamental para el desarrollo y estimación del comportamiento del viento desde parámetros locales conocidos. (Guevara, 2013, p.88)

Fórmula logarítmica del perfil del viento:

$$\frac{v_2(z_2)}{v_1(z_1)} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$
$$v_2(z_2) = v_1(z_1) \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$

Ln: Logaritmo neperiano

Z1: Altura X conocida.

V1: Velocidad sobre la altura X conocida

Z2: Altura a la cual quiero saber la velocidad

V2: Velocidad que quiero saber sobre altura z_2

Z0: Valor de la longitudinalidad de rugosidad del terreno. Valor sobre las grandes ciudades: 2

1.3 Acción del Viento sobre Santiago.

La extensión territorial de Chile condiciona la dispersión del comportamiento del viento en su superficie, por lo que la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) cumple la labor de disponer de registros climáticos que favorecen el entendimiento local de las masas de viento.

La Región Metropolitana presenta 33 estaciones de carácter informativas ubicadas entre Latitud -33°; Longitud -71°, capaces de estudiar las condiciones climáticas locales existentes.

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) / Dirección Meteorológica de Chile (DMC). componen su estructura desde un mecanismo automático que entrega los resultados de las variables climáticas locales de manera pública, esta se compone de 15 estaciones fijas localizadas al interior de la RM:

| Nombre | Altitud | Código Nacional | Zona Geográfica | Paisaje |
|-------------------------------|---------|-----------------|-----------------|---|
| Peldehue Ad. | 683 m | 330163 | Valle | Zona con muy poca vegetación. |
| Colina (Reg.) | 755 m | 330162 | Valle | Sector rural, 2,5 km al SO zona urbana, 2 km al este, cerro de aprox. 500m. |
| Lo Pinto | 512 m | 330118 | Valle | Sector rodeado de predios agrícolas, ubicado en recinto de bomberos. |
| Pudahuel Santiago | 482 m | 330021 | Valle | Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez – Sector Rural. |
| Lo Prado | 1012 m | 003111 | Valle | Sector rodeado de cerros de más de 1.000 m de altura, sector rural. |
| Curacaví Ad. | 208 m | 3330121 | Valle | Valle rodeado de cerros de aprox, 500 m, sector árido. |
| Chorombo Hacienda | 145 m | 330076 | Valle | Sector agrícola. |
| San Pablo – DASA | 490 m | 330114 | Valle | Sector urbano. |
| Quinta Normal | 520 m | 330020 | Valle | Localizada en la ciudad de Santiago, al frente del parque Quinta Normal, sector urbano. |
| El Colorado | 2750 m | 330077 | Cordillera | Sector cordillerano. |
| Eulogio Sánchez, Tobalaba Ad. | 650 m | 330019 | Precordillera | Ubicada entre cerros, Cerro San Ramón a 2.6 km al Este, sector urbano. |
| San José Guayacán | 928 m | 330112 | Precordillera | Sector precordillerano. |
| Talagante | 390 m | 330071 | Valle | Valle con cerro al Norte a aprox. 200 m. |
| El Paico | 275 m | 330113 | Valle | Sector agrícola, autopista El Sol 30 m al sur, río Mapocho 500m al oeste. |
| El Milagro, Buin | 460 m | 330160 | Valle | Sector rodeado de predios agrícolas |

Tabla 01: Datos de Posicionamiento de la Red de 15 Estaciones Automáticas DGAC-DMC al interior de la R.M. (Elaboración Propia, Información extraída desde la Dirección Meteorológica de Chile)

Estas estaciones climatológicas captan los de datos meteorológicos desde una altura de 10 metros sobre la superficial del terreno local, éstas al estar en una constante recopilación de muestras de datos contemplan menores errores y atrasos en su captación, adoptando de una mayor fiabilidad en comparación con otros medios de estudio climáticos. Es debido considerar el comportamiento del viento local del entorno urbano de la Región Metropolitana, esto nos deja tres estaciones capaces de responder ante esta necesidad:

- Estación Eulogio Sánchez Tobalaba Ad.
- Estación Quinta Normal.
- Estación San Pablo – DASA.

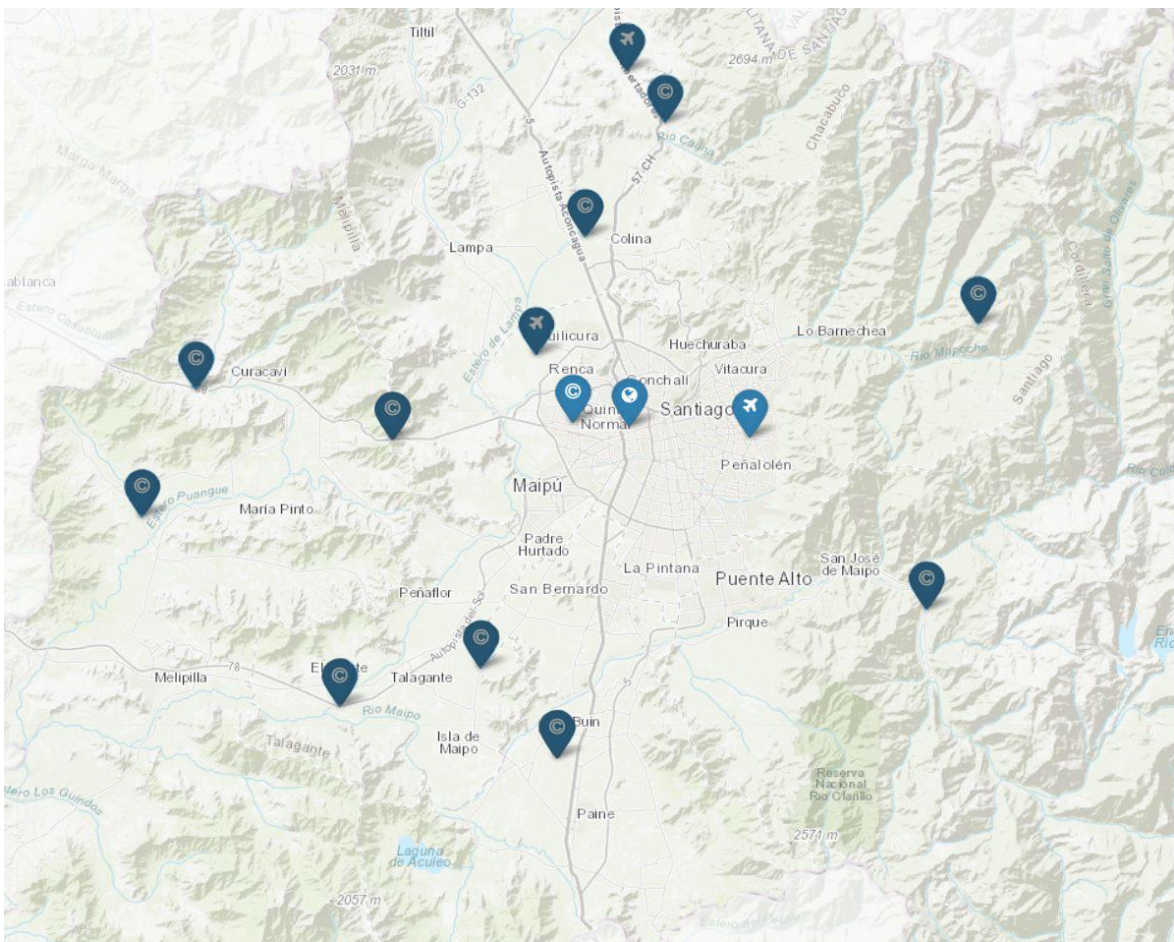


Figura 13: Mapa de posicionamiento de las 15 estaciones climáticas automáticas DGAC / DMC en la Región Metropolitana. Información extraída desde la Dirección Meteorológica de Chile. Imagen Editada.

Estas estaciones conforman una franja de análisis sobre el comportamiento del viento que cruza la horizontalidad de la ciudad, esto facilita un abanico de variables en los resultados con relación al comportamiento del viento como manto de la urbe. Junto a esto, dos de estas estaciones se ubican en el Valle Central de Santiago, estudiando la acción inmediata del área con más flujo y alta presencia de densidades verticales, mientras que la tercera se encuentra en la Precordillera de la Ciudad, esto facilitará la comparación de resultados desde variadas topografías naturales existentes en el territorio.

Es necesario comprender el comportamiento del viento desde la temporalidad existente sobre la urbe, relacionado su flujo con el [Factor Planta](#) y estudiar como su comportamiento anual varia conforme las temperaturas, presiones y estaciones, esta problemática se desarrolla desde los resultados facilitados por la [Rosa de los Vientos](#) resultante de los análisis desprendidos por las tres estaciones eólicas, y comprendiéndolas en su totalidad realizando una comparativa temporal, se analiza el resultado en los últimos tres años completos de la recopilación de información. El 2019, 2020, 2021.

Desde esta muestra de datos podemos desprender los siguientes gráficos

Estación Eulogio Sánchez.

Comuna de La Reina. Precordillera de Santiago.

(Ver Anexo 01)

Con los datos adquiridos se observa como el comportamiento eólico local de la precordillera oriente de Santiago, específicamente en la estación Eulogio Sánchez tiene la tendencia de enfrentarse al barlovento desde la dirección Oeste-Suroeste Local.

Se observa desde los resultados de los datos como la factibilidad eólica del entorno supera los 2.58 m/s en un plazo comúnmente aproximado a un 60%, esto dispone a la zona de la Precordillera con una recurrente participación eólica sobre la superficie del entorno inmediato local.

Esto puede responderse desde el efecto catabático que ocurre desde el descenso / ascensión de las ráfagas de viento por la franja montañosa que representa la Cordillera.

Desde la totalidad de los casos, presentar durante tres años una media que oscila al 60% de datos favorables a la intervención eólica sobre el entorno abre la posibilidad de ser implementada de forma adecuada en los estudios de disposición eólica.

| Año 2019 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|--------------|
| Oeste-suroeste (OSO) | 1.065 casos | 45.3 % |
| Suroeste (SO) | 708 casos | 30.1 % |
| Sursuroeste (SSO) | 580 casos | 24.6 % |
| Mayores intensidades | 34 casos | 1.4 % |
| Medias intensidades | 1.302 casos | 55.4 % |
| Bajas intensidades | 1.017 casos | 43.2 % |
| TOTAL | 2.353 casos | 100 % |

| Año 2020 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|--------------|
| Oeste-suroeste (OSO) | 991 casos | 45.2 % |
| Suroeste (SO) | 658 casos | 29.9 % |
| Sursuroeste (SSO) | 548 casos | 24.6 % |
| Mayores intensidades | 37 casos | 1.7 % |
| Medias intensidades | 1.336 casos | 60.8 % |
| Bajas intensidades | 824 casos | 37.5 % |
| TOTAL | 2.197 casos | 100 % |

| Año 2021 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|-------------|
| Oeste-suroeste (OSO) | 962 casos | 44.9 % |
| Suroeste (SO) | 721 casos | 33.7 % |
| Sursuroeste (SSO) | 458 casos | 21.4 % |
| Mayores intensidades | 29 casos | 1.4 % |
| Medias intensidades | 1.270 casos | 59.3 % |
| Bajas intensidades | 842 casos | 39.3 % |
| TOTAL | 2.141 casos | 100% |

| Promedio Tres Años | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|-------------|
| Oeste-suroeste (OSO) | 3.018 casos | 45.1 % |
| Suroeste (SO) | 2.087 casos | 31.2 % |
| Sursuroeste (SSO) | 1.586 casos | 23.7 % |
| Mayores intensidades | 100 casos | 1.5 % |
| Medias intensidades | 3.908 casos | 58.4 % |
| Bajas intensidades | 2.683 casos | 40.1 % |
| TOTAL | 6.691 casos | 100% |

Tablas 02: Gráficos de promedios del comportamiento del viento en estación Eulogio Sanchez. Elaboración propia.

Estación Quinta Normal

Comuna de Quinta Normal. Valle Central de Santiago.

(Ver Anexo 02)

El comportamiento eólico responde sobre la estación enfrentándose al barlovento de la masa de viento desde porcentajes similares con la dirección Sursuroeste y Sur local.

Se hace evidencia de como desde las principales fuerzas que responden al comportamiento eólico, estos tienden a presentarse en el margen de las velocidades mínimas, cofigurando su desarrollo general sobre velocidades que no superan los 5,15 m/s.

La estación Quinta Normal presenta como complejo de captación de información una reducida intensidad eólica propiciada por las masas de viento, esto la transforma en una zona donde la integración eólica tiene una baja/nula participación en el entorno urbano inmediato, esto puede deducirse desde la gran densificación / urbanización que presenta la localidad de la comuna, ya que si se maneja de manera incorrecta, el dinamismo eólico se ve interrumpido con los volúmenes en altura, quebrando su flujo original y dispersando sus velocidades.

Que las velocidades entre 0.00 a 2.58 m/s representen en el transcurso de tres años más de un 70% de los datos totales configuran a la localidad de Quinta Normal como de baja fiabilidad a la implementación eólica.

| Año 2019 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|--------------|
| Suroeste (SO) | 599 casos | 18.4 % |
| Sursuroeste (SSO) | 1.378 casos | 42.3 % |
| Sur (S) | 1.280 casos | 39.3 % |
| Mayores intensidades | 0 casos | 0 % |
| Medias intensidades | 959 casos | 29.4 % |
| Bajas intensidades | 2.298 casos | 70.6 % |
| TOTAL | 3.257 casos | 100 % |

| Año 2020 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|--------------|
| Suroeste (SO) | 739 casos | 23.5 % |
| Sursuroeste (SSO) | 1.142 casos | 36.3 % |
| Sur (S) | 1.265 casos | 40.2 % |
| Mayores intensidades | 30 casos | 1.0 % |
| Medias intensidades | 716 casos | 22.8 % |
| Bajas intensidades | 2.400 casos | 76.2 % |
| TOTAL | 3.146 casos | 100 % |

| Año 2021 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|-------------|
| Suroeste (SO) | 798 casos | 23.4 % |
| Sursuroeste (SSO) | 1.235 casos | 36.2 % |
| Sur (S) | 1.377 casos | 40.4 % |
| Mayores intensidades | 61 casos | 1.8 % |
| Medias intensidades | 631 casos | 18.5 % |
| Bajas intensidades | 2.728 casos | 79.7 % |
| TOTAL | 3.410 casos | 100% |

| Promedio Tres Años | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|-------------|
| Suroeste (SO) | 2.136 casos | 21.8 % |
| Sursuroeste (SSO) | 3.755 casos | 38.3 % |
| Sur (S) | 3.922 casos | 39.3 % |
| Mayores intensidades | 91 casos | 0.9 % |
| Medias intensidades | 2.306 casos | 23.5 % |
| Bajas intensidades | 7.416 casos | 75.6 % |
| TOTAL | 9.813 casos | 100% |

Tabla 03: Gráficos de promedios del comportamiento del viento en estación Quinta Normal. Elaboración propia.

Estación San Pablo.

Comuna de Lo Prado. Valle Central de Santiago.

(Ver Anexo 03)

Inicialmente, esta estación se condiciona como la más certera en la labor de captación y análisis de datos, ya que manipula la mayor cantidad de variables de casos de estudio que las anteriores estaciones, superando los 15.000 datos recolectados en los tres últimos años.

Inicialmente, las masas de aire que se enfrentan a la estación a barlovento se originan principalmente desde la dirección Sursuroeste local.

Presentando la misma condición de posicionamiento sobre el Valle Central de la ciudad, la estación San Pablo contempla una considerable diferencia en los resultados de datos administrados por la estación climática, desde un primer acercamiento, **tiene una mayor tendencia a presentar vientos de alta intensidad**, dotando de una variabilidad climática más diversa en comparación con las anteriores estaciones.

Junto a esto, la estación presenta similares números de resultados de casos entre sus bajas y medias intensidades, esto estima de un promedio estable de conducta eólica a lo largo de los años.

Por último, la **suma de las medias y altas intensidades se relacionan a un promedio superior al 50% en el transcurso de tres años** de recopilación de datos, esto forma parte de un aspecto positivo al territorio local ya que facilita la oportunidad de obtener buenos resultados con la manipulación del estado eólico de su entorno inmediato.

| Año 2019 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|--------------|
| Suroeste (SO) | 1.488 casos | 28.8 % |
| Sursuroeste (SSO) | 2.497 casos | 48.3 % |
| Sur (S) | 1.186 casos | 22.9 % |
| Mayores intensidades | 442 casos | 8.6 % |
| Medias intensidades | 2.210 casos | 42.7 % |
| Bajas intensidades | 2.298 casos | 48.7 % |
| TOTAL | 5.171 casos | 100 % |

| Año 2020 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|--------------|
| Suroeste (SO) | 1.543 casos | 30.4 % |
| Sursuroeste (SSO) | 2.380 casos | 46.9 % |
| Sur (S) | 1.149 casos | 22.7 % |
| Mayores intensidades | 460 casos | 9.0 % |
| Medias intensidades | 2.205 casos | 43.5 % |
| Bajas intensidades | 2.519 casos | 47.5 % |
| TOTAL | 5.072 casos | 100 % |

| Año 2021 | Casos | Promedio |
|----------------------|--------------------|-------------|
| Suroeste (SO) | 1.368 casos | 25.2 % |
| Sursuroeste (SSO) | 2.636 casos | 48.5 % |
| Sur (S) | 1.427 casos | 26.3 % |
| Mayores intensidades | 458 casos | 8.4 % |
| Medias intensidades | 2.300 casos | 42.4 % |
| Bajas intensidades | 2.673 casos | 49.2 % |
| TOTAL | 5.431 casos | 100% |

| Promedio Tres Años | Casos | Promedio |
|----------------------|---------------------|-------------|
| Suroeste (SO) | 4.399 casos | 28.1 % |
| Sursuroeste (SSO) | 7.513 casos | 47.9 % |
| Sur (S) | 3.762 casos | 24.0 % |
| Mayores intensidades | 1.360 casos | 8.7 % |
| Medias intensidades | 6.715 casos | 42.8 % |
| Bajas intensidades | 7.599 casos | 48.5 % |
| TOTAL | 15.674 casos | 100% |

Tabla 04: Gráfico de promedios del comportamiento del viento en estación Quinta Normal. Elaboración propia.

Desde los resultados finales se puede inferir como en la extensión del Valle Central de Santiago existe un condicionante que reduce parcialmente la participación de las masas de viento sobre la superficie inmediata. Siendo esta un factor directo sobre el comportamiento de su velocidad como manto de la superficie.

| Promedio Tres Años Eulogio Sánchez | Casos | Promedio |
|------------------------------------|--------------------|-------------|
| Oeste-suroeste (OSO) | 3.018 casos | 45.1 % |
| Suroeste (SO) | 2.087 casos | 31.2 % |
| Sursuroeste (SSO) | 1.586 casos | 23.7 % |
| Mayores intensidades | 100 casos | 1.5 % |
| Medias intensidades | 3.908 casos | 58.4 % |
| Bajas intensidades | 2.683 casos | 40.1 % |
| TOTAL | 6.691 casos | 100% |

Aún frente a este factor de reducción de las condiciones eólicas locales, la compleja dimensionalidad del Valle fragmenta su comportamiento general en el territorio, dando respuesta a diferentes oportunidades dadas desde maleabilidad superficial de las estructuras en altura. Esto responde por qué desde mismas condiciones topográficas, dos comunas distintas responden de maneras diferentes a su interacción con la masa de viento.

| Promedio Tres Años Quinta Normal | Casos | Promedio |
|----------------------------------|--------------------|-------------|
| Suroeste (SO) | 2.136 casos | 21.8 % |
| Sursuroeste (SSO) | 3.755 casos | 38.3 % |
| Sur (S) | 3.922 casos | 39.3 % |
| Mayores intensidades | 91 casos | 0.9 % |
| Medias intensidades | 2.306 casos | 23.5 % |
| Bajas intensidades | 7.416 casos | 75.6 % |
| TOTAL | 9.813 casos | 100% |

A diferencia de las condiciones dadas desde la Precordillera, esta presenta condiciones eólicas consistentes y estables con el pasar de los años, portando un carácter positivo a su la implementación del trabajo eólico sobre su superficie.

| Promedio Tres Años San Pablo | Casos | Promedio |
|------------------------------|---------------------|-------------|
| Suroeste (SO) | 4.399 casos | 28.1 % |
| Sursuroeste (SSO) | 7.513 casos | 47.9 % |
| Sur (S) | 3.762 casos | 24.0 % |
| Mayores intensidades | 1.360 casos | 8.7 % |
| Medias intensidades | 6.715 casos | 42.8 % |
| Bajas intensidades | 7.599 casos | 48.5 % |
| TOTAL | 15.674 casos | 100% |

Tabla 05: Gráfico de promedios finales del comportamiento del viento sobre cada una de las Estaciones de Estudio. Elaboración propia.

CAPÍTULO 2. ENERGÍA EÓLICA. ANALISIS MICRO DE SU EVOLUCIÓN Y ACCIÓN EN SANTIAGO.

2.1 Principios Básicos de la Energía Eólica.

El concepto general en el que se desarrolla la captación de la energía eólica es el de Parque Eólico, este es la instalación que se compone de un conjunto de aerogeneradores conectados a una red de suministro. Cumple la función de generar energía mediante la sumatoria de potencias obtenidas por la sucesión de dispositivos individuales quienes transforman la energía.

Para llevar a cabo la captación eólica, fue necesario definir el comportamiento que presentan las partículas de viento en la atmosfera, es por lo que principalmente el viento se comporta desde dos modos fundamentales.

- Desde partículas con un comportamiento de filetes yuxtapuestos individualizados, denominado **viento laminar**
- Desde partículas con un alto nivel de perturbaciones en su movimiento y forman un flujo irregular, dispersando velocidades y direcciones, se denomina **viento turbulento**.

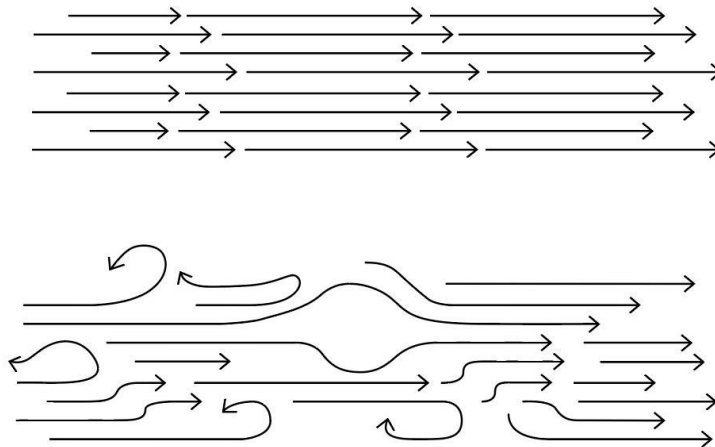


Figura 17: Comportamiento eólico en flujo laminar y en flujo turbulento. Elaboración propia

Todo elemento que se encuentre frente al movimiento regular del viento o que se disponga de forma irregular a la fuerza de éste altera su flujo y deforma la masa original del viento, considerándose un viento turbulento.

Por lo tanto, **toda corriente de viento que sea estudiada sobre la superficie urbana de un entorno tenderá a presentarse como un viento turbulento**, con comportamientos aleatorios y variables.

Aún frente a este problema, **a mayor altura existe un fortalecimiento en la capa del flujo laminar del viento**, aún frente a las velocidades bajas, haciendo más eficiente el trabajo del aerogenerador aumentando la altura de integración del dispositivo.

Aún frente a esta problemática, el diseño de los aerogeneradores esta fortalecido principalmente desde el aprovechamiento de la energía eólica en el emplazamiento y su adecuada integración.

Existe una gran comprensión de herramientas eólicas que han sido llevadas a cabo con la intencionalidad de **formar mayores parámetros** para el aprovechamiento del comportamiento eólico. La clasificación macro que distribuye las opciones del manejo eólico está distribuido desde el posicionamiento al rotor eólico frente a la ráfaga laminar o turbulenta local. Estos ejes están relacionados de forma horizontal y vertical a la disposición eólica.

Horizontal:

Es la comúnmente utilizadas sobre los parques eólicos, son reconocidas principalmente desde su monumentalidad y las estrictas condiciones uniformes en la captación de la velocidad del viento. Desde la uniformidad, necesitan mantener en un constante movimiento las palas del aerogenerador, a este modelo de diseño tradicional se le reconoce desde sus velocidades de las palas en paso fijo.

Al interior de la góndola se encuentra el elemento principal que crea energía a base de la masa eólica, este es el rotor, el cual funciona mediante cargas mecánicas, están dadas por el entorno de emplazamiento, y condiciona el posicionamiento de las palas en la acción de la carga eólica, ubicándose perpendicular al eje de giro de las palas.

Estas solo pueden presentar dos posicionamientos relacionada a la dirección con la que se encuentra con el viento, desde el Barlovento, enfrentándose sus hélices con las ráfagas eólicas y, por el contrario, desde el Sotavento, enfrentándose la góndola al viento, principalmente su sistema de transformación energética.

Mientras más palas presente el aerogenerador, más lenta serán sus revoluciones por minuto y más dependerá del momento de arranque/arrastre para la sustentación energética, estas decisiones se toman dependiendo de las velocidades locales. Esto esta principalmente a que, a mayor arranque:

- Mayor deberá ser la velocidad del entorno
- Mayor rendimiento

Vertical:

Es el **sistema de mayor rentabilidad** en las instalaciones eólicas, ya que, desde la complejidad de su forma dota a esta clasificación con un **comportamiento multidireccional**, siendo el sentido del viento un factor despreciable para su posicionamiento, a este sistema de diseño se le reconoce desde una velocidad de paso variable en las palas, obteniendo resultados de mayor rentabilidad en su instalación.

El paso variable logra limitar el exceso de carga de la turbina, disminuyendo los esfuerzos mecánicos producidos por las altas velocidades del viento y así logra proteger de forma pasiva el aerogenerador por su facilidad de moldaje a las condiciones del entorno.

Esta clasificación **optimiza el rango de aprovechamiento de las velocidades** del viento, facilitando el trabajo mecánico del aerogenerador con posibles mayores resultados, estas fortalezas de posicionamiento permiten variaciones en su diseño, remplazando el monumental modelo horizontal a **modelos más ligeros y de menor tamaño, reduciendo la cimentación y envergadura en el área de impacto.**

El rotor, dispositivo de generación eólica, efectúa su función desde cargas dinámicas, están son cargas transitorias que son resultantes desde el giro de la pala, posibilitando una **mayor libertad al aerogenerador en su disposición espacial** con respecto a la turbulencia del viento.

Su fácil distribución en el espacio logra que la turbina pueda **trabajar desde potencias inferiores** a las normalmente establecidas en la interacción con la masa eólica, solucionando el problema de la sensibilidad del momento de arrastre con la masa de viento, proporcionando de nuevas oportunidades para la integración de la energía eólica.

Existen dos principales tipos de aerogeneradores verticales:

- **Aerogenerador Savonius:** necesita un reducido momento de arranque para poner en movimiento al aerogenerador y llega a su potencia nominal desde reducidas velocidades de viento.
- **Aerogenerador Darrieus:** requiere vientos por sobre los 4 m/s, mantiene unas altas velocidades de giro y tiene un buen rendimiento con el comportamiento eólico.

Estos dos dispositivos:

- No necesitan un sistema de orientación. **Son multidireccionales.**
- No presentan mayores desafíos en su mantenimiento, ya que frente a sus **reducidas dimensiones** son más fáciles de manipular que los de eje horizontal.
- **No precisan de una velocidad angular constante**, los cuales logran mantenerse en movimiento a pesar de aleatoriedad del comportamiento eólico.

Las diferencias principales que separan a estos dos modelos de excelencia en la captación sobre el eje vertical es su diseño:

El modelo Savonius sigue el patrón de un modelo anemómetro, **funcionando desde fuerzas de arrastre** diferencial producidas por el empuje y resistencia del viento sobre las caras de los cuerpos cóncavos huecos, dependiendo de la dirección y orientación eólica. Acelera en el Barlovento y se frena en el Sotavento.

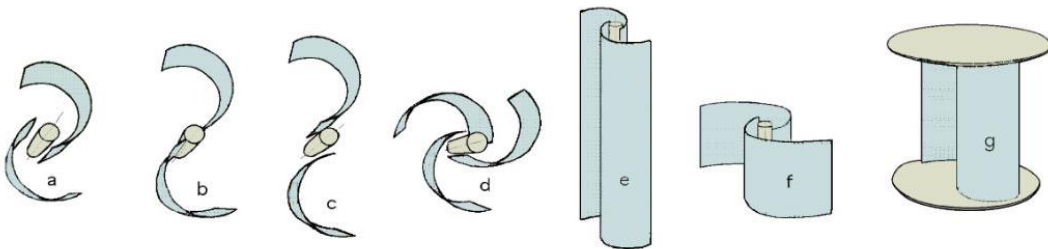


Figura 18: Distribución múltiple de aerogeneradores de clasificación Savonius. Disponible en: Libro de Energía Eólica. Fernandez (1993)

El modelo Darrieus se conforma principalmente de dos largas hojas perfiladas metálicas que giran en torno al eje vertical del rotor, las hojas cumplen la función de captar la acción eólica.

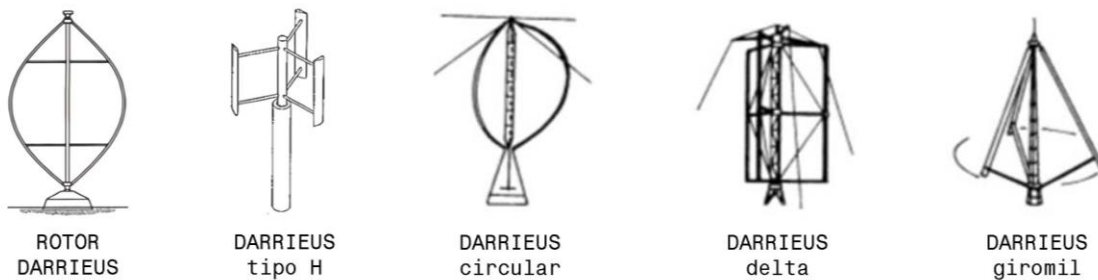


Figura 19: Múltiples modelos de aerogeneradores de clasificación Darrieus. Disponible en: Libro de Energía Eólica. Fernandez (1993)

La tecnología con la cual fue evolucionando el aerogenerador busca **aumentar la fiabilidad energética** y reducir los costes de realización, procurando que la instalación de los aerogeneradores supere el tiempo de amortiguación y genere aportaciones a la red energética. Esto junto con la incorporación de nuevas maneras creativas de manipular la acción eólica han llevado a variar en los modelos de los aerogeneradores.

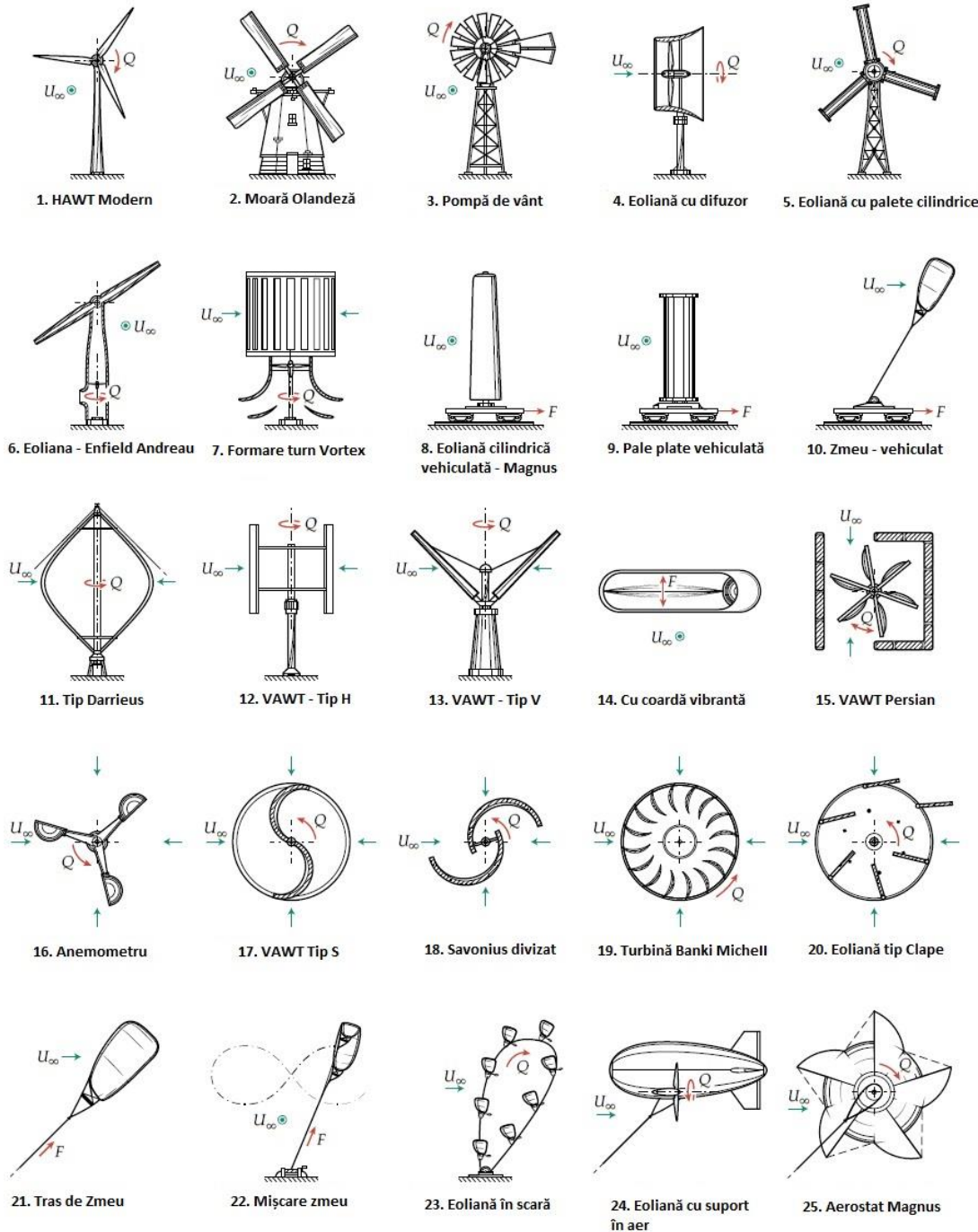


Figura 20: Clasificación de formas en la suministración de energía eólica. Disponible en: windpowerengineering.com

Para sostener el conocimiento de la producción de energía eólica, existe un factor primordial que reconoce la cantidad de energía suministrada a la red, este es la curva de potencia, comportamiento energético que se estima desde su [naturaleza exponencial](#) el cual contempla tres fases de distribución relacionadas a las velocidades del viento.

- **Velocidad mínima/velocidad de arranque** ($V_{conexión}$): esta es la velocidad mínima con la que el rotor comienza a reaccionar con la masa eólica, [suministrando con una potencia en aumento de forma exponencial a medida que aumenta la velocidad del viento](#).
- **Velocidad nominal** ($V_{nominal}$): Cuando el generador llega esta velocidad, mantiene un control sobre la constante de potencia de generación eólica, aunque el sistema siga elevando su velocidad. Esto para evitar la sobrecarga de la turbina.
- **Velocidad máxima** ($V_{desconexión}$): Es la velocidad máxima a la que puede llegar el aerogenerador antes de exponerse a una [sobrecarga del sistema](#), el cual, por medio de mecanismos de frenado, [detiene el funcionamiento del aerogenerador](#) para evitar un mayor desgaste en su sistema. A nivel de eficiencia, el mayor problema para el aerogenerador es sobrepasar sus límites, ya que los mecanismos de frenado no dejan que luego de una alta turbulencia pueda nuevamente trabajar como corresponde, suministrando la energía posterior a esa alta de velocidades.

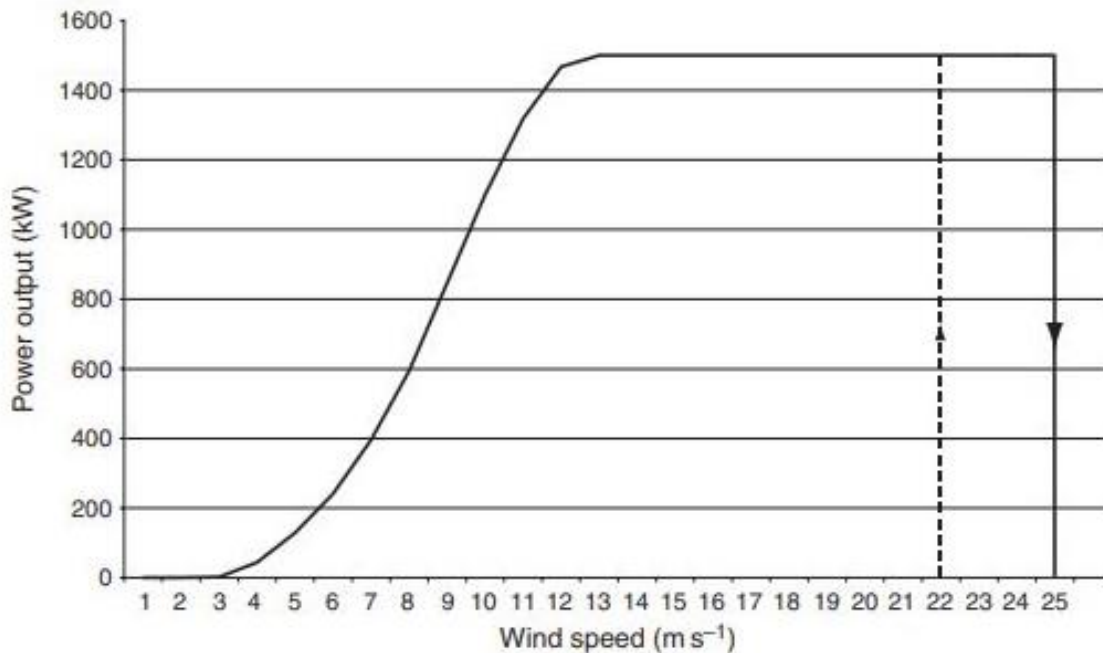


Figura 21: Comportamiento de un aerogenerador con velocidad de arranque de 3 m/s, potencial nominal de 1.5 MW y velocidad máxima de 25 m/s.

El posicionamiento angular del perfil/pala al eje aerodinámico condiciona el comportamiento turbulento del viento, promoviendo siempre la incorporación del flujo eólico sin alterar drásticamente su flujo laminar.

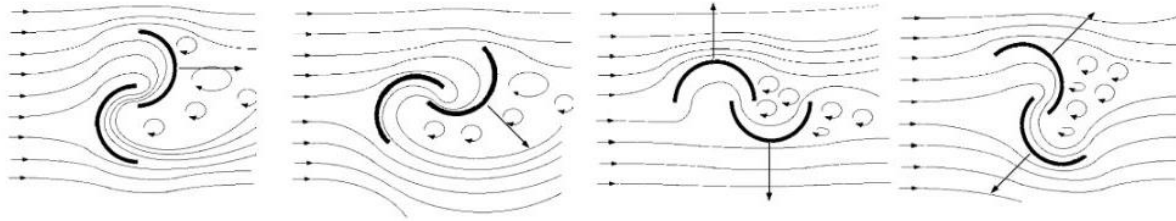


Figura 22: Comportamiento del flujo laminar del viento sobre un aerogenerador Savonius

Cada modelo eólico altera de formas diferentes el estado original del viento, esta área de interferencia por parte de los aparatos eólicos se le define como el **Área de barrido**, definición que responde al fenómeno de estela, área donde el intercambio de energía de la masa de viento pasa a ser energía mecánica, lo que **implica la disminución de la velocidad original del viento**.

Esta área es de fundamental consideración al momento de estimar el impacto superficial de una planta o nivel eólico, ya que estima el número de aerogeneradores que se pueden integrar de forma eficiente en una superficie determinada.

Una de las tantas ventajas de los modelos de generación de eje vertical es que **no interfieren de gran forma en el área de barrido superficial** del encuentro eólico con la aeroturbina, esto debido a las reducidas dimensiones que presentan en comparación con los modelos horizontales. Facilitando la implementación de más dispositivos eólicos sobre una misma superficie.

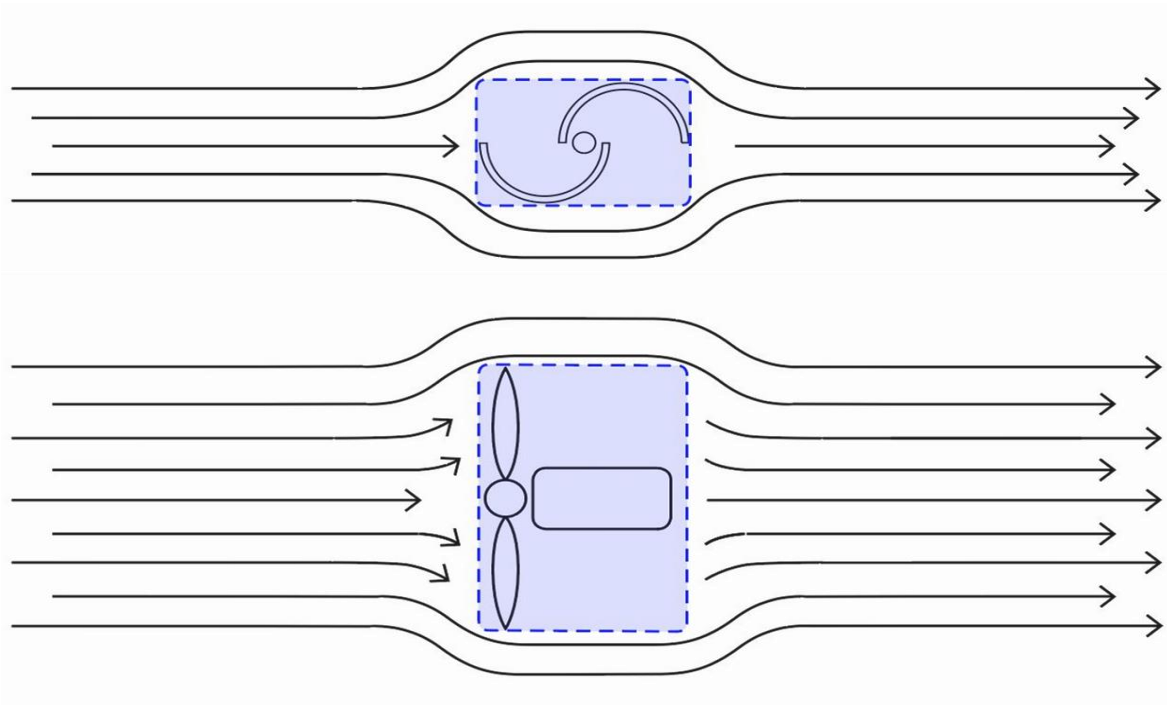


Figura 23: comparativa en el área de barrido superficial entre modelos de eje vertical y horizontal. Elaboración propia

El modelo de generación más factible para la integración de la energía eólica sobre suelo urbano es los **dispositivo de carácter variable**, siendo principalmente los **modelos de ejes verticales**.

Los equipos de velocidad variable funcionan junto con un “control pitch”, modelo de seguridad sobre las alteraciones constantes de las velocidades, conectado a un generador asincrónico y un convertidor de energía, estos controlan el potencial energético con el fin de ser conectado directamente a la red, esto con el fin de:

- Optimizar la energía extraída del viento.
- Al controlar la corriente desde la red, se controla la potencia activa por medio de corriente directa.
- Al controlar la corriente desde el rotor, se controla la intensidad de la potencia.

Para cumplir esta labor, el sistema variable se divide en tres partes cruciales para el emparejamiento energético en la red: el generador, un rectificador-corriente directa DC y un inversor-corriente alterna AC.

El generador produce la energía mecánica dada desde el eje de rotor, mientras el rectificador (DC) convierte esta corriente inicial en **corriente directa**, y el inversor (AC) es quien invierte la corriente a una frecuencia idéntica para ser introducida a la red pública, es decir, **a la matriz energética del edificio**.

Este control busca recepcionar desde las alteraciones de las velocidades una frecuencia nominal capaz de producir un potencial de generación constante, equilibrando la frecuencia y evitando que corrientes elevadas se incorporen en la red. Dando la ventaja de mantener en constante movimiento rotacional a la turbina calando la energía mecánica del viento.

La variación de corriente directa a corriente alterna que manipula el comportamiento interior de los Voltajes y Amperios del aerogenerador, transforman su valor a **Potencia en kWh al integrarse a la red de generación eléctrica.**

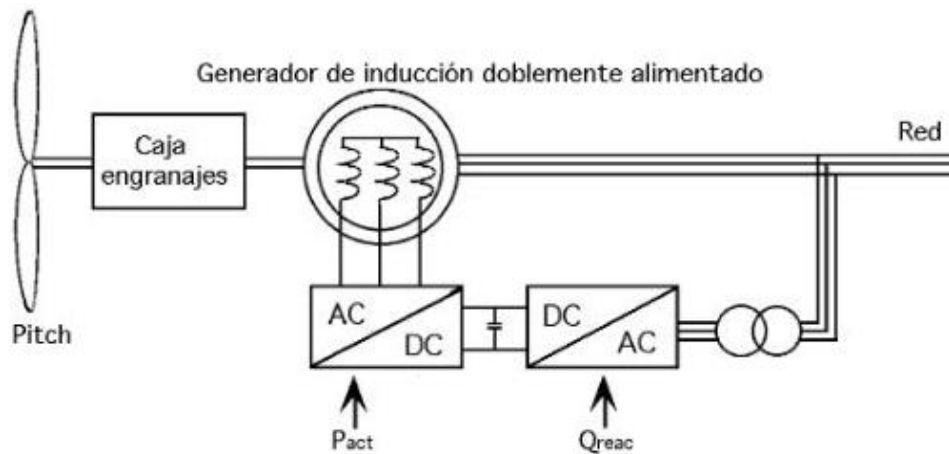


Figura 24: Control completo de energía activa dado en un molinete de generación de eje vertical, presencia del control pitch, generador, red, rectificador corriente directa (Pact) e inversor de corriente (Qreac) extraído desde: Libro de Energía Eólica

2.2 Modelo de Eficiencia Energética

La tecnología más eficiente para la aplicación sobre la arquitectura construida estudiada desde las definiciones anteriores son los modelos de eje verticales, es a partir de esta corroboración donde se manifiesta la necesidad de comprender las tecnologías.

En este proceso, se busca definir el aerogenerador más eficiente para el estudio local dispuesto en la Región Metropolitana, desde una lista de opciones energéticas que administran una correcta generación eólica. Todos estos pertenecen a la empresa británica “Windside”, líder en la creación de modelos energéticos de eje vertical. Cada modelo se diferencia entre ellos a partir del área de intercambio que abarca su superficie, es desde ella que se analiza cada modelo por separado y luego entre modelos de diferentes áreas de intercambio, observando cual es el más eficiente para implementarlo sobre Santiago.

Los factores que definirán la clasificación son los siguientes:

- **Velocidad:**
 - Velocidad de arranque.
 - Velocidad nominal
 - Velocidad de desconexión
- **Potencia.**
 - Wh/m²
 - kWh anual/m²
 - Amperios
 - Voltaje
- **Dimensiones área de barrido.**
- **Peso.**

La clasificación de modelos es la siguiente:

- WS-0,15. Un modelo
- WS-0,30 Cuatro modelos
- WS-0,60 Dos modelos
- WS-2 Cuatro modelos
- WS-4 Dos modelos
- WS-12 Un modelo

Para iniciar el análisis se disponen las fichas técnicas de cada aerogenerador con más de un modelo y se compara cual es el más eficiente para llenar una comparativa generar entre modelos Savonius

Modelos de Aerogeneradores Eólicos WS-030

(Ver Anexo 04)

| Clasificaciones | WS-0,30 A8-08 | WS-0,30 B PLUS | WS-0,30 B PLUS N-29 | WS-0,30 C |
|--|---|---|--|---|
| Dimensiones: Área de influencia | 0,3 m ² | 0,3 m ² | 0,3 m ² | 0,3 m ² |
| Dimensión: Área superficial | 0,16 m ² | 0,07 m ² | 0,07 m ² | 0,07 m ² |
| Velocidad: Arranque Desconexión | 2 m/s 60 m/s | 2 m/s 50 m/s | 2 m/s 50 m/s | 2 m/s 30 m/s |
| Potencia | 6 A – 9 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 6 A – 9 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 9 A – 16 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 6 A – 9 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V |
| Peso | 98 kg | 47 kg | 45 kg | 43 kg |

Tabla 06: Fichas técnicas aerogeneradores WS - 0,30 A8-08, WS - 0,30 B PLUS, WS - 0,30 B PLUS N-29 y WS-0,30 C. Elaboración propia

Modelos de Aerogeneradores Eólicos WS-0,60

(Ver Anexo 05)

| Clasificaciones | WS-0,60 A 12 | WS-0,60 City |
|--|--|---|
| Dimensiones: Área de influencia | 0,6 m ² | 0,06 m ² |
| Dimensión: Área superficial | 0,16 m ² | 0,07 m ² |
| Velocidad: Arranque Desconexión | 3 m/s 60 m/s | 2 m/s 20 m/s |
| Potencia | 6 A – 10 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 6 A – 9 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V |
| Peso | 122 kg | 59 kg |

Tabla 07: Cuadro resumen fichas técnicas aerogeneradores WS - 0,60 A 12 y WS - 0,60 City. Elaboración propia

Modelos de Aerogeneradores Eólicos WS- 2

(Ver Anexo 06)

| Clasificaciones | WS-2 AK | WS-2 B | WS-2 City | WS-2 City G |
|--|---|---|---------------------------------------|---|
| Dimensiones: Área de influencia | 2 m ² | 2 m ² | 2 m ² | 2 m ² |
| Dimensión: Área superficial | 2.52 m ² | 1.2 m ² | 0,07 m ² | 0,24 m ² |
| Velocidad: Arranque Desconexión | 5 m/s 60 m/s | 5 m/s 40 m/s | 3 m/s 20 m/s | 3 m/s 25 m/s |
| Potencia | 21A – 36A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 21A – 35A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 2A – 3A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 15A – 25A 12 V - 15 V 24 V - 30 V |
| Peso | 1000 kg | 550 kg | 120 kg | 170 kg |

Tabla 08: Cuadro resumen fichas técnicas aerogeneradores WS - 2 AK, WS - 2 B, WS - 2 City y WS - 2City G. Elaboración propia

Modelos de Aerogeneradores Eólicos WS-4

(Ver Anexo 07)

| Clasificaciones | WS-4 A | WS-4 B |
|--|--|--|
| Dimensiones: Área de influencia | 4 m ² | 4 m ² |
| Dimensión: Área superficial | 4 m ² | 0,3 m ² |
| Velocidad: Arranque Nominal Desconexión | - 10 m/s 60 m/s | 5 m/s 10 m/s 40 m/s |
| Potencia | 21 A – 36 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V 48 V – 60 V | 21 A – 36 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V 48 V – 60 V |
| Peso | 1200 kg | 800 kg |

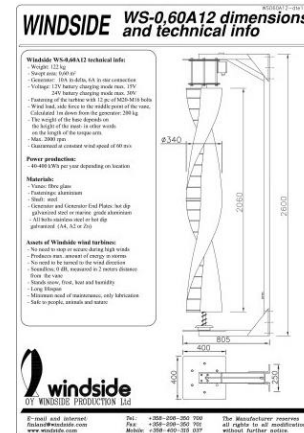
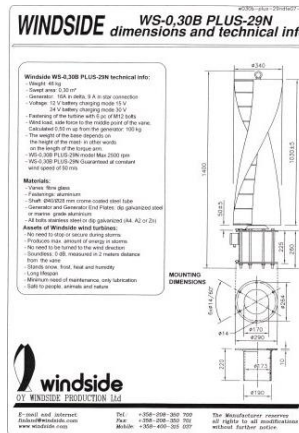
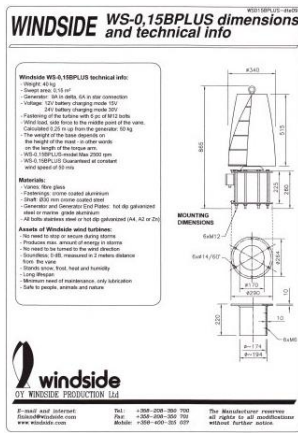
Tabla 09: Cuadro resumen fichas técnicas aerogeneradores WS - 4 A y WS - 4B. Elaboración propia

Comparación de modelos eólicos para la implementación en la edificación.

Modelo WS - 0,15 B PLUS

Modelo WS - 0,30 B PLUS-29 N

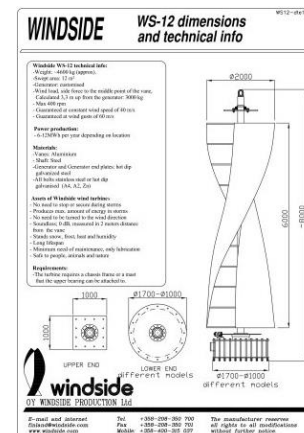
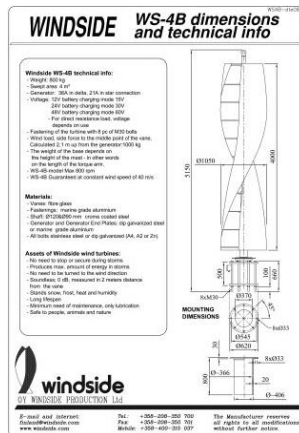
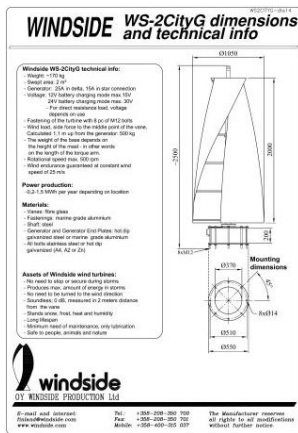
Modelo WS - 0,6 A 12



Modelo WS - 2 City G

Modelo WS - 4 B

Modelo WS - 12



| Clasificación | Modelo WS - 0,15 B PLUS | Modelo WS - 0,30 B PLUS-29 N | Modelo WS - 0,6 A 12 | Modelo WS - 2 City G | Modelo WS - 4 B | Modelo WS - 12 |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|--|-------------------------------|
| Área de influencia | 0,15 m ² | 0,3 m ² | 0,6 m ² | 2 m ² | 4 m ² | 12 m ² |
| Área superficial | 0,07 m ² | 0,07 m ² | 0,16 m ² | 0,28 m ² | 0,3 m ² | 2,27 m ² |
| Vel. Arranque | 3 m/s | 3 m/s | 3 m/s | 3 m/s | 5 m/s | 5 m/s |
| Nominal | 10 m/s | 10 m/s | 10 m/s | 10 m/s | 20 m/s | 30 m/s |
| Desconexión | 50 m/s | 50 m/s | 60 m/s | 25 m/s | 40 m/s | 40 m/s |
| Potencia (Amperios /Voltaje) | 6A - 9A 12V - 15V 24V - 30V | 9 A - 16 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 6 A - 10 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 15 A - 25 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V | 21 A - 36 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V 48 V - 60 V | - |
| Potencia (kWh/año) Arranque Nominal | 15kWh/año 206 kWh/año | 30 kWh/año 413kWh/año | 60 kWh/año 826 kWh/año | 120 kWh/año 3.900 kWh/año | 400 kWh/año 11.100 kWh/año | 720 kWh/año 48.298 kWh/año |
| Peso | 40 kg | 45 kg | 122 kg | 170 kg | 800 kg | 4600 kg |

Tabla 10: Cuadro resumen fichas técnicas de los aerogeneradores. Elaboración propia

Para definir los parámetros que identifican al aerogenerador más eficiente se comparan la generación de capacidad energética desde dos factores:

1. Desde la constante de generación energética por superficie (m²) de influencia, en parámetros relacionados a la generación:

Por hora:

$$\text{Potencial Energético } x \text{ m}^2 \text{ de } X \text{ aerogenerador} = \frac{\text{Potencial Energético Wh}}{\text{Superficie de influencia (m}^2\text{)}}$$

Anual:

$$\text{Potencial Energético por año } x \text{ m}^2 \text{ de } X \text{ aerogenerador} = \frac{\text{Potencial Energético kWh } x \text{ año}}{\text{Superficie de influencia (m}^2\text{)}}$$

Siendo los siguientes cálculos:

(Ver Anexo 08)

| Potencia (kWh & kWh por año) /m ² | Modelo WS - 0,15 B PLUS | Modelo WS - 0,30 B PLUS- 29 N | Modelo WS - 0,6 A 12 | Modelo WS - 2 City G | Modelo WS - 4 B | Modelo WS - 12 |
|--|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Potencia de arranque | 11,6 Wh/m ² | 11,57 Wh/m ² | 11,56 Wh/m ² | 6,94 Wh/m ² | 11,57 Wh/m ² | 6,94 Wh/m ² |
| Potencia nominal máx. | 158,9 Wh/m ² | 159,3 Wh/m ² | 159,3 Wh/m ² | 225,5 Wh/m ² | 320 Wh/m ² | 465,83 Wh/m ² |
| Potencia de arranque anual | 100 kWh/m ² | 100 kWh/m ² | 100 kWh/m ² | 60 kWh/m ² | 100 kWh/m ² | 60 kWh/m ² |
| Potencia nominal máx. anual | 1.373,4 kWh/m ² | 1.377 kWh/m ² | 1.376 kWh/m ² | 1.950 kWh/m ² | 2.775 kWh/m ² | 4.024 kWh/m ² |

Tabla 11: Cuadro resumen datos de Potencia Energética x m² de superficie de influencia. Elaboración propia

Este primer factor de análisis concreta la limitante energética de generación presente en los tres primeros modelos, existiendo una estandarización energética en su generación nominal desde parámetros de superficie, y considerando la necesidad de promover mayor cantidad energética por superficie, estos no cumplen con tal requerimiento, siendo descartados como opciones fiables para su implementación en la altura.

2. Desde el factor de generación energética por el peso respectivo de cada aerogenerador:

Se maneja una ecuación que relaciona el potencial aporte energético de cada aerogenerador con su peso, analizando cual es el aerogenerador con el factor más alto de producción y ligereza:

$$\text{factor potencial vs. peso} = \frac{\text{Potencial Energético } X \text{ (kWh/año)}}{\text{Peso aerogenerador } X \text{ (kg)}}$$

Resultando lo siguiente:

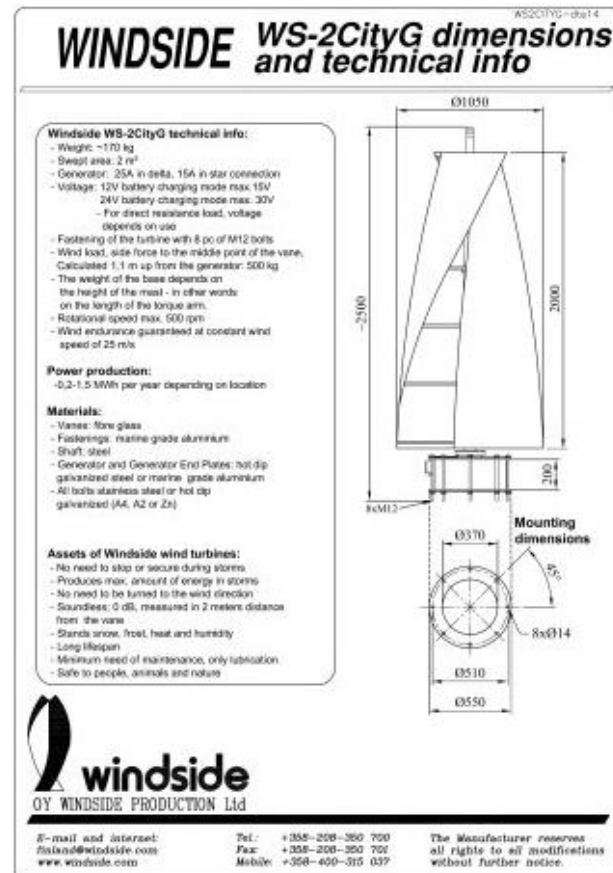
(Ver Anexo 09)

| | Modelo WS - 0,15 B PLUS | Modelo WS - 0,30 B PLUS- 29 N | Modelo WS - 0,6 A 12 | Modelo WS - 2 City G | Modelo WS - 4 B | Modelo WS - 12 |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| Factor Arranque kWh/año vs.kg | 0.38 | 0.66 | 0.49 | 0.7 | 0.5 | 0.16 |
| Factor Nominal kWh/año vs.kg | 5.15 | 9.18 | 6.77 | 22.94 | 13.88 | 10.5 |

Tabla 12: Resumen estado del factor de generación vs. peso

Es desde este factor que el aerogenerador más eficiente en su implementación sobre la superficie de una edificación en altura es el **Modelo WS – 2 City G**, presentando un considerable factor de generación energética con su ligereza.

Figura 29: Ficha técnica Modelo Eólico Savonius WS- 2 City G Disponible en: Oy Windside Production Ltd



CAPÍTULO 3. INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE UN NIVEL EÓLICO EN EDIFICIO EN ALTURA.

3.1 Ejercicio aplicado de integración Eólica y su Aporte energético sobre contexto el actual de Santiago de Chile.

Previo a la ejecución del ejercicio, es necesario conocer los resultados de generación energética en el país para realizar la comparación de los ejercicios.

Se extrae esta información del último informe publicado sobre el uso de la energía de los hogares de Chile del año 2018, mediante este documento se podrá definir el gasto energético en kWh/m² anual. Para acercarnos a estos resultados, “el sector residencial tiene un consumo promedio nacional por vivienda equivalente a 8.83 kWh/año, repartiéndose desde estos principales consumos energéticos. (Ministerio de Energía, 2018)

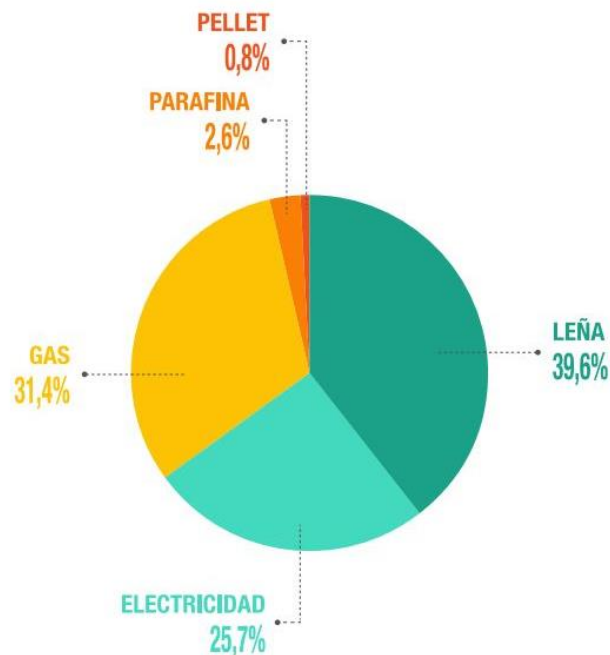


Figura 30: Consumo energético residencial anual distribuido porcentualmente. Extraído de: Uso de la energía de los hogares Chile 2018. Ministerio de Energía

Este estudio energético divide la recopilación de información desde la subdivisión existente desde la zonificación climático-habitacional para Chile definida en la NCh 1079 of 77, es por ello velando por el interés de la investigación, solo se manipulará la información procedente de la Zona Térmica 3, en la que pertenece la ciudad de Santiago.

A partir de esto, para definir un valor preciso sobre la generación energética en kWh/m² año se extrae la dimensión aproximada de la vivienda existente en la Zona térmica 3 ejemplificada en el mismo informe, teniendo una superficie promedio de 89,66 m².



Figura 31: Clasificación de Zonas Térmicas sobre el territorio Nacional. Definido desde la NCh 1079

| m2 construidos Vivienda | NACIONAL | ZT1 | ZT2 | ZT3 | ZT4 | ZT5 | ZT6 | ZT7 |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Media | 85,23 | 90,49 | 76,63 | 89,66 | 79,65 | 82,04 | 80,06 | 81,43 |
| Mediana | 75 | 74,0 | 70,0 | 77,0 | 70,0 | 72,0 | 76,0 | 75,0 |

Figura 32: Promedio y mediana de la superficie de viviendas según sus ZT. Extraída desde: Uso de la energía de los hogares Chile 2018. Ministerio de Energía

Finalizando el desarrollo, se extrae la tabla del consumo energético anual promedio en las viviendas de la Zona térmica 3, extrayendo los consumos de interés para la aportación al ahorro energético del edificio los siguientes puntos:

- Consumo de Electricidad kWh/año
- Consumo Total kWh/año

| TOTAL | GN | GLP | Electricidad | Leña | Parafina | Pellet | Totales | % |
|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| | kWh/viv/año | kWh/viv/año | kWh/viv/año | kWh/viv/año | kWh/viv/año | kWh/viv/año | kWh/viv/año | |
| Ducha | 747 | 834 | 24 | 0 | 0 | 0 | 1.605 | 25,1% |
| Tina | 20 | 44 | 1 | 0 | 0 | 0 | 66 | 1,0% |
| Lavado loza | 118 | 110 | 3 | 0 | 0 | 0 | 231 | 3,6% |
| Cocina + Horn | 128 | 229 | 10 | 9 | 0 | 0 | 376 | 5,9% |
| Lavado Ropa | 11 | 14 | 38 | 0 | 0 | 0 | 63 | 1,0% |
| Secado Ropa | 0 | 0 | 176 | 0 | 0 | 0 | 176 | 2,7% |
| Calefacción Ce | 35 | 62 | 0 | 18 | 0 | 0 | 116 | 1,8% |
| Calefactores | 94 | 685 | 133 | 394 | 334 | 4 | 1.644 | 25,7% |
| Microondas | 0 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0,4% |
| Hornillo elect | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0,2% |
| Iluminación | 0 | 0 | 451 | 0 | 0 | 0 | 451 | 7,0% |
| Refrigerador | 0 | 0 | 474 | 0 | 0 | 0 | 474 | 7,4% |
| Freezer | 0 | 0 | 39 | 0 | 0 | 0 | 39 | 0,6% |
| Hervidor | 0 | 0 | 96 | 0 | 0 | 0 | 96 | 1,5% |
| Plancha? | 0 | 0 | 43 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0,7% |
| Aspiradora | 0 | 0 | 125 | 0 | 0 | 0 | 125 | 2,0% |
| Computador | 0 | 0 | 53 | 0 | 0 | 0 | 53 | 0,8% |
| TV | 0 | 0 | 422 | 0 | 0 | 0 | 422 | 6,6% |
| Juegos | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0,1% |
| Stand by | 0 | 0 | 237 | 0 | 0 | 0 | 237 | 3,7% |
| A/C | 0 | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 32 | 0,5% |
| Cafetera | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0,2% |
| Bomba de rieg | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0,1% |
| Piscina | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0,4% |
| Otros | 0 | 0 | 68 | 0 | 0 | 0 | 68 | 1,1% |
| Total | 1.154 | 1.979 | 2.509 | 421 | 334 | 4 | 6.401 | 100,0% |
| | 18,0% | 30,9% | 39,2% | 6,6% | 5,2% | 0,1% | 100,0% | |

Figura 33 Tabla del Consumo Promedio Anual de la Vivienda en la ZT3 en kWh. Extraída desde: Uso de la energía de los hogares Chile 2018. Ministerio de Energía

Mediante la tabla, se conoce el consumo anual por vivienda de los dos factores de interés, siendo:

| | Consumo de Electricidad | Consumo Total |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| Zona térmica 3 | 2.509 kWh/vivienda/año | 6.401 kWh/vivienda/año |

Conociendo los m2 promedio por vivienda encuestada en la ZT3 se conoce el factor energético existente en kWh/m2 año.

$$\text{Consumo de Electricidad } m2 = 2.509 \frac{kWh}{viv \text{ año}} \times \frac{1 viv}{89,66 m^2}$$

$$\text{Consumo de Electricidad } m2 = \frac{2.509}{89,66} \frac{kWh}{m^2 \text{ año}}$$

$$\text{Consumo de Electricidad } m2 = 27,98 \frac{kWh}{m^2 \text{ año}}$$

$$\text{Consumo Total (m}^2\text{)} = 6.401 \frac{\text{kWh}}{\text{viv año}} \times \frac{1 \text{viv}}{89,66 \text{m}^2}$$

$$\text{Consumo Total (m}^2\text{)} = \frac{6.401}{89,66} \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ año}}$$

$$\text{Consumo de Total (m}^2\text{)} = 71,39 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ año}}$$

| | Consumo de Electricidad | Consumo Total |
|----------------|------------------------------|------------------------------|
| ZONA TÉRMICA 3 | 27,98 kWh/m ² año | 71,39 kWh/m ² año |

3.1.1 Superficie eólica teórica: Definiciones principales para la elaboración del nivel eólico sobre el área de estudio.

Se define un área superficial estándar que representará la base para los tres casos de estudio determinados en el primer capítulo:

- La Reina
- Quinta Normal
- Lo Prado

Esta tendrá una superficie útil de 40 m de ancho y 50 m de largo, 1000 m² respectivamente. Su alturas se definirán en representación de los edificios de destino residencial más altos actualmente existentes en cada comuna.

Considerando las siguientes definiciones, el modelo eólico **WS – 2 City G** contempla un área de influencia/barrido de 2 m², este desde un primer acercamiento representa de estimación superficial considerando la cantidad de aerogeneradores capaces de distribuirse en 2 m² ortogonal.

$$\text{Cantidad de aerogeneradores en } 2 \text{ m}^2 = \frac{2 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2}$$

$$\text{Cantidad de aerogeneradores en } 2 \text{ m}^2 = 1 \text{ unidad}$$

Para corrobora correctamente este dato de barrido superficial del aerogenerador, es necesario configurarlo desde las dimensiones ortogonales del aerogenerador con respecto al plano, estimando las dimensiones reales desde la circunferencia que representa su área de barrido. De este modo se utiliza la fórmula para extraer el diámetro:

$$\pi \frac{d^2}{4} = A$$

$$\pi \frac{d^2}{4} = 2 \text{ m}^2$$

$$\pi d^2 = 20.000 \times 4 \text{ cm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{80.000}{\pi}} \text{ cm}$$

$$d = 159,57 \text{ cm} \approx 160 \text{ cm}$$

Esto representa que en una superficie ortogonal de 2 m² se pueden distribuir 1 aerogeneradores modelo WS – 2 City G

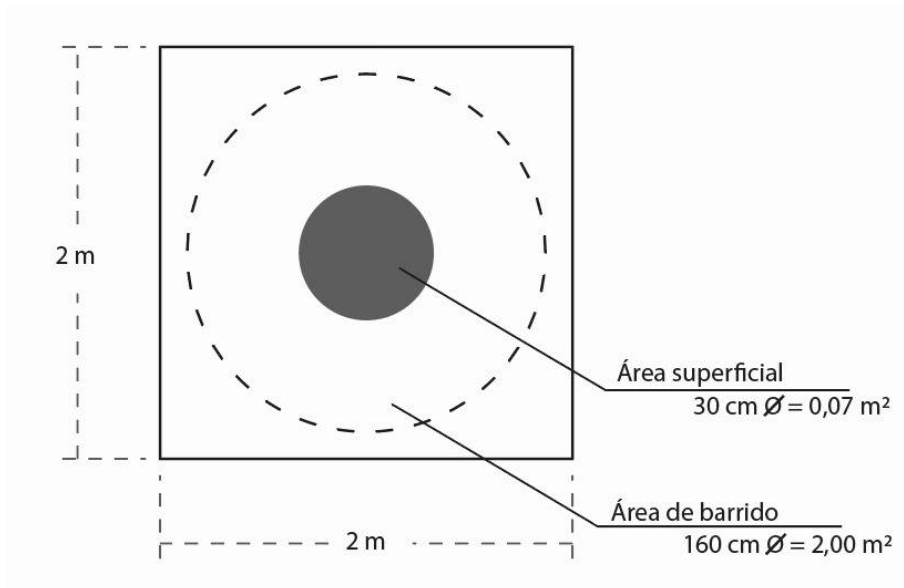


Figura 34: Detalle de representación área de aerogenerador WS-2City G. Elaboración propia

Considerando esta información, se puede estimar correctamente el número de aerogeneradores capaces de incorporarse sobre la superficie ideal de 1000 m² mediante regla de 3:

$$1 \text{ unidad WS – 2 City G} \rightarrow 2 \text{ m}^2 \text{ superficie}$$

$$X \rightarrow 1.000 \text{ m}^2 \text{ superficie}$$

$$X = \frac{1 \text{ unidades WS – 2 City G} \times 1.000 \text{ m}^2 \text{ superficie}}{2 \text{ m}^2 \text{ superficie}}$$

Superficie teórica de:

$$X = 500 \text{ unidades WS – 2 City G}$$

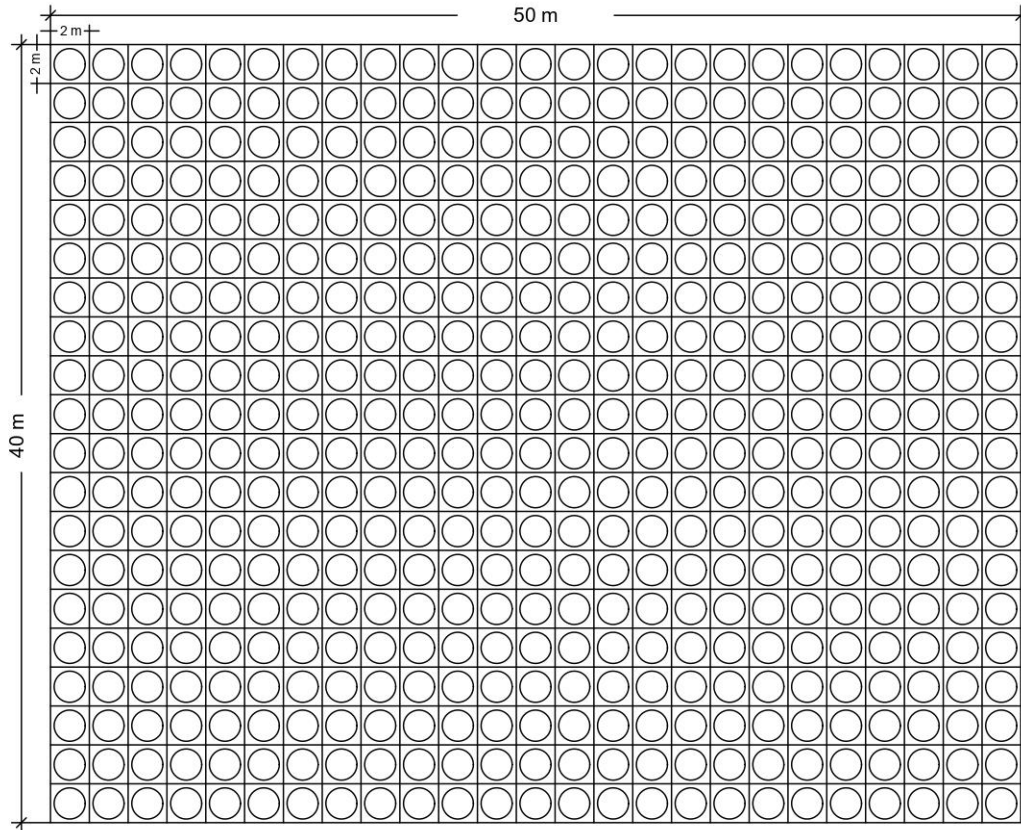


Figura 34: Superficie teórica de máxima eficiencia en la disposición de la planta del nivel eólico en 1.000 m². Elaboración propia

El estudio de los modelos de aerogeneradores verticales demostró como forman su desarrollo en la captación eólica desde un modelo de función exponencial, definido desde los valores de arranque y nominal que representa, contemplando el aerogenerador WS-2City G representa los siguientes valores:

| Clasificaciones | Modelo WS - 2 City G |
|------------------------------|---|
| Área de influencia | 2 mt ² |
| Área superficial | 0,28 m ² |
| Velocidad (m/s) | |
| Arranque | 3 m/s |
| Nominal | 10 m/s |
| Desconexión | 25 m/s |
| Potencia (Amperios /Voltaje) | 15 A – 25 A 12 V - 15 V 24 V - 30 V |
| Potencia (kWh/año) | |
| Arranque | 120 kWh/año |
| Nominal | 3.900 kWh/año |
| Peso | 170 kg |

| x | y |
|--------|---------------|
| 3 m/s | 120 kWh/año |
| 10 m/s | 3.900 kWh/año |

Es posible calcular la fórmula de la curva exponencial que representa la generación energética en el aerogenerador reemplazando tales valores en la función general exponencial:

$$y = a \cdot b^x \quad (1)$$

Reemplazando:

$$120 = a \cdot b^3 \quad (2)$$

$$3.900 = a \cdot b^{10} \quad (3)$$

(3 / 2)

$$\frac{3.900}{120} = \frac{a \cdot b^{10}}{a \cdot b^3}$$

$$32,5 = b^7$$

$$\sqrt[7]{32,5} = b$$

$$1,644 = b$$

Reemplazando (4) en (2)

$$120 = a \cdot b^3$$

$$120 = a \cdot 1,644^3$$

$$\frac{120}{1,644^3} = a$$

$$27 = a$$

Reemplazando (4) y (5) en (1)

$$f(x) = 27 \cdot 1,644^x$$

Función exponencial del aerogenerador WS – 2 City G

| x (ms) | f(x) (kWh/año) |
|--------|----------------|
| 0 m/s | 0 kWh/año |
| 2 m/s | 0 kWh/año |
| 3 m/s | 120 kWh/año |
| 5 m/s | 324,54 kWh/año |
| 7 m/s | 877,47 kWh/año |
| 10 m/s | 3.900 kWh/año |
| 15 m/s | 3.900 kWh/año |
| 20 m/s | 3.900 kWh/año |
| 25 m/s | 0 kWh/año |

Curva de generación energética modelo eólico WS - 2 City G

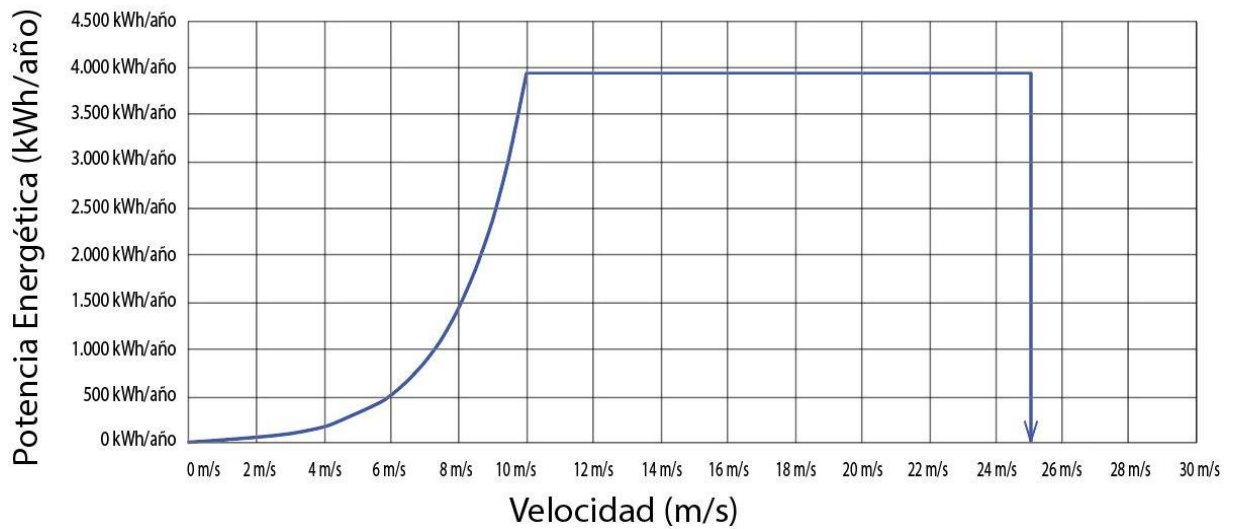


Figura 35: Curva de generación Energética modelo eólico WS – 2 City G. Elaboración propia

3.1.1.1 Alturas y superficie eólica aplicada sobre las edificaciones, el aporte a la matriz energética sobre el edificio.

Las respectivas zonas de estudio serán representadas a partir de las propiedades actuales que presentan en la configuración de los edificios de carácter residencial más altos de cada comuna, siendo los siguientes:

| La Reina. | | La Quinta Normal. | | Lo Prado. | |
|-------------|------------------------------|-------------------|------------------|-------------|--------------------------|
| Nombre: | Edificio Country Club Plaza. | Nombre: | Edificio Lourdes | Nombre: | Edificio Torre Alameda. |
| Dirección: | Las Arañas 5805 | Dirección: | Patria Nueva 716 | Dirección: | Avenida Víctor Jara 5211 |
| Altura | ~ 74 m | Altura | ~ 68 m | Altura | ~ 46 m |
| N° de pisos | 24 | N° de pisos | 22 | N° de pisos | 15 |

Figura 0.0: Edificios residenciales más altos de cada comuna respectivamente. Elaboración propia.

La Reina.

| | |
|-------------|------------------------------|
| Nombre: | Edificio Country Club Plaza. |
| Dirección: | Las Arañas 5805 |
| Altura | ~ 74 metros de alto |
| N° de pisos | 24 pisos |

| Promedio Tres Años / Altura de toma de muestras: 10 m | Casos | Promedio |
|---|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades / 5,14 – 7,2 m/s | 100 casos | 1.5 % |
| Medias intensidades / 2,57 – 5,14 m/s | 3.908 casos | 58.4 % |
| Bajas intensidades / 0,00 – 2,57 m/s | 2.683 casos | 40.1 % |
| TOTAL | 6.691 casos | 100% |

Se estiman las alturas máximas mediante la proposición dada por la fórmula logarítmica del perfil del viento junto con los valores de la longitud de la rugosidad superficial de la superficie:

$$v_2(z_2) = v_1(z_1) \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$

| Tipo de terreno | Z0 [m] |
|--------------------------------------|----------------|
| Aguas tranquilas | 0,0001 - 0,001 |
| Terreno agrícola | 0,03 |
| Terreno con pocos arbustos y árboles | 0,1 |
| Bosque | 0,3 - 1,6 |
| Suburbios y pequeños edificios | 1,5 |
| Centros de ciudades | 2 |

Figura 36: Longitud de rugosidad del terreno.

Por medio de este cálculo se estiman las velocidades bajas, medias y altas existentes en la altura definida por el elemento de estudio, en este caso 74 metros de altura.

Velocidad en Bajas intensidades:

$$v_2(z_2) = 2,57 \frac{\ln\left(\frac{74}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$
$$v_2(z_2) = 5,77 \frac{m}{s}$$

Velocidad en Medias intensidades:

$$v_2(z_2) = 5,14 \frac{\ln\left(\frac{74}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$
$$v_2(z_2) = 11,53 \frac{m}{s}$$

Velocidad en Altas intensidades:

$$v_2(z_2) = 7,2 \frac{\ln\left(\frac{74}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$
$$v_2(z_2) = 16,15 \frac{m}{s}$$

En resumen, forma este nuevo sobre las alturas

| Promedio Tres Años / Altura de 74 m (Edificio Country Club Plaza) | Casos | Promedio |
|---|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades 11,53 m/s – 16,15 m/s | 100 casos | 1.5 % |
| Medias intensidades / 5,77 m/s– 11,53 m/s | 3.908 casos | 58.4 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,77 m/s | 2.683 casos | 40.1 % |
| TOTAL | 6.691 casos | 100% |

Aplicando $f(x)$ energética de WS – 2 City G:

$$f(x) = 27 \cdot 1,644^{5,77}$$

$$f(x) = 475,46 \frac{kWh}{anual}$$

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 475,46 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 475,46 kWh/año |

Mediante estos datos, el aporte energético de un aerogenerador WS – 2 City G dispuesto en las condiciones locales de la zona urbana de **La Reina** es:

El **1.5%** del promedio de las altas intensidades:

$$3.900 \frac{kWh}{año} \times 0,015 = 58,5 \frac{kWh}{año}$$

El **58,4%** del promedio de las medias intensidades:

$$\left(\frac{475,46 + 3.900}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,584 = 1.277,63 \frac{kWh}{año}$$

El **40,1%** del promedio de las bajas intensidades:

$$\left(\frac{120 + 475,46}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,401 = 119,39 \frac{kWh}{año}$$

Como resultado:

$$58,5 \frac{kWh}{año} + 1.277,63 \frac{kWh}{año} + 119,39 \frac{kWh}{año} = 1.455,52 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores en el nivel eólico ideal de 1.000m²:

$$1.455,52 \frac{kWh}{año} \times 500 \text{ unidades} = 727.760 \frac{kWh}{año} \approx 728 \frac{MWh}{año}$$

Finalizando, se compara estos resultados con la Generación energética estimada:

- Generación eléctrica por m²: **27,98 kWh/ m²-año**
- Total de generación por m²: **71,39 kWh/ m²-año**

| Modelo de Simulación La Reina | |
|-------------------------------|----------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Pisos | 24 pisos de altura |

Generación Eléctrica:

$$27,98 \frac{kWh}{m^2 \text{ año}} \times 1.000 \text{ m}^2 = 27.980 \frac{kWh}{\text{año}}$$

$$27.980 \frac{kWh}{\text{año}} \times 24 \text{ pisos} = 671.520 \frac{kWh}{\text{año}} \approx 672 \frac{MWh}{\text{año}}$$

Total de Generación Energética:

$$71,39 \frac{kWh}{m^2 \text{ año}} \times 1.000 \text{ m}^2 = 71.390 \frac{kWh}{\text{año}}$$

$$71.390 \frac{kWh}{\text{año}} \times 24 \text{ pisos} = 1.713.360 \frac{kWh}{\text{año}} \approx 1.713 \frac{MWh}{\text{año}}$$

Aporte del piso eólico ideal al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$672 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow 100\%$$

$$728 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(728 \frac{MWh}{\text{año}} \times 100\%\right)}{672 \frac{MWh}{\text{año}}} = \uparrow 100\% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.713 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow 100\%$$

$$728 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow X\%$$

$$\frac{728 \frac{MWh}{\text{año}} \times 100\%}{1.713 \frac{MWh}{\text{año}}} = 42.50\% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

Quinta Normal

| | |
|--------------------|-------------------------|
| Nombre: | Edificio Lourdes |
| Dirección: | Patria Nueva 716 |
| Altura | ~ 68 metros de alto |
| N° de pisos | 22 pisos |

| Promedio Tres Años / Altura de toma de muestras: 10 m | Casos | Promedio |
|---|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades / 5,14 – 7,2 m/s | 91 casos | 0.9 % |
| Medias intensidades/ 2,57 – 5,14 m/s | 2.306 casos | 23.5 % |
| Bajas intensidades / 0,00 – 2,57 m/s | 7.416 casos | 75.6 % |
| TOTAL | 9.813 casos | 100% |

Velocidad en Bajas intensidades:

$$v_2(z_2) = 2,57 \frac{\ln\left(\frac{68}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$

$$v_2(z_2) = 5,63 \frac{m}{s}$$

Velocidad en Medias intensidades:

$$v_2(z_2) = 5,14 \frac{\ln\left(\frac{68}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$

$$v_2(z_2) = 11,26 \frac{m}{s}$$

Velocidad en Altas intensidades:

$$v_2(z_2) = 7,2 \frac{\ln\left(\frac{68}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$

$$v_2(z_2) = 15,78 \frac{m}{s}$$

En resumen, forma este nuevo sobre las alturas

| Promedio Tres Años / Altura de 68 m (Edificio Lourdes) | Casos | Promedio |
|--|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades 11,26 m/s – 15,78 m/s | 91 casos | 0.9 % |
| Medias intensidades / 5,63 m/s– 11,26 m/s | 2.306 casos | 23.5 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,63 m/s | 7.416 casos | 75.6 % |
| TOTAL | 9.813 casos | 100% |

Aplicando $f(x)$ energética de WS – 2 City G:

$$f(x) = 27 \cdot 1,644^{5,63}$$

$$f(x) = 443,50 \frac{kWh}{anual}$$

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 443,50 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 443,50 kWh/año |

Mediante estos datos, el aporte energético de un aerogenerador WS – 2 City G dispuesto en las condiciones locales de la zona urbana de **Quinta Normal** es:

El **0,9%** del promedio de las altas intensidades:

$$3.900 \frac{kWh}{año} \times 0,009 = 35,10 \frac{kWh}{año}$$

El **23,5%** del promedio de las medias intensidades:

$$\left(\frac{443,50 + 3.900}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,235 = 510,36 \frac{kWh}{año}$$

El **75,6%** del promedio de las bajas intensidades:

$$\left(\frac{120 + 443,50}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,756 = 213,00 \frac{kWh}{año}$$

Como resultado:

$$35,10 \frac{kWh}{año} + 510,36 \frac{kWh}{año} + 213,00 \frac{kWh}{año} = 758,46 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores en el **nivel eólico ideal** de 1.000m²:

$$758,46 \frac{kWh}{año} \times 500 \text{ unidades} = 379.230 \frac{kWh}{año} \approx 379 \frac{MWh}{año}$$

Finalizando, se compara estos resultados con la Generación energética estimada:

- Generación eléctrica x m²: **27,98 kWh/m²-año**
- Total de generación x m²: **71,39 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación Quinta Normal | |
|------------------------------------|----------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Pisos | 22 pisos de altura |

Generación Eléctrica:

$$27,98 \frac{kWh}{m^2 \text{ año}} \times 1.000 \text{ m}^2 = 27.980 \frac{kWh}{\text{año}}$$

$$27.980 \frac{kWh}{\text{año}} \times 22 \text{ pisos} = 615.560 \frac{kWh}{\text{año}} \approx 616 \frac{MWh}{\text{año}}$$

Total de Generación Energética:

$$71,39 \frac{kWh}{m^2 \text{ año}} \times 1.000 \text{ m}^2 = 71.390 \frac{kWh}{\text{año}}$$

$$71.390 \frac{kWh}{\text{año}} \times 22 \text{ pisos} = 1.570.580 \frac{kWh}{\text{año}} \approx 1.571 \frac{MWh}{\text{año}}$$

Aporte del piso eólico ideal al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$616 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow 100\%$$

$$379 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(379 \frac{MWh}{\text{año}} \times 100\%\right)}{616 \frac{MWh}{\text{año}}} = 61.53\% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.571 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow 100\%$$

$$379 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow X\%$$

$$\frac{379 \frac{MWh}{\text{año}} \times 100\%}{1.571 \frac{MWh}{\text{año}}} = 24.12\% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

Lo Prado

| | |
|--------------------|-------------------------------|
| Nombre: | Edificio Torre Alameda |
| Dirección: | Avenida Víctor Jara 5211 |
| Altura | ~ 46 metros de alto |
| N° de pisos | 15 pisos |

| Promedio Tres Años /Altura de toma de muestras: 10 m | Casos | Promedio |
|--|---------------------|-------------|
| Mayores intensidades / 5,14 – 7,2 m/s | 1.360 casos | 8.7 % |
| Medias intensidades / 2,57 – 5,14 m/s | 6.715 casos | 42.8 % |
| Bajas intensidades / 0,00 – 2,57 m/s | 7.599 casos | 48.5 % |
| TOTAL | 15.674 casos | 100% |

Velocidad en Bajas intensidades:

$$v_2(z_2) = 2,57 \frac{\ln\left(\frac{46}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$

$$v_2(z_2) = 5,01 \frac{m}{s}$$

Velocidad en Medias intensidades:

$$v_2(z_2) = 5,14 \frac{\ln\left(\frac{46}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$

$$v_2(z_2) = 10,01 \frac{m}{s}$$

Velocidad en Altas intensidades:

$$v_2(z_2) = 7,2 \frac{\ln\left(\frac{46}{2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{2}\right)}$$

$$v_2(z_2) = 14,03 \frac{m}{s}$$

En resumen, forma este nuevo sobre las alturas

| Promedio Tres Años /Altura de 46 m (Edificio Torre Alameda) | Casos | Promedio |
|---|---------------------|-------------|
| Mayores intensidades / 10,01 – 14,03 m/s | 1.360 casos | 8.7 % |
| Medias intensidades / 5,01 – 10,01 m/s | 6.715 casos | 42.8 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,01 m/s | 7.599 casos | 48.5 % |
| TOTAL | 15.674 casos | 100% |

Aplicando $f(x)$ energética de WS – 2 City G:

$$f(x) = 27 \cdot 1,644^{5,01}$$

$$f(x) = 325,86 \frac{kWh}{anual}$$

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 325,86 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 325,86 kWh/año |

Mediante estos datos, el aporte energético de un aerogenerador WS – 2 City G dispuesto en las condiciones locales de la zona urbana de **Lo Prado** es:

: El **8,7%** del promedio de las altas intensidades:

$$3.900 \frac{kWh}{año} \times 0,087 = 339,30 \frac{kWh}{año}$$

El **42,8%** del promedio de las medias intensidades:

$$\left(\frac{325,86 + 3.900}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,428 = 904,33 \frac{kWh}{año}$$

El **48,5%** del promedio de las bajas intensidades:

$$\left(\frac{120 + 325,86}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,485 = 108,12 \frac{kWh}{año}$$

Como resultado:

$$339,30 \frac{kWh}{año} + 904,33 \frac{kWh}{año} + 108,12 \frac{kWh}{año} = 1.351,75 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores en el **nivel eólico ideal** de 1.000m²:

$$1.351,75 \frac{kWh}{año} \times 500 \text{ unidades} = 675.875 \frac{kWh}{año} \approx 676 \frac{MWh}{año}$$

Finalizando, se compara estos resultados con la Generación energética estimada:

- Generación eléctrica x m²: **29 kWh/m²-año**
- Total de generación x m²: **105 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación Lo Prado | |
|-------------------------------|----------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Pisos | 15 pisos de altura |

Generación Eléctrica:

$$27,98 \frac{kWh}{m^2 \text{ año}} \times 1.000 \text{ m}^2 = 27.980 \frac{kWh}{\text{año}}$$

$$27.980 \frac{kWh}{\text{año}} \times 15 \text{ pisos} = 419.700 \frac{kWh}{\text{año}} \approx 420 \frac{MWh}{\text{año}}$$

Total de Generación Energética:

$$71,39 \frac{kWh}{m^2 \text{ año}} \times 1.000 \text{ m}^2 = 71.390 \frac{kWh}{\text{año}}$$

$$71.390 \frac{kWh}{\text{año}} \times 15 \text{ pisos} = 1.070.850 \frac{kWh}{\text{año}} \approx 1.071 \frac{MWh}{\text{año}}$$

Aporte del piso eólico ideal al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$420 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow 100\%$$

$$676 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(676 \frac{MWh}{\text{año}} \times 100\%\right)}{420 \frac{MWh}{\text{año}}} = \uparrow 100\% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.071 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow 100\%$$

$$676 \frac{MWh}{\text{año}} \rightarrow X\%$$

$$\frac{676 \frac{MWh}{\text{año}} \times 100\%}{1.071 \frac{MWh}{\text{año}}} = 63.12\% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

3.1.2 Aplicación sobre superficie de utilidad reducida, parámetros de cambio y el aporte a la matriz energética del edificio.

Considerando que el anterior modelo de diseño del nivel eólico no consideraba ciertos parámetros necesarios para el proceso de sustentación de su propia configuración, se estima un diseño estable implementado con la mayor cantidad posible de aerogeneradores.

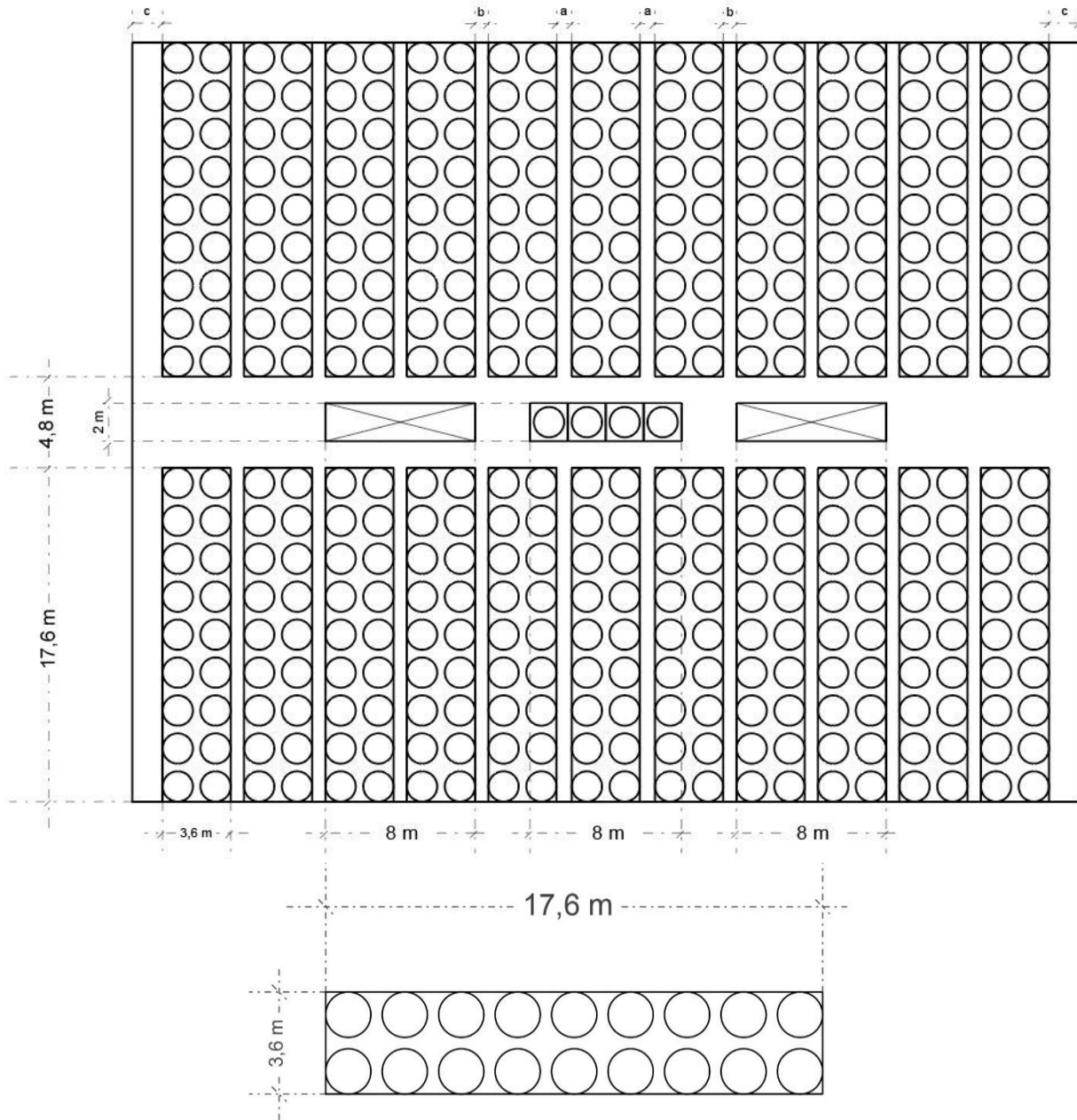


Figura 37: Planta con parámetros que sustentan la factibilidad superficial del nivel eólico. Elaboración propia.

Este nuevo modelo de nivel eólico considera los siguientes parámetros:

- Doble fila entre aerogeneradores, 22 módulos idénticos de distribución de los molinetes de viento de 18 unidades cada uno.
- Modulo central de aerogeneradores de 4 unidades.
- Circulaciones intermedias:
 - a: Circulaciones centrales entre módulos de aerogeneradores, 80 cm de ancho.
 - b: Circulaciones generales entre módulos de aerogeneradores, 70 cm de ancho.
 - c: Circulaciones laterales límites: 160 cm de ancho
- Áreas para las circulaciones verticales de 2 m x 8 m
- Eje principal de convergencia de circulaciones: 480 cm de ancho

Todas estas nuevas condiciones necesarias para la integración del piso eólico reducen el número de aerogenerador, siendo en este bajando a la cantidad de 400 unidades de molinetes de viento:

$$\textit{Total de unidades: (18 unidades x 22 modulos) + 4 unidades}$$

Total de unidades: 400 unidades

Mediante este nuevo modelo de diseño de nivel eólico, reemplaza desde los previos datos de las tres zonas de estudio y se determina el aporte energético que es capaz de entregar este nuevo modelo de aerogenerador:

Considerando la reducción de la superficie del nivel eólico, en medidas del desarrollo del ejercicio, la cantidad de aerogeneradores solo interfiere en el resultado final de la generación energética total suministrada por el nivel eólico, siendo el desarrollo previo de cada caso de estudio idéntico al ya hecho el punto anterior. Por lo que se consideran y reemplazan los siguientes datos respectivamente:

La Reina:

| Promedio Tres Años / Altura de 74 m (Edificio Country Club Plaza) | Casos | Promedio |
|---|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades 11,53 m/s – 16,15 m/s | 100 casos | 1.5 % |
| Medias intensidades / 5,77 m/s– 11,53 m/s | 3.908 casos | 58.4 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,77 m/s | 2.683 casos | 40.1 % |
| TOTAL | 6.691 casos | 100% |

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 475,46 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 475,46 kWh/año |

Mediante estos datos, el aporte energético de un aerogenerador WS – 2 City G dispuesto en las condiciones locales de la zona urbana de **La Reina** es:

El **1.5%** del promedio de las altas intensidades:

$$3.900 \frac{kWh}{año} \times 0,015 = 58,5 \frac{kWh}{año}$$

El **58,4%** del promedio de las medias intensidades:

$$\left(\frac{475,46 + 3.900}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,584 = 1.277,63 \frac{kWh}{año}$$

El **40,1%** del promedio de las bajas intensidades:

$$\left(\frac{120 + 475,46}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,401 = 119,39 \frac{kWh}{año}$$

Como resultado:

$$58,5 \frac{kWh}{año} + 1.277,63 \frac{kWh}{año} + 119,39 \frac{kWh}{año} = 1.455,52 \frac{kWh}{año} \text{ x aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores en el nivel eólico teórico de 1.000m²:

$$1.455,52 \frac{kWh}{año} \times 400 \text{ unidades} = 582.208 \frac{kWh}{año} \approx 582 \frac{MWh}{año}$$

Finalizando, se compara estos resultados con la Generación energética estimada:

- Generación eléctrica x m²: **27,98 kWh/m²-año**
- Total de generación x m²: **71,39 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación La Reina | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Altura | 74 metros / 24 pisos de altura |
| Generación Eléctrica | 671.520 kWh/año = 672 MWh/año |
| Total de Generación Energética | 1.713.360 kWh/año = 1.713 MWh/año |

Aporte del **piso eólico tipo 2**, integrado a los parámetros locales de la zona de **La Reina** al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$672 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$582 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(582 \frac{MWh}{año} \times 100\%\right)}{672 \frac{MWh}{año}} = 86,60 \% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.713 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$582 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{582 \frac{MWh}{año} \times 100\%}{1.713 \frac{MWh}{año}} = 33,97 \% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

Quinta Normal

| Promedio Tres Años / Altura de 68 m (Edificio Lourdes) | Casos | Promedio |
|--|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades 11,26 m/s – 15,78 m/s | 91 casos | 0.9 % |
| Medias intensidades / 5,63 m/s– 11,26 m/s | 2.306 casos | 23.5 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,63 m/s | 7.416 casos | 75.6 % |
| TOTAL | 9.813 casos | 100% |

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 443,50 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 443,50 kWh/año |

Mediante estos datos, el aporte energético de un aerogenerador WS – 2 City G dispuesto en las condiciones locales de la zona urbana de **Quinta Normal** es:

El **0,9%** del promedio de las altas intensidades:

$$3.900 \frac{kWh}{año} \times 0,009 = 35,10 \frac{kWh}{año}$$

El **23,5%** del promedio de las medias intensidades:

$$\left(\frac{443,50 + 3.900}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,235 = 510,36 \frac{kWh}{año}$$

El **75,6%** del promedio de las bajas intensidades:

$$\left(\frac{120 + 443,50}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,756 = 213,00 \frac{kWh}{año}$$

Como resultado:

$$35,10 \frac{kWh}{año} + 510,36 \frac{kWh}{año} + 213,00 \frac{kWh}{año} = 758,46 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores en el nivel eólico teórico de 1.000m²:

$$758,46 \frac{kWh}{año} \times 400 \text{ unidades} = 303.384 \frac{kWh}{año} \approx 303 \frac{MWh}{año}$$

Finalizando, se compara estos resultados con la Generación energética estimada:

- Generación eléctrica por m²: **27,98 kWh/m²-año**
- Total de generación por m²: **71,39 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación Quinta Normal | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Altura | 68 metros / 22 pisos de altura |
| Generación Eléctrica | 615.560 kWh/año = 616 MWh/año |
| Total de Generación Energética | 1.570.580 kWh/año = 1.571 MWh/año |

Aporte del **piso eólico tipo 2**, integrado a los parámetros locales de la zona de **Quinta Normal** al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$616 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$303 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(303 \frac{MWh}{año} \times 100\%\right)}{616 \frac{MWh}{año}} = 49,19\% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.571 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$303 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{303 \frac{MWh}{año} \times 100\%}{1.571 \frac{MWh}{año}} = 19,29\% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

Lo Prado

| Promedio Tres Años /Altura de 46 m (Edificio Torre Alameda) | Casos | Promedio |
|---|---------------------|-------------|
| Mayores intensidades / 10,01 – 14,03 m/s | 1.360 casos | 8.7 % |
| Medias intensidades / 5,01 – 10,01 m/s | 6.715 casos | 42.8 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,01 m/s | 7.599 casos | 48.5 % |
| TOTAL | 15.674 casos | 100% |

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 325,86 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 325,86 kWh/año |

Mediante estos datos, el aporte energético de un aerogenerador WS – 2 City G dispuesto en las condiciones locales de la zona urbana de **Lo Prado** es:

El **8,7%** del promedio de las altas intensidades:

$$3.900 \frac{kWh}{año} \times 0,087 = 339,30 \frac{kWh}{año}$$

El **42,8%** del promedio de las medias intensidades:

$$\left(\frac{325,86 + 3.900}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,428 = 904,33 \frac{kWh}{año}$$

El **48,5%** del promedio de las bajas intensidades:

$$\left(\frac{120 + 325,86}{2} \right) \frac{kWh}{año} \times 0,485 = 108,12 \frac{kWh}{año}$$

Como resultado:

$$339,30 \frac{kWh}{año} + 904,33 \frac{kWh}{año} + 108,12 \frac{kWh}{año} = 1.351,75 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores en el nivel eólico teórico de 1.000m²:

$$1.351,75 \frac{kWh}{año} \times 400 \text{ unidades} = 540.700 \frac{kWh}{año} \approx 541 \frac{MWh}{año}$$

Finalizando, se compara estos resultados con la Generación energética aproximada de este simulado considerando dos valores principales.

- Generación eléctrica x m²: **27,98 kWh/m²-año**
- Total de generación x m²: **71,39 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación Lo Prado | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Altura | 46 metros / 15 pisos de altura |
| Generación Eléctrica | 419.700 kWh/año = 420 MWh/año |
| Total de Generación Energética | 1.070.850 kWh/año = 1071 MWh/año |

Aporte del **piso eólico tipo 2**, integrado a los parámetros locales de la zona de **Lo Prado** al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$420 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$541 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(541 \frac{MWh}{año} \times 100\%\right)}{420 \frac{MWh}{año}} = \uparrow 100\% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.071 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$541 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{541 \frac{MWh}{año} \times 100\%}{1.071 \frac{MWh}{año}} = 50,51\% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

3.1.3 Aplicación de una cantidad reducida fija de aerogeneradores dispuestos en la superficie.

El tercer caso busca identificar el rendimiento del nivel eólico con un número reducido de aerogeneradores en comparación con los anteriores casos dispuestos en la planta, llevando a cabo el estudio desde 100 unidades de aerogeneradores WS – 2 City G.

Del mismo modo, se aplica el procedimiento que los ejercicios anteriores, analizando el Aporte Energético de este modelo de nivel eólico:

La Reina

| Promedio Tres Años / Altura de 74 m (Edificio Country Club Plaza) | Casos | Promedio |
|---|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades 11,53 m/s – 16,15 m/s | 100 casos | 1.5 % |
| Medias intensidades / 5,77 m/s– 11,53 m/s | 3.908 casos | 58.4 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,77 m/s | 2.683 casos | 40.1 % |
| TOTAL | 6.691 casos | 100% |

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 475,46 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 475, 46 kWh/año |

| Modelo WS – 2 City G | Promedio | Generación Energética Promedio |
|----------------------|----------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 1.5 % | 58,5 kWh/año |
| Medias intensidades | 58.4 % | 1.277,63 kWh/año |
| Bajas intensidades | 40.1 % | 119,39 kWh/año |

Como resultado:

$$119,39 \frac{kWh}{año} + 1.277,63 \frac{kWh}{año} + 58,5 \frac{kWh}{año} = 1.455,52 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores:

$$1.455,52 \frac{kWh}{año} \times 100 \text{ unidades} = 145.55 \frac{kWh}{año} \approx 146 \frac{MWh}{año}$$

- Generación eléctrica por m²: **27,98 kWh/m²-año**
- Total de generación por m²: **71,39 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación La Reina | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Altura | 74 metros / 24 pisos de altura |
| Generación Eléctrica | 671.520 kWh/año = 672 MWh/año |
| Total de Generación Energética | 1.713.360 kWh/año = 1.713 MWh/año |

Aporte del **nivel eólico de 100 unidades**, integrado a los parámetros locales de la zona de **La Reina** al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$672 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$146 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(146 \frac{MWh}{año} \times 100\%\right)}{672 \frac{MWh}{año}} = 21,8\% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.713 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$146 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{146 \frac{MWh}{año} \times 100\%}{1.713 \frac{MWh}{año}} = 8,5\% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

Quinta Normal

| Promedio Tres Años / Altura de 68 m (Edificio Lourdes) | Casos | Promedio |
|--|--------------------|-------------|
| Mayores intensidades 11,26 m/s – 15,78 m/s | 91 casos | 0.9 % |
| Medias intensidades / 5,63 m/s– 11,26 m/s | 2.306 casos | 23.5 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,63 m/s | 7.416 casos | 75.6 % |
| TOTAL | 9.813 casos | 100% |

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 443,50 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 443,50 kWh/año |

| Modelo WS – 2 City G | Promedio | Generación Energética Promedio |
|----------------------|----------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 0.9 % | 35,1 kWh/año |
| Medias intensidades | 23.5 % | 510,36 kWh/año |
| Bajas intensidades | 75.6 % | 213,00 kWh/año |

Como resultado:

$$35,10 \frac{kWh}{año} + 510,36 \frac{kWh}{año} + 213,00 \frac{kWh}{año} = 758,46 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores:

$$758,46 \frac{kWh}{año} \times 100 \text{ unidades} = 75.846 \frac{kWh}{año} \approx 76 \frac{MWh}{año}$$

- Generación eléctrica por m²: **27,98 kWh/m²-año**
- Total de generación por m²: **71,39 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación Quinta Normal | |
|------------------------------------|--|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Altura | 68 metros / 22 pisos de altura |
| Generación Eléctrica | 615.560 kWh/año = 616 MWh/año |
| Total de Generación Energética | 1.570.580 kWh/año = 1.571 MWh/año |

Aporte del **nivel eólico de 100 unidades**, integrado a los parámetros locales de la zona de **Quinta Normal** al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$616 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$76 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(76 \frac{MWh}{año} \times 100\%\right)}{616 \frac{MWh}{año}} = 12,3 \% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.571 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$76 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{76 \frac{MWh}{año} \times 100\%}{1.571 \frac{MWh}{año}} = 4,8 \% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

Lo Prado

| Promedio Tres Años /Altura de 46 m (Edificio Torre Alameda) | Casos | Promedio |
|---|---------------------|-------------|
| Mayores intensidades / 10,01 – 14,03 m/s | 1.360 casos | 8.7 % |
| Medias intensidades / 5,01 – 10,01 m/s | 6.715 casos | 42.8 % |
| Bajas intensidades / 3,00 – 5,01 m/s | 7.599 casos | 48.5 % |
| TOTAL | 15.674 casos | 100% |

| Modelo WS - 2 City G | Generación Energética |
|----------------------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 3.900 kWh/año |
| Medias intensidades | 325,86 kWh/año – 3.900 kWh/año |
| Bajas intensidades | 120 kWh/año – 325,86 kWh/año |

| Modelo WS – 2 City G | Promedio | Generación Energética Promedio |
|----------------------|----------|--------------------------------|
| Altas intensidades | 8.7 % | 339,30 kWh/año |
| Medias intensidades | 42.8 % | 904,33 kWh/año |
| Bajas intensidades | 48.5 % | 108,12 kWh/año |

Como resultado:

$$339,30 \frac{kWh}{año} + 904,33 \frac{kWh}{año} + 108,12 \frac{kWh}{año} = 1.351,75 \frac{kWh}{año} \times \text{aerogenerador}$$

Considerando el número de aerogeneradores:

$$1.351,75 \frac{kWh}{año} \times 100 \text{ unidades} = 135.175 \frac{kWh}{año} \approx 135 \frac{MWh}{año}$$

- Generación eléctrica por m2: **27,98 kWh/m²-año**
- Total de generación por m2: **71,39 kWh/m²-año**

| Modelo de Simulación Lo Prado | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Superficie | 1.000 m ² |
| Altura | 46 metros / 15 pisos de altura |
| Generación Eléctrica | 419.700 kWh/año = 420 MWh/año |
| Total de Generación Energética | 1.070.850 kWh/año = 1.071 MWh/año |

Aporte del **nivel eólico de 100 unidades**, integrado a los parámetros locales de la zona de **Lo Prado** al Ahorro Energético del Edificio:

Aportaciones sobre la Generación Eléctrica:

$$420 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$135 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{\left(135 \frac{MWh}{año} \times 100\%\right)}{420 \frac{MWh}{año}} = 32,2 \% \text{ de Aportación al Ahorro de Generación Eléctrica}$$

Aportaciones sobre el Total de Generación Energética:

$$1.071 \frac{MWh}{año} \rightarrow 100\%$$

$$135 \frac{MWh}{año} \rightarrow X\%$$

$$\frac{135 \frac{MWh}{año} \times 100\%}{1.071 \frac{MWh}{año}} = 12,6 \% \text{ de Aportación al Ahorro Total de la Matriz Energética}$$

3.2 Gráfico Resumen de los Resultados para las tres aplicaciones de estudio

Caso 01. Ejercicio aplicado en planta teórica de 500 unidades de aerogeneradores.

| | Aporte al Ahorro Energético del Edificio. | Aporte al Total de Generación Energética del Edificio |
|-----------------------|---|---|
| Caso La Reina | ↑ 100,0 % | 42,5 % |
| Caso Quinta Normal | 63,5 % | 24,12 % |
| Caso Lo Prado: | ↑ 100,0 % | 63,1 % |

Caso 02. Ejercicio aplicado en planta eólica de 400 unidades de aerogeneradores.

| | Aporte al Ahorro Energético del Edificio. | Aporte al Total de Generación Energética del Edificio |
|-----------------------|---|---|
| Caso La Reina | 86,6 % | 33,9 % |
| Caso Quinta Normal | 49,2 % | 19,29 % |
| Caso Lo Prado: | ↑ 100,0 % | 50,5 % |

Caso 03. Ejercicio aplicado en planta eólica de 100 unidades de aerogeneradores.

| | Aporte al Ahorro Energético del Edificio. | Aporte al Total de Generación Energética del Edificio |
|-----------------------|---|---|
| Caso La Reina | 21,7 % | 8,5 % |
| Caso Quinta Normal | 12,3 % | 4,8 % |
| Caso Lo Prado: | 32,2 % | 12,6 % |

3.3 Análisis de Resultados

3.3.1 Casos de Estudio

En el primer caso, la aplicación de un nivel eólico teórico sobre la superficie del edificio fue el primer acercamiento para visualizar el comportamiento más favorable que puede realizar la configuración de aerogeneradores de eje vertical sobre las condiciones meteorológicas existentes en Santiago.

El segundo caso representa la superficie óptima para la integración de la mayor cantidad de modelos de generación energética vertical, contemplando los parámetros primordiales para una correcta labor de mantención y circulación por el paso del nivel eólico.

El registro de los resultados de los modelos contribuye con un alto porcentaje de aporte a la matriz energética del edificio, proyectando una favorable integración del modelo eólico sobre los edificios en altura. Pese a esta, el resultante del factor peso corresponde a una problemática para su implementación.

| | Unidades | Peso Total | Distribución de Peso por m2 |
|---------------------|--------------|------------|-----------------------------|
| Primer Caso | 500 unidades | 85.000 kg | 85 kg/m2 |
| Segundo Caso | 400 unidades | 68.000 kg | 68 kg/m2 |

| Modelo WS - 2 City G | |
|--|-------|
| Factor Arranque (kWh/año vs.kg) | 0.70 |
| Factor Nominal (kWh/año vs.kg) | 22.94 |

| Primer Caso 85.000 kg | La Reina 727.760 kWh/año | Quinta Normal 379.230 kWh/año | Lo Prado 675.875 kWh/año |
|--|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Factor Generación Energética (kWh/año) vs peso (kg) | 8.56 | 4.46 | 7.95 |

| Segundo Caso 68.000 kg | La Reina 582.308 kWh/año | Quinta Normal 303.384 kWh/año | Lo Prado 540.700 kWh/año |
|--|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Factor Generación Energética (kWh/año) vs peso (kg) | 8.56 | 4.46 | 7.95 |

Tablas 00: Resultantes del Factor "Generación energética / peso". Elaboración propia

Los resultados locales de la generación de aportaciones energéticas evidencian como el Factor de “Generación Energética / peso” fue reducido por las condiciones meteorológicas de Santiago, reduciendo su eficiencia hasta 5 veces por debajo de los resultados arrojados por el funcionamiento del modelo eólico WS-2 City G.

El factor peso tiene una considerable relevancia en la configuración de estos niveles eólicos, ya que, tienen que ser implementados prioritariamente en el nivel más alto del edificio, procurando mayores velocidades de viento, esto condiciona un preciso y elaborado cálculo estructural capaz de soportar las cargas de compresión de tal magnitud y las cargas de flexión necesaria para evitar peligros relacionados al comportamiento sísmico de nuestro país.

Desde el Tercer Caso, pese a tener el mismo Factor de “Generación Energética / peso” que los anteriores, reduce el número total de dispositivos eólicos, desprendiendo el inconveniente del peso en la resolución del ejercicio, pero reduciendo considerablemente los resultados favorables sobre la aportación a la matriz energética del edificio.

Implementación Eólica en Santiago de Chile.

Las condiciones locales del entorno de cada zona de estudio modificaron el comportamiento eólico sobre el terreno, evidenciando como las condiciones dispuestas en la Precordillera aceleran las velocidades del viento, comparada con los resultados dados en las comunas del Valle de la ciudad. Pese a este comportamiento de aceleración resultante de los cambios de presiones existentes en la precordillera, se evidencia como el aporte de la matriz energética no solo dependió del factor de velocidad a mayor altura.

| Zona Geográfica Casos | Altitud | Velocidad Promedio Sobre 10 m de altura | Velocidades Sobre altura del caso |
|---|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Precordillera La Reina | 650 m.s.n.m./10 m sobre el suelo | 2,86 m/s | A 74 m de altura 7,02 m/s |
| Valle Quinta Normal | 520 m.s.n.m./10 m sobre el suelo | 1,93 m/s | A 68 m de altura 5,37 m/s |
| Valle Lo Prado | 490 m.s.n.m./10 m sobre el suelo | 2,81 m/s | A 46 m de altura: 6,20 m/s |

Tabla 13: Comparativa entre condición geográfica y velocidad del viento. Elaboración propia

La condición de rugosidad del terreno interfiere considerablemente en las velocidades del viento, generando turbulencia y aperturas en el comportamiento laminar del viento, esto provoca que la propiedad de velocidad a mayor altura no

sea el factor de mayor influencia en la aportación energética. Tras los resultados, se puede evidenciar que el factor de mayor influencia es el requerimiento de superficie a suministrar energía por parte de la integración del nivel eólico.

| Áreas Geográficas | Superficie | Generación Energética | Aportación al Ahorro de la Matriz Energética | Aportación al Ahorro de la Matriz Total |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------|--|---|
| La Reina | 24.000 m ² | 582 MWh/año | 86,6 % | 34,0 % |
| Quinta Normal | 22.000 m ² | 303 MWh/año | 49,2 % | 19,3 % |
| Lo Prado | 15.000 m² | 541 MWh/año | Sobre 100,00 % | 50,5 % |

En la Reina comuna precordillerana, pese a que sus condiciones meteorológicas son más favorables para obtener mayores velocidades del viento, y por lo tanto, una mayor generación energética, evidenció aportaciones que no fueron superiores a las obtenidas en el valle de la ciudad, resultado que fue favorecido por el factor de tener menor superficie cuadrada, lo que favoreció en la comparativa de aportaciones energéticas totales del edificio.

| Áreas Geográficas | Generación Energética | Aportación al Ahorro de la Matriz de Energía | Aportación al Ahorro de la Matriz Total |
|----------------------|-----------------------|--|---|
| La Reina | 146 MWh/año | 21,7 % | 8,5 % |
| Quinta Normal | 76 MWh/año | 12,3 % | 4,8 % |
| Lo Prado | 135 MWh/año | 32,2 % | 12,6 % |

Los resultados obtenidos respecto al aprovechamiento de viento en la ciudad, a partir del caso más desfavorable de la integración de aerogeneradores puede llegar a representar un 30 % sobre el total de la Matriz de energía del edificio residencial.

CONCLUSIONES

Respecto a la hipótesis de investigación:

Se sostiene que el avance y el desarrollo de las tecnologías actuales destinadas a la captación del viento en altura son posible incorporarlo en los edificios de Santiago generando altos aportes energéticos.

Los resultados de la investigación permitieron comprobar la hipótesis, a partir de estos primeros análisis y evaluación de tres casos de estudio emplazados en diferentes comunas de la ciudad. Fue posible establecer la viabilidad de integrar un piso eólico en los edificios de Santiago.

Tras estos nueve experimentos, es posible corroborar que en las comunas donde se realizó el estudio contemplan diferentes gradientes de velocidades e intensidades eólicas que inciden en las alturas, corroborando que la acción eólica es diferente en distintas áreas de la misma ciudad, y si estas no son debidamente estudiadas resultarán en reducidas aportaciones energéticas al edificio en altura.

Lo anterior es parte fundamental en el resultado de las aportaciones energéticas, dado que, considerando el caso de estudio más desfavorable, los aportes eólicos sobre la matriz de energía del edificio pueden representar un 20% a 30% del total, como también puede disminuir su valor a un 10% en otra comuna. Esto indica que al integrar la generación eólica en la edificación, es fundamental realizar una investigación previa sobre el comportamiento del viento local.

En vista de los resultados, se puede concluir como el factor de la altura y las velocidades locales del territorio no son los únicos que inciden de manera directa en el resultado de las aportaciones energéticas en el edificio, otro factor influyente es el de la superficie cuadrada a la que el nivel eólico tiene que suministrar energía.

Respecto al objetivo 1:

Abarcar los principios físicos que caracterizan la acción de viento sobre Santiago.

Se puede concluir que, tras realizar la revisión bibliográfica y conformar una muestra de datos meteorológicos para el análisis del comportamiento eólico sobre Santiago, como la topografía urbana de la ciudad altera el flujo eólico, comprendiendo velocidades mayormente bajas durante gran parte de los tres años con los que se recopiló el muestreo de datos.

Estas velocidades, tomadas 10 metros sobre el terreno, no logran ser lo suficientemente altas para la captación de energía eólica, por lo que es prioridad elevar el estudio eólico a las alturas de la ciudad, donde la rugosidad urbana no

forme mayores incidencias sobre el comportamiento laminar de la corriente del viento.

Fue posible identificar como la topografía natural del terreno donde se emplazaban las estaciones meteorológica con las que se realizó el muestreo influyen en las velocidades del viento, observando mayores casos de altas velocidades sobre la precordillera de la ciudad, la que cumple con el fenómeno del intercambio de presiones entre el Valle y la Cordillera.

Conforme a las estimaciones de densificación urbana, es posible concluir como mediante la proliferación de los modelos de vivienda en altura aproximará a Santiago de un contacto que favorecerá los análisis eólicos para la implementación de las tecnologías eólicas en altura.

Respecto al objetivo 2:

Identificar el estado tecnológico actual de los aerogeneradores desde sus aportaciones a la generación de energía sustentable.

Tras la exhaustiva revisión bibliográfica fue posible establecer el modelo energético más favorable para la implementación en territorio urbano, siendo el modelo de captación de eje vertical, el cual en su subclasificación predominó el modelo eólico Saviour, por cumplir con características como: ligereza, captación energética a bajas velocidades y multidireccionalidad en la captación eólica, favoreciendo la condición de bajas velocidades por la rugosidad urbana y el factor de alineación a la direccionalidad de las velocidad locales.

Mediante múltiples comparativas de tablas gráficas fue posible seleccionar el modelo Saviour más eficiente al interior de un catálogo de 14 aerogeneradores de eje vertical, estos seleccionados principalmente desde su factores en relación con la generación energética v/s su superficie de barrido y la generación energética v/s su peso, cumpliendo con los requerimientos más favorables para su implementación en las alturas el modelo WS-2City G.

Respecto al objetivo 3:

Analizar la participación de los sistemas eólicos en el aporte al Ahorro energético del edificio emplazado en las condiciones eólicas de Santiago.

Se logró calcular el ahorro a la aportación energética de los edificios mediante la exhaustiva verificación de cálculos de fiabilidad suministrados desde múltiples normativas Nacionales e Internacionales junto con la factibilidad de múltiples tesis de ingeniería, relacionadas a las constantes de rugosidad del suelo y la estimación de velocidades eólicas a partir de la mecánica de fluido relacionadas al logaritmo neperiano.

Se logró estimar la generación energética por metro cuadrado anual sobre la ciudad de Santiago mediante el último informe energético de los hogares en Chile, el cual suministro de información fundamental para el desarrollo de la comparativa y la aportación energética.

A partir de la simulación metodológica de un volumen en condiciones territoriales de las tres comunas de Santiago aplicando en el las formulas previamente verificadas, se puede concluir que el caso del terreno en Quinta Normal es la zona más desfavorable para implementación de la energía eólica, cumpliendo en todos los experimentos con los valores menores.

La zona más favorable es el terreno de Lo Prado, que pese a que por principios físicos topográficos no posee las velocidades más altas, distribuye las aportación de forma más completa en el edificio ya que presentaba una menor cantidad de superficie cuadrada.

Cabe señalar que los primeros seis experimentos presentan la complejidad del factor peso sobre el nivel eólico en altura, proporcionando de valores capaces de representar un problema estructural para la configuración de un nivel eólico en altura.

Dentro de esta investigación se evidencian que existen más parámetros que influyen en su resultado, como la viabilidad económica de los costos que representan la implementación y mantención de esta tecnología en el país, las curvas de consumo y de aporte energético, y la interferencia de la variable sísmica, por lo que serían líneas interesantes por las que desarrollar en futuras investigaciones. Ya sea de modo experimental inicialmente o a modo de lograr un *net-zero building* integrándolo con otros aprovechamientos de energías naturales.

Finalmente, la investigación mixta fue parte de un crecimiento personal en cuanto a la comprensión y el fortalecimiento de explorar la rama de las energías renovables no convencionales, alentando al seguimiento de comprender el modo más favorable para la implementación de la generación eólica sobre los edificios en altura.

BIBLIOGRAFÍA

- Baptista, D., Carvalho, J.P. y Morgado-Días, F. (2018). Comparing different solutions for forecasting the energy production of wind farm. *Neural comput y applic* (32), 15825-15833 <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3628-5>
- Bustamante, C., Jans, M. y Higuera, E. (2017). El comportamiento del viento en la morfología urbana y su incidencia en el uso estacional del espacio público, Punta Arenas, Chile. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad]*, (15), pp.28-33. <https://doi.org/10.4206/aus.2014.n15-06>
- Bastianon, R.A. (2018) Panorama actual y global de la energía eólica y sus relaciones ambientales y sociales. *Ciencia e Investigación*, 68(1) [3- Bastianon-cei68-1-4.pdf \(aargentinapciencias.org\)](https://doi.org/10.1007/s00521-018-3628-5)
- Cámara Chilena de la Construcción. (2019) Consideraciones para el desarrollo del potencial de densificación en la ciudad de Santiago. *Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- Cancini, J.M. y Cei, C. (2009) Edificios en altura – Acción del viento. *Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Carrera de Arquitectura. Universidad de Buenos Aires*, pp.1-12
- Carmona Araos, F. (2010) Estimación de la Energía Consumida en la Construcción de Obra Gruesa de 3 Edificios de Altura Media en la Ciudad de Santiago de Chile. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103813>
- Castillo, J.P., Mafiolis, C.D., Escobar, E.C., Barrientos, A.G. y Segura, R.V. (2015) Design, construction, and implementation of a low cost solar-wind hybrid energy system. *IEEE Latin America Transactions*, 13(10), 3304-3309. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7387235>
- Castro Rossel, A. (2018) Modelación numérica de un evento de viento Raco en Chile central y su sensibilidad a la topografía. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/169848>
- CNE. Energía Abierta. (Octubre, 2021). Reporte mensual. ERNC. *Comisión Nacional de Energía. Ministerio de Energía. Gobierno de Chile*, 62. [RMensual ERNC v202110.pdf \(cne.cl\)](https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/169848)
- Dirección Meteorológica de Chile – Servicios Climáticos. *DGAC Chile Dirección General de Aeronáutica Civil*
- Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. (1993) INFORME FINAL. Proyecto EOLO CORFO pp.2-7

- Esturillo, J. (21 de Febrero, 2021). Disponibilidad diaria de plantas eólicas llegan a un tercio y complejo ligado a grupo Claro bate récord: 47% *El Mercurio*, B10.
- Fernandez, P. (1993) Energía Eólica. *Servicio Publicaciones E.T.S.I. Industriales y T. Avda. de los Castros*, ISBN 84-8102-019-2.
- Franklyn, J. (2012). Estimación de la velocidad del viento a diferentes alturas usando el modelo WRF. Subdirección de Meteorología. *IDEAM [Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales]*. [Modelamiento.pdf \(ideam.gov.co\)](#)
- Gomez-Saavedra, C.A., Lopez, A.R., Sosa, J.M., Juárez, M.A. y Vazquez-Guzman, G. (2020) Harmonic emulator design based on a back to back converter for an eolic system. *IEEE International autumn meeting on power, Electronics and Computing (ROPEC)*, pp.1-6.
<https://doi.org/10.1109/ROPEC50909.2020.9258688>
- Guevara, J. (2013). Cuantificación del perfil del viento hasta 100m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. *Terra*. 29(46), 86-101. Recuperado de:http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892013000200006&lng=es&tlng=es. ISSN 1012-7089
- Green Technology (Enero, 2017) Tehnologiile și dezvoltarea industrială a eolieneilor. Turbine Eoliene / Wind Energy. *Green Space Technology. Progresiv Wind Turbine. Tehnologiile și dezvoltarea industrială a eolieneilor. – Green Space Technology (wordpress.com)*
- Green Technology (Agosto, 2015) Soliditatea turbinei eoliene – Vocabular și terminologii. *Green Space Technology. Progresiv Wind Turbine. Tehnologiile și dezvoltarea industrială a eolieneilor. – Green Space Technology (wordpress.com)*
- Henestroza, O. R. (2009). Centrales eólicas en el Istmo de Tehuantepec; su impacto ambiental y socioeconómico. *Elementos: Ciencia y cultura*, 16(74), pp.39-44. [Redalyc.Centrales eólicas en el Istmo de Tehuantepec; su impacto ambiental y socioeconómico](#)
- Marais, G. (2021, 6 de enero) Una breve historia de la energía eólica. *WordPress.org* [Quién descubrió la energía eólica? La historia de la energía eólica | Guinguette Marais Poitevin \(guinguette-maraispoitevin.com\)](#)
- Meseguer, J. y Franchini, S. (2014). La acción del viento sobre edificios altos. *Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, ISSN 0034-8619 (3552) pp.59-64
- Ministerio de Economía; Subsecretaría de Economía. (2013, 22 de octubre). Ley 20257. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN. Obtenido de [Ley-20257 01-ABR-2008 MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y](#)

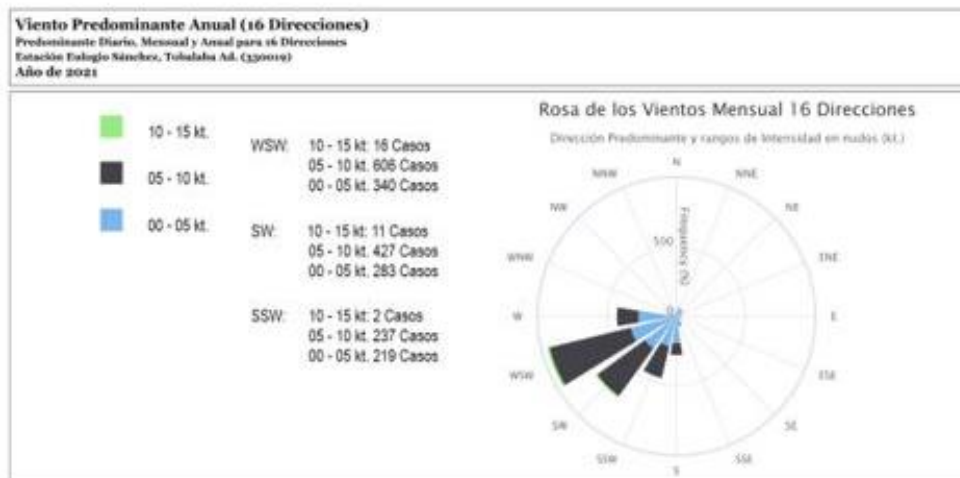
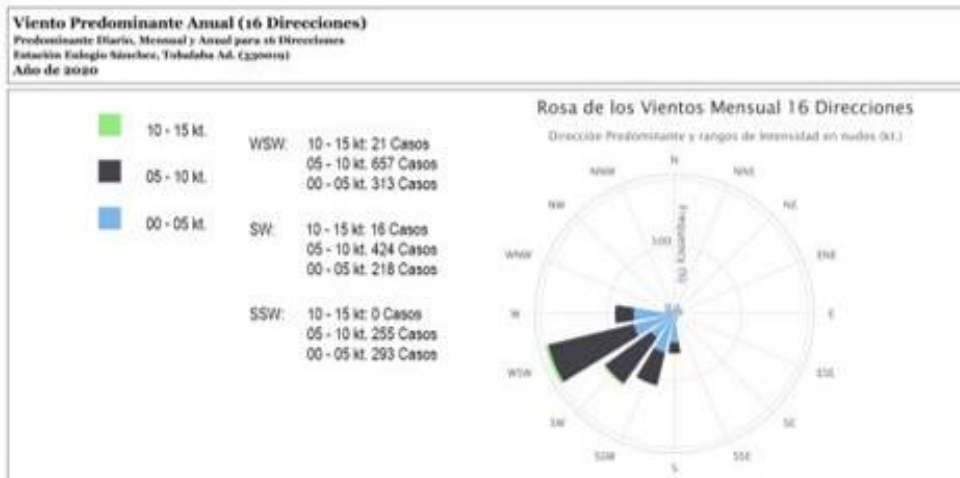
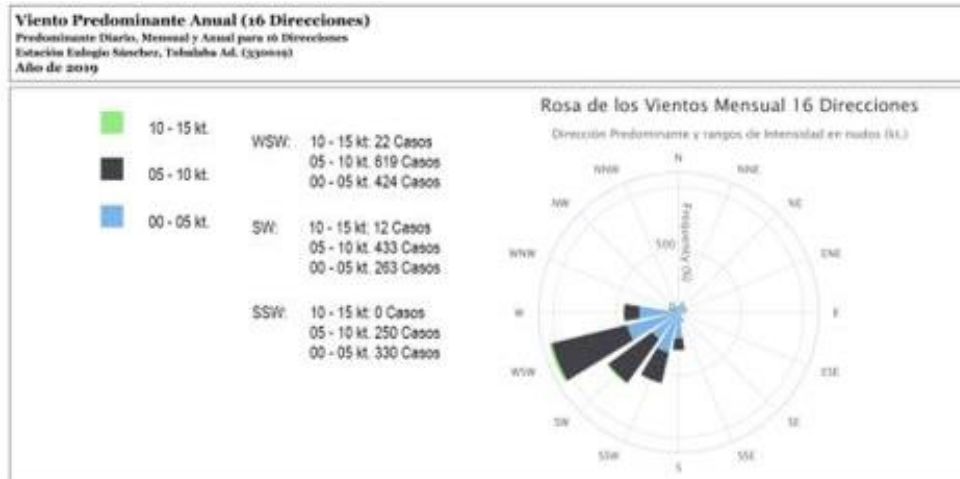
RECONSTRUCCION, SUBSECRETARIA DE ECONOMIA, FOMENTO Y RECONSTRUCCION - Ley Chile - Biblioteca del Congreso Nacional (bcn.cl)

- Ministerio de Energía. (2013, 22 de octubre). Ley 20.698. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de [Ley-20698 22-OCT-2013 MINISTERIO DE ENERGÍA - Ley Chile - Biblioteca del Congreso Nacional \(bcn.cl\)](#)
- Ministerio de Obras Públicas. (1971, 8 de noviembre). NCh 432.Of71, Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones. Norma Chilena Oficial.
- Ministerio de Obras Públicas. (1977, 10 de octubre) NCh 1079.Of77, Arquitectura y Construcción – Zonificación climático ambiental para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. Norma Chilena Oficial.
- Moragues, J.A. y Rapallini, A.T. (2004). Aspectos ambientales de la energía eólica. *Documento del Inst. Arg. de la Energía. Buenos Aires*, pp.1-10.
- Moreno, J., Mocarquer, S. y Rudnick, H. (2006) Generación Eólica en Chile: Análisis del Entorno y Perspectivas de Desarrollo. *IEEE Andescos, Systep Ingeniería y Diseños*.
<http://www.systep.cl/documents/Paper%20Generacion%20Eolica.pdf>
- Muñoz, C., Fortea, I., Albareda, A. (2019) Evaluación de las Acciones Eólicas Transversales en Edificios de más de 50m mediante Métodos Analíticos. *Informes de la Construcción*, 71(554): e290. <https://doi.org/10.3989/ic.62723>
- Ossandón Tapia, R. (2008). Determinación de la Acción del Viento Sobre las Estructuras en Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103268>
- Romero Ramos, N. (2011). Consumo de Energía a Nivel Residencial en Chile y Análisis de Eficiencia Energética en Calefacción. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104235>
- Vergara, J. y Asenjo D. (2019) Arquitectura y densidad. Controversias en torno a los edificios de altura: el caso de Santiago de Chile. *Revista de Arquitectura* Vol.24, N°36, ISSN 0716-8772 pp.32-39
- Yu-Hsuan, J., Chih-Yung, W. Zhengtong, L., An-Shik, Y. (2021) Impact of urban morphology on improving urban wind energy potential for generic high-rise building arrays. *Applied Energy*. Vol299, 117304. ISSN 0306—2619
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117304>

ANEXOS.

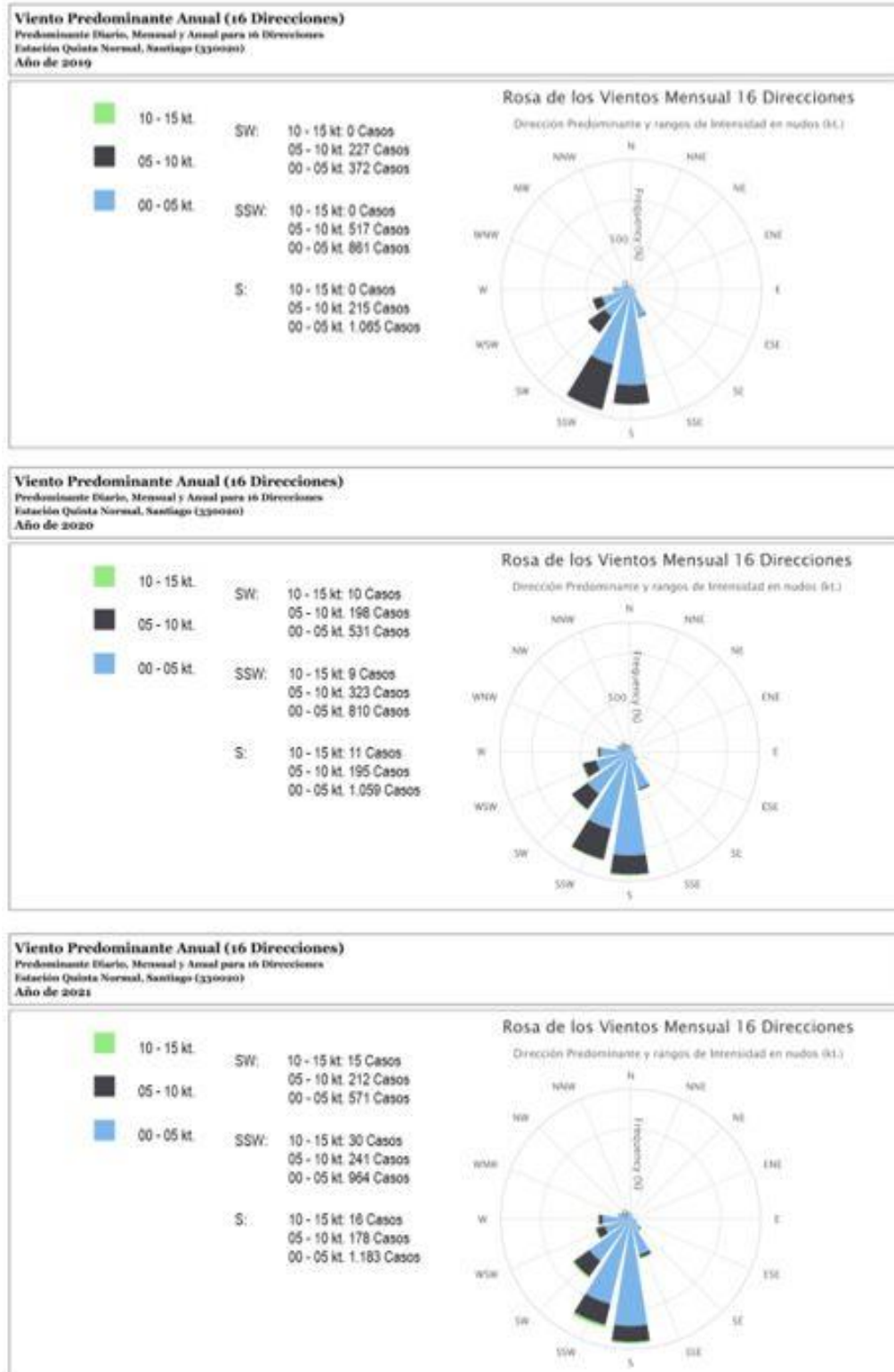
Anexo 01.

Rosa de los Vientos de la estación Eulogio Sánchez en los meses de Enero a Diciembre en los años 2019, 2020 y 2021. Información extraída desde: la Dirección Meteorológica de Chile



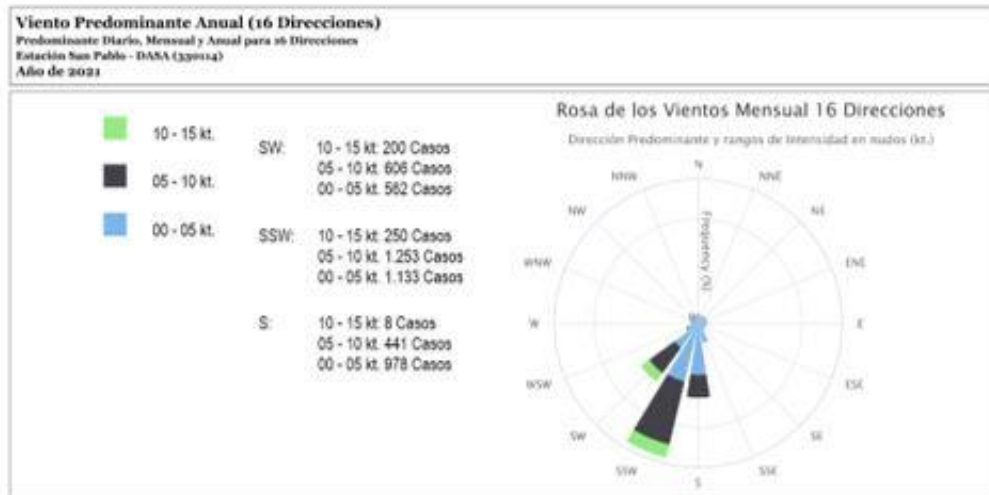
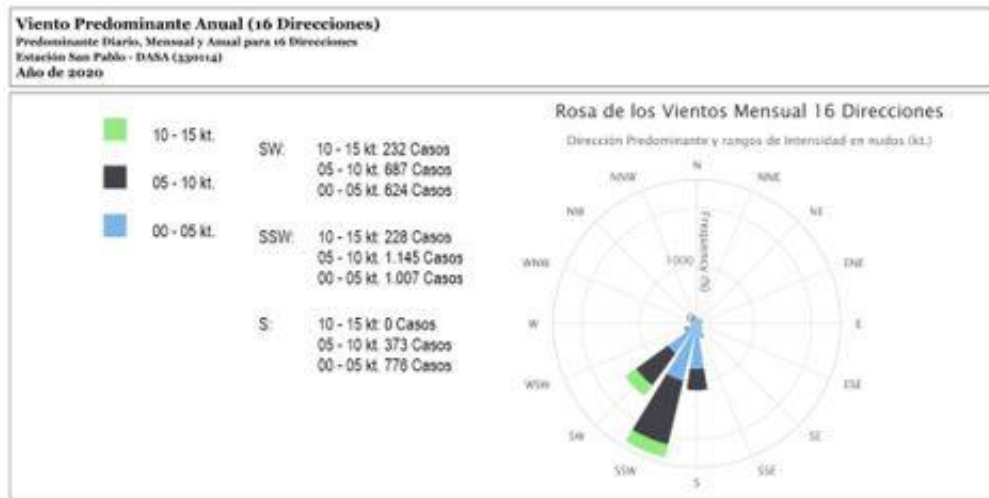
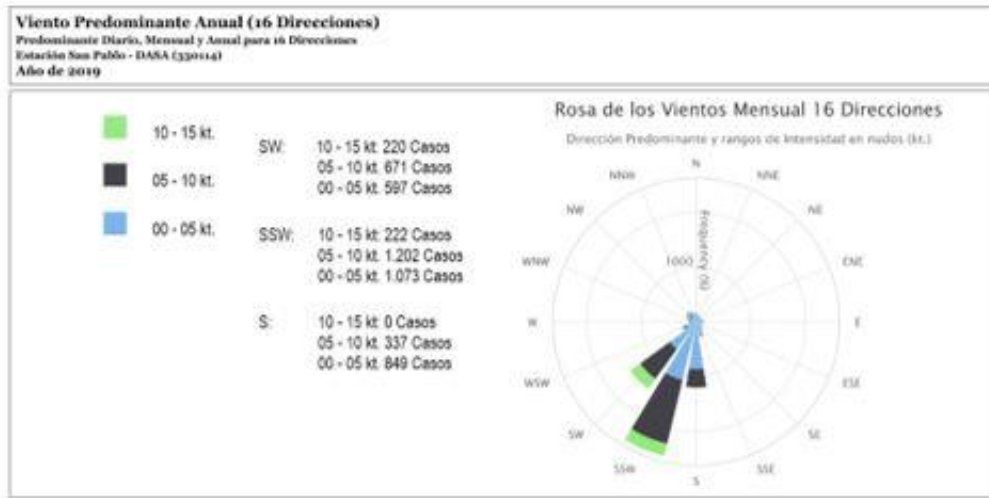
Anexo 02.

Rosa de los Vientos de la estación Eulogio Sánchez en los meses de Enero a Diciembre en los años 2019, 2020 y 2021. Información extraída desde: la Dirección Meteorológica de Chile



Anexo 03.

Rosa de los Vientos de la estación San Pablo en los meses de Enero a Diciembre en los años 2019, 2020 y 2021. Información extraída desde: la Dirección Meteorológica de Chile



Anexo 04.

Ficha técnica Modelos Eólicos Savonius Modelo WS-0,30 A8-08 / Modelo WS-0,30 B PLUS 29-N / Modelo WS-0,30 B PLUS / Modelo WS-0,30 C Disponible en: [Oy Windside Production Ltd](http://www.windside.com)

WS-030

Modelo WS-0,30 A8-08

WINDSIDE WS-0,30A8-08 dimensions and technical info

WINDSIDE WS-0,30A8-08 technical info:
 Weight: 45 kg
 Diameter: 38 in (965 mm) in outer connection
 Height: 120 in battery charging mode (3030 mm) / 300 in battery charging mode (7620 mm)
 Finishing of the turbine with 16 in of 304/316 L stainless steel
 Mounting hole: side hole to the middle point of the rotor (connected to 3/4 in from the generator) 100 kg
 The weight of the rotor depends on the length of the rotor and on the length of the torque arm
 WS-0,30A8-08 max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30A8-08 max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30A8-08 max rotor Max 2000 gpm

Materials:
 -Vortex: 304/316 steel
 -Fastening: aluminium
 -Shaft: 4020/2015 non-corrosion coated steel
 -Generator and Generator Grit-Flaps: 16 galvanized steel or marine grade aluminium
 -All bolts stainless steel in the generator (A4, A2 or 316)

Notes of Windside wind turbines:
 -No need to stop or service during storm
 -Protective case: without opening in storm
 -No need to be turned to the wind direction
 -Soundless: 0 dB (measured in 2 meters distance from the rotor)
 -Maintenance: free, fast and handy
 -Long lifespan
 -Minimum need of maintenance, only lubrication
 -Safe to people, animals and nature

windside
BY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© wind and oceanic
 info@windside.com
 www.windside.com

Tel: +558 508 500 700
 Fax: +558 508 500 700
 Mobile: +558 508 500 200

The Manufacturer reserves all rights to all modifications without further notice

Modelo WS-0,30 B PLUS 29-N

WINDSIDE WS-0,30B PLUS-29N dimensions and technical info

WINDSIDE WS-0,30B PLUS-29N technical info:
 Weight: 45 kg
 Diameter: 38 in (965 mm) in outer connection
 Height: 120 in battery charging mode (3030 mm) / 300 in battery charging mode (7620 mm)
 Finishing of the turbine with 16 in of 304/316 L stainless steel
 Mounting hole: side hole to the middle point of the rotor (connected to 3/4 in from the generator) 100 kg
 The weight of the rotor depends on the length of the rotor and on the length of the torque arm
 WS-0,30B PLUS (29N) max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30B PLUS (29N) max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30B PLUS (29N) max rotor Max 2000 gpm

Materials:
 -Vortex: 304/316 steel
 -Fastening: aluminium
 -Shaft: 4020/2015 non-corrosion coated steel
 -Generator and Generator Grit-Flaps: 16 galvanized steel or marine grade aluminium
 -All bolts stainless steel in the generator (A4, A2 or 316)

Notes of Windside wind turbines:
 -No need to stop or service during storm
 -Protective case: without opening in storm
 -No need to be turned to the wind direction
 -Soundless: 0 dB (measured in 2 meters distance from the rotor)
 -Maintenance: free, fast and handy
 -Long lifespan
 -Minimum need of maintenance, only lubrication
 -Safe to people, animals and nature

windside
BY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© wind and oceanic
 info@windside.com
 www.windside.com

Tel: +558 508 500 700
 Fax: +558 508 500 700
 Mobile: +558 508 500 200

The Manufacturer reserves all rights to all modifications without further notice

Modelo WS-0,30 B PLUS

WINDSIDE WS-0,30B PLUS dimensions and technical info

WINDSIDE WS-0,30B PLUS technical info:
 Weight: 45 kg
 Diameter: 38 in (965 mm) in outer connection
 Height: 120 in battery charging mode (3030 mm) / 300 in battery charging mode (7620 mm)
 Finishing of the turbine with 16 in of 304/316 L stainless steel
 Mounting hole: side hole to the middle point of the rotor (connected to 3/4 in from the generator) 100 kg
 The weight of the rotor depends on the length of the rotor and on the length of the torque arm
 WS-0,30B PLUS max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30B PLUS max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30B PLUS max rotor Max 2000 gpm

Materials:
 -Vortex: 304/316 steel
 -Fastening: aluminium
 -Shaft: 4020/2015 non-corrosion coated steel
 -Generator and Generator Grit-Flaps: 16 galvanized steel or marine grade aluminium
 -All bolts stainless steel in the generator (A4, A2 or 316)

Notes of Windside wind turbines:
 -No need to stop or service during storm
 -Protective case: without opening in storm
 -No need to be turned to the wind direction
 -Soundless: 0 dB (measured in 2 meters distance from the rotor)
 -Maintenance: free, fast and handy
 -Long lifespan
 -Minimum need of maintenance, only lubrication
 -Safe to people, animals and nature

windside
BY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© wind and oceanic
 info@windside.com
 www.windside.com

Tel: +558 508 500 700
 Fax: +558 508 500 700
 Mobile: +558 508 500 200

The Manufacturer reserves all rights to all modifications without further notice

Modelo WS-0,30 C

WINDSIDE WS-0,30C dimensions and technical info

WINDSIDE WS-0,30C technical info:
 Weight: 45 kg
 Diameter: 38 in (965 mm) in outer connection
 Height: 120 in battery charging mode (3030 mm) / 300 in battery charging mode (7620 mm)
 Finishing of the turbine with 16 in of 304/316 L stainless steel
 Mounting hole: side hole to the middle point of the rotor (connected to 3/4 in from the generator) 100 kg
 The weight of the rotor depends on the length of the rotor and on the length of the torque arm
 WS-0,30C max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30C max rotor Max 2000 gpm
 WS-0,30C max rotor Max 2000 gpm

Materials:
 -Vortex: 304/316 steel
 -Fastening: aluminium
 -Shaft: 4020/2015 non-corrosion coated steel
 -Generator and Generator Grit-Flaps: 16 galvanized steel or marine grade aluminium
 -All bolts stainless steel in the generator (A4, A2 or 316)

Notes of Windside wind turbines:
 -No need to stop or service during storm
 -Protective case: without opening in storm
 -No need to be turned to the wind direction
 -Soundless: 0 dB (measured in 2 meters distance from the rotor)
 -Maintenance: free, fast and handy
 -Long lifespan
 -Minimum need of maintenance, only lubrication
 -Safe to people, animals and nature

windside
BY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© wind and oceanic
 info@windside.com
 www.windside.com

Tel: +558 508 500 700
 Fax: +558 508 500 700
 Mobile: +558 508 500 200

The Manufacturer reserves all rights to all modifications without further notice

Anexo 05.

Ficha técnica Modelos Eólicos Savonius Modelo WS-0,60 A 12 / Modelo WS-0,60 City. Disponible en: www.windside.com

WS-0,60

Modelo WS-0,60 A 12

Modelo WS-0,60 City

WINDSIDE WS-0,60City dimensions and technical info

WINDSIDE WS-0,60City technical info:

- Weight: 12 kg
- Dimensions: 300 x 300 x 300 mm
- Material: 100% stainless steel
- Wind speed: 10 m/s
- Power: 100 W
- Wind direction: 180°
- Wind speed: 10 m/s
- Power: 100 W
- Wind direction: 180°

WINDSIDE

WINDSIDE PRODUCTION LTD

11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue

WINDSIDE WS-0,60A12 dimensions and technical info

WINDSIDE WS-0,60A12 technical info:

- Weight: 12 kg
- Dimensions: 300 x 300 x 300 mm
- Material: 100% stainless steel
- Wind speed: 10 m/s
- Power: 100 W
- Wind direction: 180°
- Wind speed: 10 m/s
- Power: 100 W
- Wind direction: 180°

WINDSIDE

WINDSIDE PRODUCTION LTD

11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue, 11 Windside Avenue

Anexo 06.

Ficha técnica Modelos Eólicos Savonius Modelo WS-2 AK / Modelo WS-2 B / Modelo WS-2 City / Modelo WS-2 City Disponible en: Oy Windside Production Ltd

WS-2

Modelo WS-2 AK

WINDSIDE WS-2AK dimensions and technical info

WINDSIDE WS-2AK technical info:
 Weight: 1500 kg
 Height: 2.0 m
 Generator: 200 W, 24V or 48V in case conversion
 Voltage: 12V battery charging mode 10V
 24V battery charging mode 20V
 48V battery charging mode 40V
 For direct connection to grid, voltage depends on use

Materials:
 - Frame: 304 stainless steel
 - Fan housing: marine grade aluminum
 - Generator and Controller Enclosure: for the generator and in marine grade aluminum
 - All bolts stainless steel or for generator AK, AZ or 20

Benefits of Windside wind turbines:
 - No need to stop or remove during storms
 - Produces max. amount of energy in storms
 - No need to be turned to the wind direction
 - Roundness: 2.0m, measured in 2 meters distance from the axis
 - Starts: 30km/h, 10m/h and finally Long lifespan
 - Minimum need of maintenance, only lubrication
 - Safe to people, animals and birds

windside
OY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© 2012 and updated. No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 The Manufacturer reserves all rights to all specifications without further notice. www.windside.com No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700

Modelo WS-2 B

WINDSIDE WS-2B dimensions and technical info

WINDSIDE WS-2B technical info:
 Weight: 2000 kg
 Height: 2.0 m
 Generator: 300 W, 24V or 48V in case conversion
 Voltage: 12V battery charging mode 10V
 24V battery charging mode 20V
 48V battery charging mode 40V
 For direct connection to grid, voltage depends on use

Materials:
 - Frame: 304 stainless steel
 - Fan housing: marine grade aluminum
 - Generator and Controller Enclosure: for the generator and in marine grade aluminum
 - All bolts stainless steel or for generator AK, AZ or 20

Benefits of Windside wind turbines:
 - No need to stop or remove during storms
 - Produces max. amount of energy in storms
 - No need to be turned to the wind direction
 - Roundness: 2.0m, measured in 2 meters distance from the axis
 - Starts: 30km/h, 10m/h and finally Long lifespan
 - Minimum need of maintenance, only lubrication
 - Safe to people, animals and birds

windside
OY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© 2012 and updated. No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 The Manufacturer reserves all rights to all specifications without further notice. www.windside.com No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700

Modelo WS-2 City

WINDSIDE WS-2City dimensions and technical info

WINDSIDE WS-2City technical info:
 Weight: 1200 kg
 Height: 2.0 m
 Generator: 150 W, 24V or 48V in case conversion
 Voltage: 12V battery charging mode 10V
 24V battery charging mode 20V
 48V battery charging mode 40V
 For direct connection to grid, voltage depends on use

Materials:
 - Frame: 304 stainless steel
 - Fan housing: marine grade aluminum
 - Generator and Controller Enclosure: for the generator and in marine grade aluminum
 - All bolts stainless steel or for generator AK, AZ or 20

Benefits of Windside wind turbines:
 - No need to stop or remove during storms
 - Produces max. amount of energy in storms
 - No need to be turned to the wind direction
 - Roundness: 2.0m, measured in 2 meters distance from the axis
 - Starts: 30km/h, 10m/h and finally Long lifespan
 - Minimum need of maintenance, only lubrication
 - Safe to people, animals and birds

windside
OY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© 2012 and updated. No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 The Manufacturer reserves all rights to all specifications without further notice. www.windside.com No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700

Modelo WS-2 CityG

WINDSIDE WS-2CityG dimensions and technical info

WINDSIDE WS-2CityG technical info:
 Weight: 1500 kg
 Height: 2.0 m
 Generator: 200 W, 24V or 48V in case conversion
 Voltage: 12V battery charging mode 10V
 24V battery charging mode 20V
 48V battery charging mode 40V
 For direct connection to grid, voltage depends on use

Materials:
 - Frame: 304 stainless steel
 - Fan housing: marine grade aluminum
 - Generator and Controller Enclosure: for the generator and in marine grade aluminum
 - All bolts stainless steel or for generator AK, AZ or 20

Benefits of Windside wind turbines:
 - No need to stop or remove during storms
 - Produces max. amount of energy in storms
 - No need to be turned to the wind direction
 - Roundness: 2.0m, measured in 2 meters distance from the axis
 - Starts: 30km/h, 10m/h and finally Long lifespan
 - Minimum need of maintenance, only lubrication
 - Safe to people, animals and birds

windside
OY WINDSIDE PRODUCTION LTD

© 2012 and updated. No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 The Manufacturer reserves all rights to all specifications without further notice. www.windside.com No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700 No. +358-939-200 700 Fax: +358-939-200 700

Anexo 07.

Ficha técnica Modelos Eólicos Savonius Modelo Modelo WS-4 A / Modelo WS-4 B Disponible en: Oy Windside Production Ltd

WS-4

Modelo WS-4 A

Modelo WS-4 B

WINDSIDE WS-4A dimensions and technical info

Windside WS-4A technical info:

- Height: 4500 mm
- Span: 2000 mm
- Capacity: 30 kW in 24V, 17 A at 400 rpm connection
- Weight: 120 kg battery charging mode max 170 kg
- 24V battery charging mode max 200 kg
- 48V battery charging mode max 300 kg
- For wind-resistance load: weight depends on size
- Wind load: wind force to the middle part of the rotor. Calculated 2.1 m/s up that the generator 1000 kg
- The calculation height of the generator depends on the length of the rotor - in other words on the length of the torque arm
- Max. 1000 rpm
- WS-4A Equipped with constant speed speed of 40 rpm

Materials:

- Frame: Steel pipe
- Framework: marine grade aluminum
- Generator and generator end plate: dip galvanized steel or marine grade aluminum
- AC/DC battery cable or 100-100 galvanized (P4, A2 or D2)

Assembly of Windside wheel turbines:

- No need to stop or remove during storm
- Produce max. amount of energy in storm
- No need to be turned to the wind direction
- Soundless: if all installed in 2 meters distance from the wall
- Windside frame, steel, lead and humidity
- Long lifespan
- Minimum cost of maintenance: only lubricated
- Safe to people, animals and nature

windside
BY WINDSIDE PRODUCTION LTD

E-mail and website: Sales@windside.com / www.windside.com Tel: +359-200-250 700 Fax: +359-200-250 700 Mobile: +359-880-383 887 The Manufacturer reserves all rights in all modifications without further notice

WINDSIDE WS-4B dimensions and technical info

Windside WS-4B technical info:

- Height: 4500 mm
- Span: 2000 mm
- Capacity: 30 kW in 24V, 17 A at 400 rpm connection
- Weight: 120 kg battery charging mode 100 kg
- 24V battery charging mode 200 kg
- 48V battery charging mode 300 kg
- For wind-resistance load: weight depends on size
- Wind load: wind force to the middle part of the rotor. Calculated 2.1 m/s up that the generator 1000 kg
- The weight of the rotor depends on the weight of the rotor - in other words on the length of the torque arm
- WS-4B maximum 800 rpm
- WS-4B Equipped with constant speed speed of 40 rpm

Materials:

- Frame: Steel pipe
- Framework: marine grade aluminum
- Shaft: 30 (2000) mm - grade coated steel
- Generator and Generator End Plate: dip galvanized steel or marine grade aluminum
- AC/DC battery cable or dip galvanized (P4, A2 or D2)

Assembly of Windside wheel turbines:

- No need to stop or remove during storm
- Produce max. amount of energy in storm
- No need to be turned to the wind direction
- Soundless: if all installed in 2 meters distance from the wall
- Windside frame, steel, lead and humidity
- Long lifespan
- Minimum cost of maintenance: only lubricated
- Safe to people, animals and nature

windside
BY WINDSIDE PRODUCTION LTD

E-mail and website: Sales@windside.com / www.windside.com Tel: +359-200-250 700 Fax: +359-200-250 700 Mobile: +359-880-383 887 The Manufacturer reserves all rights in all modifications without further notice

Anexo 08.

Desarrollo cálculos constante de generación energética por superficie (m²) de influencia, en parámetros relacionados a la generación en Modelos eólicos:

Modelo WS – 12

Factor hora

$$\begin{aligned} \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 12} &= \frac{83,3 \text{ Wh}}{12 \text{ m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 12} &= \frac{5.590 \text{ Wh}}{12 \text{ m}^2} \\ \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 12} &= 6,94 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 12} &= 465,83 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Factor anual

$$\begin{aligned} \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 12} &= \frac{720 \text{ kWh}}{12 \text{ m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 12} &= \frac{48.298 \text{ kWh}}{12 \text{ m}^2} \\ \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 12} &= 60 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 12} &= 4.024 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Modelo WS – 4

Factor hora

$$\begin{aligned} \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 4} &= \frac{46,3 \text{ Wh}}{4 \text{ m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 4} &= \frac{1.280 \text{ Wh}}{4 \text{ m}^2} \\ \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 4} &= 11,57 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 4} &= 320 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Factor anual

$$\begin{aligned} \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 4} &= \frac{400 \text{ kWh}}{4 \text{ m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 4} &= \frac{11.100 \text{ kWh}}{4 \text{ m}^2} \\ \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 4} &= 100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 4} &= 2.775 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Modelo WS – 2

Factor hora

$$\begin{aligned} \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 2} &= \frac{13,88 \text{ Wh}}{2 \text{ m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 2} &= \frac{451 \text{ Wh}}{2 \text{ m}^2} \\ \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 2} &= 6,94 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 2} &= 225,5 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Factor anual

$$\begin{aligned} \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 2} &= \frac{120 \text{ kWh}}{2 \text{ m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 2} &= \frac{3.900 \text{ kWh}}{2 \text{ m}^2} \\ \text{Potencial Energético de arranque Modelo WS – 2} &= 60 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} & \text{Potencial Energético nominal Modelo WS – 2} &= 1.950 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Modelo WS – 0,6

Factor hora

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,6 = \frac{6,94 \text{ Wh}}{0,6 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,6 = \frac{95,6 \text{ Wh}}{0,6 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,6 = 11,56 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,6 = 159,3 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

Factor anual

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,6 = \frac{60 \text{ kWh}}{0,6 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,6 = \frac{826 \text{ kWh}}{0,6 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,6 = 100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,6 = 1.376 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Modelo WS – 0,3

Factor hora

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,3 = \frac{3,47 \text{ Wh}}{0,3 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,3 = \frac{47,8 \text{ Wh}}{0,3 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,3 = 11,57 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,3 = 159,3 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

Factor anual

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,3 = \frac{30 \text{ kWh}}{0,3 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,3 = \frac{413 \text{ kWh}}{0,3 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,3 = 100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,3 = 1.377 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Modelo WS – 0,15

Factor hora

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,15 = \frac{1,74 \text{ Wh}}{0,15 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,15 = \frac{23,84 \text{ Wh}}{0,15 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,15 = 11,6 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,15 = 158,9 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

Factor anual

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,15 = \frac{15 \text{ kWh}}{0,15 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,15 = \frac{206 \text{ kWh}}{0,15 \text{ m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético de arranque Modelo WS} - 0,15 = 100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Potencial Energético nominal Modelo WS} - 0,15 = 1.373,4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Anexo 09.

Desarrollo cálculos desde factor **generación energética por el peso respectivo de cada aerogenerador:**

Modelo WS – 12

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS - 12 = \frac{720 \text{ kWh/año}}{4.600 \text{ kg}^2} \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS - 12 = \frac{48.298 \text{ kWh/año}}{4.600 \text{ kg}}$$

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS - 12 = 0.16 \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS - 12 = 10.49$$

Modelo WS – 4 B

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS - 4 B = \frac{400 \text{ kWh/año}}{800 \text{ kg}^2} \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS - 4 B = \frac{11.100 \text{ kWh/año}}{800 \text{ kg}}$$

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS - 4 B = 0.5 \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS - 4 B = 13.88$$

Modelo WS – 2 City G

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 2 City G = \frac{120 \text{ kWh/año}}{170 \text{ kg}^2} \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 2 City G = \frac{3.900 \text{ kWh/año}}{170 \text{ kg}}$$

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 2CityG = 0.7 \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 2CityG = 22.94$$

Modelo WS – 0.6 A 12

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 0.6 A 12 = \frac{60 \text{ kWh/año}}{122 \text{ kg}^2} \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 0.6 A 12 = \frac{826 \text{ kWh/año}}{122 \text{ kg}}$$

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 0.6 A 12 = 0.49 \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 0.6 A 12 = 6.77$$

Modelo WS – 0.3 B PLUS – 29 N

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 0.3 B Plus = \frac{30 \text{ kWh/año}}{45 \text{ kg}^2} \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 0.3 B Plus = \frac{413 \text{ kWh/año}}{45 \text{ kg}}$$

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 0.6 A 12 = 0.66 \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 0.6 A 12 = 9.18$$

Modelo WS – 0.15 B PLUS

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 0.15 B Plus = \frac{15 \text{ kWh/año}}{40 \text{ kg}^2} \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 0.15 B Plus = \frac{206 \text{ kWh/año}}{40 \text{ kg}}$$

$$Fct. potencial de arranque vs peso WS 0.6 A 12 = 0.38 \quad Fct. potencial de nominal vs peso WS 0.6 A 12 = 5.15$$