



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Estudio de la viabilidad económica de una instalación solar fotovoltaica de 30 kW frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex en una empresa de carpintería en Crevillent, Alicante.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Más Juan, Jesús María

Tutor/a: Villanueva López, José Felipe

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA
DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
FRENTE A LA COMBINACIÓN DE ESTA
CON LOS AEROGENERADORES VORTEX
PARA LA INSTALACIÓN DE 30 KW EN UNA
EMPRESA DE CARPINTERÍA DE
CREVILLEN, ALICANTE**

AUTOR: JESÚS MARÍA MAS JUAN

TUTOR: JOSÉ FELIPE VILLANUEVA LÓPEZ

Curso Académico: 2021-22

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mi agradecimiento a mi tutor, José F. Villanueva, por todo su trabajo y ayuda para hacer posible la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

En primer lugar, agradecer a la ciudad de Valencia todo lo que me ha dado durante estos cuatro años que nunca voy a olvidar.

Agradecer a todo el profesorado que se esfuerza por enseñar y mejorar año tras año para impartir su asignatura con pasión para motivar a sus alumnos.

Por último, agradecer a todas las personas que han estado a mi lado y me ayudan a mejorar. Nunca hubiese podido llegar tan lejos sin ellos.

A mi familia, por estar siempre a mi lado.

A mi abuela, por ser mi segunda madre.

A mis amigos, por ser mi respaldo.

A mi madre, por ser el pilar fundamental de mi vida y mi referente.

Gracias.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se analizará la viabilidad económica de la combinación entre una instalación fotovoltaica y una instalación de aerogeneradores Vortex con el fin de autoabastecer de energía eléctrica a la empresa de carpintería JOFER S.L. Se estudiará la normativa vinculante al autoconsumo y se evaluarán las características energéticas de la empresa, del entorno y sus instalaciones. Posteriormente, se analizará las características y el funcionamiento del aerogenerador Vortex comparándolo con los aerogeneradores convencionales.

Se realizará el cálculo y dimensionado de la instalación fotovoltaica para conocer la capacidad de ahorro que llegará a proporcionar a la empresa y, partiendo de la instalación fotovoltaica, se llevará a cabo el cálculo y dimensionamiento de la instalación de aerogeneradores Vortex para conocer la capacidad de ahorro. Por último, se hará un análisis de viabilidad económica de cada instalación y se aportarán soluciones para la mejora de la viabilidad económica del Vortex. El TFG se complementa con el presupuesto asociado al estudio de este.

Palabras clave: Energías renovables, instalación fotovoltaica, autoconsumo, VIV, aerogenerador Vortex, viabilidad económica, normativa.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

RESUM

En aquest Treball de Fi de Grau (TFG) s'analitzarà la viabilitat econòmica de la combinació entre una instal·lació fotovoltaica i una instal·lació d'aerogeneradors Vortex amb la finalitat d'auto proveir d'energia elèctrica l'empresa de fusteria JOFER S.L. S'estudiarà la normativa vinculant a l'autoconsum i s'avaluaran les característiques energètiques de l'empresa, de l'entorn i les seues instal·lacions. Posteriorment, s'analitzaran les característiques i el funcionament de l'aerogenerador Vortex comparant-lo amb els aerogeneradors convencionals.

Es realitzarà el càlcul i dimensionament de la instal·lació fotovoltaica per conèixer la capacitat d'estalvi que arribarà a proporcionar a l'empresa i, partint de la instal·lació fotovoltaica, es durà a terme el càlcul i dimensionament de la instal·lació d'aerogeneradors Vortex per conèixer la capacitat d'estalvi. Finalment, es farà una anàlisi de viabilitat econòmica de cada instal·lació i s'aportaran solucions per a la millora de la viabilitat econòmica del Vortex. El TFG es complementa amb el pressupost associat al seu estudi.

Paraules clau: Energies renovables, instal·lació fotovoltaica, autoconsum, VIV, aerogenerador Vortex, viabilitat econòmica, normativa.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

ABSTRACT

This Final Degree Project (FDP) will analyse the economic feasibility of the combination of a photovoltaic installation and a Vortex wind turbine installation with the aim of self-supplying electrical energy to the carpentry company JOFER S.L. The energy characteristics of the company, its environment and its installations will be assessed. Subsequently, the characteristics and operation of the Vortex wind turbine will be analysed in comparison with conventional wind turbines.

The calculation and sizing of the photovoltaic installation will be carried out in order to find out the savings capacity that it will provide the company. on the basis of that photovoltaic installation, the calculation and sizing of the Vortex wind turbine installation will be carried out in order to determine its savings capacity. Finally, an analysis of the economic viability of each installation will be carried out and solutions will be provided with the aim of improving the economic viability of the Vortex. This FDP is supplemented with the budget related to its research.

Key words: Renewable energies, photovoltaic system, self-consumption, VIV, Vortex wind turbine, economic feasibility, regulations.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Anexos
- Planos

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. OBJETIVO DEL TFG.....	17
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. NORMATIVA	19
3.1. Normativa Europea.....	19
3.2. Normativa Estatal	19
3.3. Normativa Autonómica.....	21
4. CONTEXTO Y ANTECEDENTES	21
4.1. Energía fotovoltaica.....	21
4.2. Energía eólica.....	23
5. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	25
5.1. Cliente.....	25
5.2. Localización e instalaciones disponibles	26
6. AEROGENERADORES SIN PALAS	32
6.1. Introducción al Vortex	32
6.2. Estructura y materiales.....	34
6.3. Conversión de la energía.....	35
6.3.1. Conceptos generales	35
6.3.3. Resonancia	36
6.3.4. Sintonizado.....	37
6.3.5. Alternador	40
6.4. Vida útil	41
6.6. Capacidad de generación	43
6.7. Comparación de factibilidad	44

6.8. Impacto ambiental	47
7. ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	48
7.1. Paneles solares.....	48
7.3. Estructura	51
7.4. Costes de instalación y mantenimiento	52
7.5. Dimensionado y disposición de las placas	55
7.6. Producción y ahorro de energía.....	56
8. ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE AEROGENERADORES VORTEX	65
8.1. Motivos para la combinación	65
8.2. Consumo compensable	66
8.3. Producción del aerogenerador	68
8.4. Potencia y coste de la instalación	72
8.5. Ahorro generado.....	73
8.6. Sensibilidad.....	78
9. VIABILIDAD ECONÓMICA.....	84
10. CONCLUSIONES	87
11. BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS.....	88

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. OBJETIVO.....	92
2. COSTE MANO DE OBRA	92
3. COSTE HARWARE	95
4. COSTE DEL SOFTWARE.....	96
5. PRESUPUESTO FINAL	96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	98
ANEXO II: DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	99

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Cartografía catastral

Plano 2: Distribución sobre cubierta de las placas fotovoltaicas

Plano 3: Esquema unifilar

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES DE LA MEMORIA

Ilustración 1. Radiación solar en Europa. Fuente: Panelessolaresbarcelona.	22
Ilustración 2. Evolución de la potencia fotovoltaica instalada en España. Funete: Tecnología Energética, ETSII.....	22
Ilustración 3. Evolución de la potencia eólica instalada en España. Fuente: Tecnología Energética, ETSII.....	23
Ilustración 4. Turbinas de viento en urbanizaciones. Fuente: Erenovable.	24
Ilustración 5. Aerogeneradores sin palas. Fuente: Erenovable.	24
Ilustración 6. Carpintería JOFER S.L. Fuente: Carpintería Jofer.	25
Ilustración 7. Vista frontal de las instalaciones de la empresa. Fuente: Google Maps.	26
Ilustración 8. Vista por satélite del emplazamiento. Fuente: Google Maps.	26
Ilustración 9. Vista aérea y superficie de la instalación de JOFER S.L. Fuente: Google Maps	27
Ilustración 10. Distribución de las instalaciones de la empresa. Fuente: Propia.	27
Ilustración 11. Vista aérea y superficie del terreno colindante a la empresa. Fuente: Google Maps.	28
Ilustración 12. Distribución de los tramos y clasificación de los meses. Fuente: Aldro Energía.	29
Ilustración 13. Vortex Bladeless S.L. Fuente: Vortex Bladeless.	32
Ilustración 14. Comparativa entre aerogeneradores convencionales y Vortex a gran escala. Fuente: Tecnología Energética, ETSII.	33
Ilustración 15. Estructura del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless.	34
Ilustración 16. Modelo computacional de la generación de vórtices en una figura circular y esbelta. Fuente: Vortex Bladeless.	35
Ilustración 17. Representación de la Ley Exponencial de Hellman. Fuente: Grebus.	36
Ilustración 18. Disminución del diametro frente a la altura. Fuente: Vortex Bladeless.	37
Ilustración 19. Simulación del comportamiento de un aerogenerador que funciona en base al VIV. Fuente: Vortex Bladeless.	38
Ilustración 20. Simulación del comportamiento de una aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless.	38
Ilustración 21. Imanes permantes axiales. Fuente: Vortex Bladeless.	39
Ilustración 22. Evolución de las fuerzas debida al movimiento oscilatorio. Funete: Vortex Bladeless.	39
Ilustración 23. Componentes del Vortex. Fuente: Vortex Bladeless.	40
Ilustración 24. Diferentes tipos de aerogeneradores. Fuente: Vortex Bladeless.....	41
Ilustración 25. Efectos estela en los aerogeneradores convencionales. Fuente: Médez, C.	42
Ilustración 26. Velocidades medias en el territorio español. Fuente: ABB.....	44
Ilustración 27.Relación según la eficiencia y la velocidad del viento de cada aerogenerador. Fuente: Vortex Bladeless.	45
Ilustración 28. Relación entre el coste de la inversión incial y la producción generada de cada aerogenerador. Fuente: Vortex Bladeless.....	46
Ilustración 29. Estructura coplanaria. Fuente: AutoSolar.	51
Ilustración 30. Coste de una instalación fotovoltaica sobre cubierta por €/ W. Fuente: IDAE	52
Ilustración 31. Costes del mantenimiento de las placas fotovoltaicas sobre cubierta por Miles€/MWp. Fuente:IDAE.....	54
Ilustración 32. Irradiación media en la ubicación de la empresa. Fuente: PVGIS.....	57
Ilustración 33. Producción media de la instalación. Fuente: PVGIS.	58
Ilustración 34. Leyenda sobre la clasificación de los meses. Fuente Propia	61
Ilustración 35. Velocidades medias del viento en la región. Fuente: Global Wind Atlas.	69

Ilustración 36. Rango de velocidades medias de la zona seleccionada. Fuente: Global Wind Atlas.69

Ilustración 37. Variación de la velocidad media a lo largo de un año. Fuente: Global Wind Atlas .70

Ilustración 38. Varación de la velocidad media según la hora del día. Fuente: Global Wind Atlas. 70

Ilustración 39. Velocidades medias del viento de la región, ampliación. Fuente: PVGIS78

ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

Tabla 1: Comparativa entre facturas. Fuente: Propia.19

Tabla 2. Precio de consumo de la energía por cada tramo en €/ kWh. Fuente: Propia.30

Tabla 3. Precio del peaje y distribución por cada tramo en €/kWh. Fuente: Propia.30

Tabla 4. Precio total de la factura y el consumo en kWh por cada tramo y mes. Fuente: Propia.31

Tabla 5. Comparativa de la producción de distintos tipos de aerogeneradores según la velocidad del viento. Fuente: Propia.43

Tabla 6. Características de diferentes placas fotovoltaicas. Fuente: Propia.48

Tabla 7. Comparativa de diferentes placas fotovoltaicas. Fuente: Propia.49

Tabla 8. Características del inversor. Fuente: Propia.50

Tabla 9. Comparativa de diferentes estructuras coplanarias. Fuente: Propia.51

Tabla 10. Coste inicial total de la instalación fotovoltaica. Fuente: Propia53

Tabla 11. Resultado de la simulación de PVGIS. Fuente: Propia.56

Tabla 12. Relación entre el consumo diurno y total de la empresa. Fuente: Propia.59

Tabla 13. Capacidad de autoconsumo proporcionado por la instalación. Fuente: Propia.59

Tabla 14. Producción de energía diferencia en dos tramos. Fuente: Propia.61

Tabla 15. Ahorro generado por cada tramo de la factura. Fuente: Propia61

Tabla 16. Capacidad de ahorro máximo en la factura. Fuente: Propia.62

Tabla 17. Relación entre el ahorro posible y el generado por la instalación. Fuente: Propia62

Tabla 18. Ahorro real generado por la instalación fotovoltaica. Fuente: Propia64

Tabla 19. Consumo posible a compensar por la instalación Vortex. Fuente Propia66

Tabla 20. Relación entre el consumo nocturno y el posible a compensar. Fuente: Propia.67

Tabla 21. Producción de energía del Vortex Tacoma según la velocidad del viento. Fuente: Propia.68

Tabla 22. Resultado del posible ahorro con la instalación Vortex73

Tabla 23. Resultado del ahorro nocturno de la instalación Vortex. Fuente: Propia.74

Tabla 24. Resultado del ahorro diurno de la instalación Vortex. Fuente: Propia.75

Tabla 25. Resultado del ahorro generador por la instalación Vortex. Fuente: Propia.76

Tabla 26. Flujo de caja acumulado de la instalación Vortex. Fuente: Propia.77

Tabla 27. Ahorro diurno de la alternativa montañosa. Fuente: Propia.80

Tabla 28. Ahorro nocturno de la alternativa montañosa. Fuente: Propia.80

Tabla 29. Ahorro generado por la instalación Vortex en la ubicación montañosa. Fuente: Propia ..81

Tabla 30. Flujo de caja acumulado de la alternativa montañosa. Fuente: Propia.81

Tabla 31. Estimación de la producción del Vortex Tacoma. Fuente: Propia82

Tabla 32. Flujo de caja acumulado de la instalación fotovoltaica. Fuente: Propia.85

ÍNDICE DE TABLAS DEL PRESUPUESTO

Tabla I. Planificación de horas dedicadas a cada parte. Fuente: Propia	93
Tabla II. Cuadro de precios de la mano de obra. Fuente: Propia	93
Tabla III. Desglose del coste de mano de obra. Fuente: Propia.....	94
Tabla IV. Cuadro de costes del Hardware. Fuente: Propia.	95
Tabla V. Cuadro de costes del software. Fuente: Propia.....	96
Tabla VI. Presupuesto por ejecución por contrata. Fuente: Propia.....	96

MEMORIA

1. OBJETIVO DEL TFG

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es analizar la factibilidad de utilizar una instalación fotovoltaica con el fin de autoabastecer de energía eléctrica una empresa de carpintería JOFER S.L durante las horas diurnas y estudiar la viabilidad económica de una posible instalación de aerogeneradores Vortex para compensar el consumo sobrante de la empresa para conseguir un mayor ahorro en la factura eléctrica.

Para conseguir este objetivo, se plantea los siguientes subobjetivos;

- Analizar la empresa donde se realizará la instalación para poder comprender su actividad económica, sus instalaciones y su consumo eléctrico anual.
- Analizar y estudiar la normativa vinculante a las dos fuentes de energía.
- Conocer el recurso solar y la capacidad de producción mediante la simulación de PVGIS.
- Calcular y dimensionar la instalación fotovoltaica para el autoabastecimiento en el intervalo diurno.
- Estudiar la viabilidad económica de la posible instalación fotovoltaica.
- Analizar y estudiar las características principales de los aerogeneradores Vortex y la diferencia frente a los aerogeneradores principales para comprender la elección de este.
- Calcular y dimensionar la instalación eólica para el autoabastecimiento.
- Estudiar la viabilidad económica de la posible instalación eólica y en el caso de ser inviable económicamente, estudiar las posibles alternativas o soluciones donde estos aerogeneradores podrían aportar un beneficio económico.
- Elaborar un presupuesto detallado sobre el coste que supondría en un ámbito profesional la elaboración del proyecto y una aproximación de un presupuesto técnico.

2. JUSTIFICACIÓN

- Motivo medioambiental

La preocupación por la conservación del medio ambiente es un tema muy presente en la actualidad donde organizaciones como la Organización de Naciones Unidas (ONU) han emprendido un plan para lograr una serie de metas para mejorar el mundo.

Se trata de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el cual fue aprobado en 2015 con el compromiso de 193 países como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas tengan un futuro próspero.[1]

En la planificación de las 17 medidas planteadas por la ONU se apela a la colaboración de gobiernos y sector privado para alcanzar los objetivos marcados, algunos de los más significativas dentro del área de la producción de energía;

- **Objetivo 7**, energía asequible y no contaminante.

Garantizando el acceso universal a los servicios energéticos aumentando la proporción de energías renovables a nivel mundial y la mejora de las tecnologías.

- **Objetivo 12**, producción y consumo responsable.

Pretende promover el aumento de la eficiencia energética, el uso de energía renovable, emitiendo menos dióxido de carbono y ,junto al objetivo 11, la creación de ciudades y comunidades sostenibles.

- **Objetivo 13**, acción por el clima.

Mediante a la implementación de las diversas medidas para incrementar el consumo de energía procedente de fuentes renovables provocará una disminución considerable de gases de efecto invernadero que generarán una disminución del calentamiento global.

Además, en España se ha diseñado el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC). Se trata de una estrategia nacional para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero siendo clave la introducción en las energías renovables. Forma parte del Marco Estratégico de Energía y Clima que se amolda al Convenio del Cambio Climático y a la ONU, algunos de los puntos más significativos del PNIEC son; [2]

- La reducción del 21% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto al nivel de 1990.
- Mejora de la eficiencia energética del país a un 39.6% mediante la sustitución de los combustibles fósiles por energías renovables.
- Alcanzar el 74% de generación eléctrica por parte de las energías renovables. Es decir, alcanzar alrededor de los 120 GW en energías renovables en España.

Dentro del PNIEC, afectando directamente a este estudio, se habla del impulso y promoción del autoconsumo individual donde se potenciará los proyectos de los individuos de generación de energías renovables e incluyendo programas de formación.

Además, el PNIEC hace hincapié en la rehabilitación energética de los edificios. Dándoles una “nueva vida” acondicionando edificios ya existentes convirtiendo estos en edificios más eficientes donde deberían de llegar a ser autosuficiente.

- **Motivo económico**

La empresa ha notado en un intervalo de un año como su factura eléctrica ha aumentado considerablemente, esto ha puesto en alerta al dueño de la empresa que busca como conseguir tener una independencia energética que le proporcione una disminución, ahorro, en su factura eléctrica al cabo del año.

En la Tabla 1 se observa la comparativa entre el mes de marzo con un año de diferencia donde se muestra el consumo en kWh que ha tenido ese mes junto con el precio de la factura, sin IVA.

Con un año de diferencia se ha consumido por parte de la empresa casi 2400 kWh menos, un 34% menos de consumo, pero pagando 467,08 €, un 44% más de factura.

Tabla 1: Comparativa entre facturas. Fuente: Propia.

	MARZO 2021	MARZO 2022
CONSUMO (kWh)	6986	4593
FACTURA	1.061,62€	1.528,70€

En conclusión, la empresa busca otras fuentes de energía para obtener un autoabastecimiento que les proporcione una seguridad económica frente a la amenaza energética que va aumentando con el paso del tiempo.

3. NORMATIVA

3.1. Normativa Europea

La Directiva Europea Renovable (REDII) estableció una nueva propuesta legislativa de refundición de la directiva sobre las energías renovables donde el objetivo general de la UE es conseguir que el 32% del consumo eléctrico total de todos los países miembros sea de origen renovable en el 2030.

REDII apuesta claramente por el autoconsumo fotovoltaico apoyando legalmente al derecho del autoconsumo fotovoltaico, Directiva (UE) 2018/2001 por el cual los ciudadanos europeos pueden producir, consumir, almacenar e incluso llegar a vender el excedente de la energía producida prohibiendo la existencia de cualquier imposición de cargos o tasas adicionales producida para el propio autoconsumo.[3]

Además de exigir que los trámites administrativos sean más sencillos creando una ventanilla única y reduciendo los plazos para la tramitación de esta.

3.2. Normativa Estatal

La legislación vinculante con la energía fotovoltaica y el autoconsumo ha ido sufriendo constante modificaciones a lo largo de los últimos años hasta llegar a la actual. En octubre de 2018 se aprobó el Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, donde se aprobaban medidas urgentes para el avance de la transición energética y la protección de los consumidores. En este Real Decreto-ley se reconoce el derecho al autoconsumo de energía eléctrica y se introducen simplificaciones administrativas para disminuir la tramitación legal y técnica necesaria. [4]

Además, queda reflejado el rechazo rotundo a la imposición de cargos/peajes adicionales, tratando también la energía introducida a la red debido a los excedentes.

Posteriormente, el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, da continuidad de lo establecido anteriormente en el Real Decreto-ley 15/2018, centrándose en el autoconsumo garantizando un gran avance debido a medidas como; [5]

- Anulación del conocido como “impuesto del Sol”, dejando libre de impuestos a la energía producida por las instalaciones de autoconsumo.
- Apertura del autoconsumo compartido, mientras este venga del mismo centro de transformación, en comunidades o asociaciones
- Se simplifica la clasificación de las instalaciones fotovoltaicas y la reglamentación para la tramitación y legalización de las instalaciones fotovoltaicas sin excedentes hasta los 100kW.
- Se permite instalar más potencia solar que la contratada en la factura de la luz.
- Creación de un registro administrativo para simplificar la inscripción de las instalaciones.

La clasificación de las instalaciones fotovoltaicas en España se puede diferenciar entre;

- **Instalaciones conectadas a la red:** Toda la electricidad que se produce por la instalación es vertida a la red eléctrica con el fin de obtener un beneficio económico. Suelen ser parques solares, es decir, unas macro instalaciones como podría ser la de Núñez de Balboa en la comunidad de Extremadura que está controlada por la empresa Iberdrola donde tiene instalado 500 MW, siendo esta la instalación fotovoltaica más grande de toda España.
- **Instalaciones de autoconsumo:** En este tipo de instalaciones se busca la sustentación parcial o total de las necesidades eléctricas de una determinada edificación. Dentro de las instalaciones de autoconsumo se encuentra;
 - **Instalaciones SIN excedentes:** Se trata de una instalación que tiene un sistema de anti vertido de la electricidad a la red del excedente eléctrico. Estas instalaciones son consideradas como aisladas y son recomendadas únicamente para casos muy especiales donde salga rentable económicamente la instalación de baterías que sean capaces de almacenar la energía que excede para usarla cuando tengan picos de demanda o no tengan producción de las placas.
 - **Instalaciones CON excedentes:** Se trata de un tipo de instalación donde además de suministrar electricidad para el autoconsumo de la edificación, se inyecta en la red de electricidad el excedente buscando una compensación en la factura de la luz (reducir tu factura de la luz) o venderla directamente al precio de mercado eléctrico obteniendo un beneficio económico directo sin tener nada que ver con descuentos en la factura de la luz del consumidor.

En cambio, la normativa vinculante sobre la instalación de pequeños aerogeneradores, conocido como la energía minieólica, se encuentra catalogada con el mismo marco regulatorio y retributivo que la gran eólica (existe una normativa de fabricación de pequeños aerogeneradores, pero no es de obligado cumplimiento). Debido a la falta de diferenciación entre estas está provocando que la energía minieólica se perjudique enormemente en su desarrollo, vinculado con el impacto ambiental, amortizaciones e incluso con las evacuaciones.

Pero la norma más reciente son el Real Decreto-ley 15/2018, al igual que el Real Decreto 244/2019 que como hemos comentado anteriormente estas normativas contemplan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

3.3. Normativa Autonómica

El Decreto Ley 14/2020, de 7 de agosto, trata sobre medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables, tanto fotovoltaica como eólica, por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica.[6]

Dentro del Decreto Ley se destaca;

- Simplificar y agilizar los supuestos y procedimientos administrativos vinculantes a la construcción y la puesta en marcha del servicio de instalaciones eléctricas para el aprovechamiento de la energía eliminando diversas disposiciones autonómicas en las materias de ordenación territorial, control ambiental de las actividades y del sector eléctrico.
- Establecer proyectos de instalaciones de producción de energía renovable estratégicos para la Comunitat Valenciana.
- Mejorar la transparencia y acceso a la información de las redes eléctricas para facilitar la toma de decisiones por los operadores económicos, incluidos los consumidores, así como evitar procesos especulativos o retrasos injustificados para avanzar en la transición energética como parte de la respuesta a la emergencia climática.
- Establecer obligaciones y mecanismos de gestión para favorecer la generalización de las instalaciones de aprovechamiento de las energías renovables en las edificaciones públicas y particulares, así como los suelos urbanos y urbanizables.
- Mejorar la transparencia y acceso a la información de las redes eléctricas para facilitar la toma de decisiones por los operadores económicos, incluidos los consumidores, así como evitar procesos especulativos o retrasos injustificados para avanzar en la transición energética como parte de la respuesta a la emergencia climática.

4. CONTEXTO Y ANTECEDENTES

4.1. Energía fotovoltaica

Partiendo de la base de que uno de los países europeos con más horas de sol al año es España, era de esperar una inversión considerable para apostar por esta energía por parte del gobierno del país.

Como se observa en la Ilustración 1, la radiación solar es más elevada en España que cualquier país europeo, sumándole la gran cantidad de horas de sol que se tiene en este país. Esto favorece para poder aprovechar la energía de sol y ser punteros en toda Europa. [7]

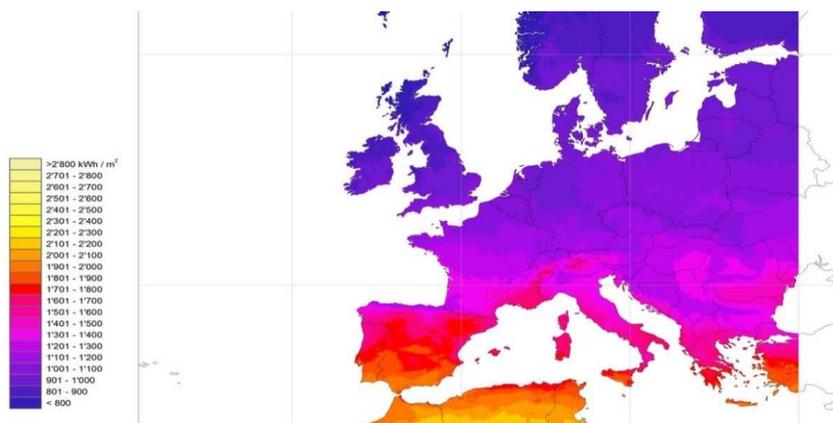


Ilustración 1. Radiación solar en Europa. Fuente: Panelessolaresbarcelona.

El impulso de la energía solar en este país comenzó ya en los comienzos de siglo llegando a ser unos España uno de los países con mayor potencia fotovoltaica instalada alrededor de 2008, hasta ese momento se había favorecido un marco regulador favorable que las impulsaba.

Tras la nueva regulación aprobada por parte del gobierno y el comienzo de una crisis que afectó profundamente a este país provocó una disminución considerable del crecimiento. Esto se observa en la Ilustración 2 como durante un largo periodo de tiempo en España no se invertía en la nueva instalación. [8]

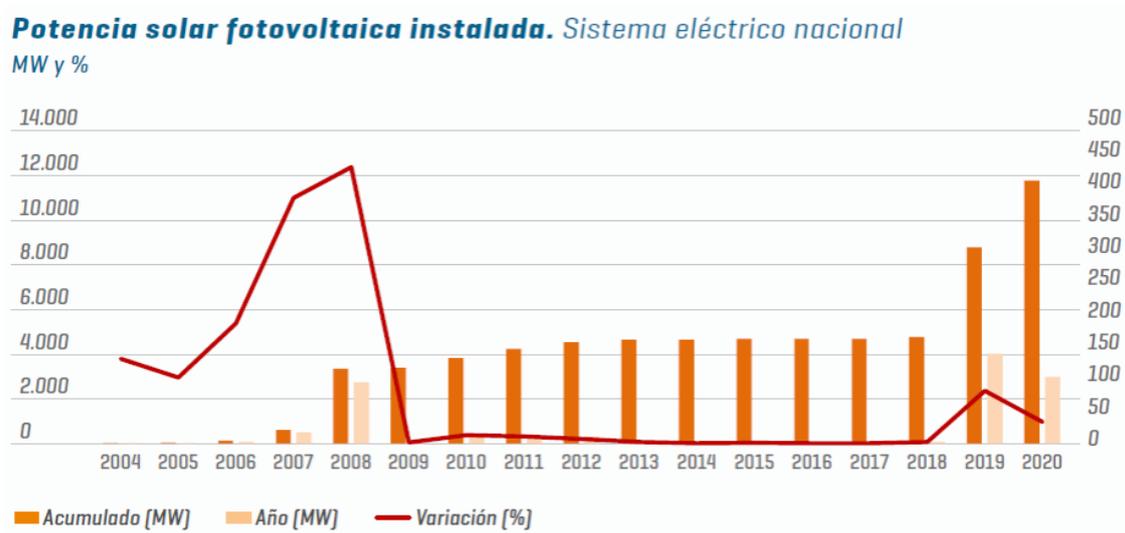


Ilustración 2. Evolución de la potencia fotovoltaica instalada en España. Funete: Tecnología Energética, ETSII.

La evolución de la potencia instalada depende de manera muy directa de la política vigente aprobada por el gobierno, condicionada por las diferentes subvenciones garantizadas por parte del Estado o por parte de la Unión Europea. Entre los años 2012 y 2018 hubo un parón en la inversión debido a una política no muy favorable a este tipo de instalaciones.

Todo esto cambió con la aprobación del Real Decreto Ley 15/2018 que supuso un gran avance en la facilidad de la tramitación, legalización de las instalaciones y de la mejora de la rentabilidad de estas. La implementación del Real Decreto 244/2019 supuso un descuento en la factura eléctrica del valor de la energía vertida a la red y la simplificación aún más los tramites. Este cambio, teniendo en cuenta que el gran avance durante estos años ha provocado unos precios cada vez más bajos en los módulos fotovoltaicas, ha generado la reactivación de esta energía en España.

4.2. Energía eólica

Ya en 2020 la energía eólica se posicionaba como la segunda tecnología del mix energético en España, cerca de alcanzar la primera posición, cubriendo cerca del 22% de la demanda española. [9]

La potencia instalada en España alcanzó en 2021 los 28.138 MW, aportando la eólica casi el 50% de la energía producida por las renovables (siendo la fotovoltaica únicamente el 17% del total).

Como se tiene en la Ilustración 3, durante los años de “bonanza” de este país, al igual que con la fotovoltaica, hubo un incremento anual grande de nueva instalación. La crisis frenó este incremento de instalación de potencia eólica, pero se está volviendo a invertir en energías renovables para conseguir un mix energético que pueda llegar a ser favorable para este país e intentar no ser tan dependientes a nivel energético. [8]



Ilustración 3. Evolución de la potencia eólica instalada en España. Fuente: Tecnología Energética, ETSII.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

Esta situación de crecimiento en el mundo de la eólica está provocando que no solo se desarrolle el mundo convencional de los aerogeneradores tripala que todos conocen. Nuevos modelos, que van dirigidos hacia zonas urbanas, rurales o incluso de decoración mientras proporcionan energía y se llegan a combinar con la energía fotovoltaica para producir más energía y abastecer de manera completa a residencias y/o empresas. [10]

Algunos de los ejemplos más significativos son;

- Turbinas de viento para edificios como los de la empresa Green Energy que se dedica a la instalación de turbinas en centros comerciales y residencias urbanísticas para alimentar casi o completamente el complejo.



Ilustración 4. Turbinas de viento en urbanizaciones. Fuente: Erenovable.

- Aerogeneradores sin palas como los que se van a estudiar en este estudio, de la empresa española Vortex Bladeless, donde utilizan vientos de poca intensidad en cualquier ambiente, rural o urbano, para abastecer de energía.

Actualmente aún se encuentran en prototipos, pero esta nueva tecnología está cada vez más cerca del mercado comercial y será una gran opción para complementar instalaciones fotovoltaicas ya existentes.



Ilustración 5. Aerogeneradores sin palas. Fuente: Erenovable.

5. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

5.1. Cliente

CARPINTERÍA JOFER S.L es una empresa alicantina que centra su actividad económica en la carpintería de exteriores y la comercialización de parquets.



Ilustración 6. Carpintería JOFER S.L. Fuente: Carpintería Jofer.

Es una empresa familiar que se fundó en 1955 y hasta mediados de los noventa seguían siendo una pequeña carpintería donde hacían trabajos artesanales de todo tipo.

En el comienzo de siglo empezaron a cambiar su modelo de negocio y a centrarse más en la carpintería de exteriores, al limitar su gama de productos empezaron a especializarse y consiguieron ser referentes del sector en su zona.

Empezaron a trabajar con grandes constructoras para instalar toda la parte relacionada con la carpintería de exteriores en todas las obras de nueva construcción en la zona de Alicante, sur de Valencia y Murcia. En cambio, la crisis económica impactó de lleno en todos los sectores relacionados directa o indirectamente en el mundo de la construcción causando un receso de su crecimiento económico e incluso llegando a tener años con pérdidas. La solución a la poca demanda de obra nueva en la zona Sureste de España provocó que la empresa empezará la búsqueda de una nueva forma de generar ingresos.

La comercialización de parquets fue un nicho de mercado que no estaba explotado por ninguna empresa en la zona que garantizó que pudieran seguir en pie durante los años de la crisis. Actualmente, se dedican mayoritariamente a esto debido a que no necesitan industria para su creación ni un gran número de operarios para su instalación, al contrario que el personal de oficina que ha aumentado en los últimos años.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

5.2. Localización e instalaciones disponibles

CARPINTERÍA JOFER S.L se encuentra en localidad alicantina de Crevillent. Se encuentra en una salida cercana a la carretera N-340, Pdta. d'Eula 46. Las coordenadas exactas del emplazamiento de la empresa son: 38° 14' 06.7976" N y 0° 48' 55.9772" W.

En la Ilustración 7 y Ilustración 8 se muestra la vista frontal y la vista por satélite del lugar del emplazamiento respectivamente.



Ilustración 7. Vista frontal de las instalaciones de la empresa. Fuente: Google Maps.

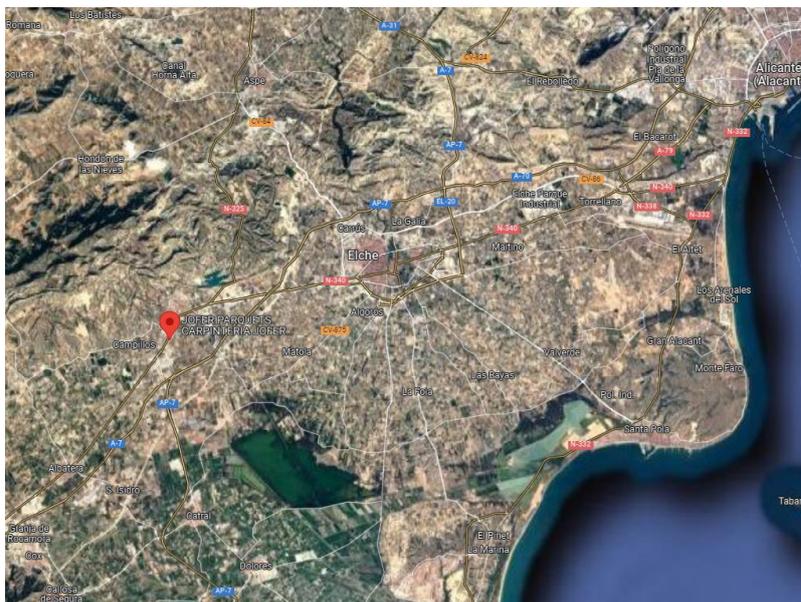


Ilustración 8. Vista por satélite del emplazamiento. Fuente: Google Maps.

Este estudio se contempla la idea de una instalación fotovoltaica o una instalación fotovoltaica combinada con aerogeneradores Vortex. La instalación fotovoltaica se realizaría en la cubierta del edificio, estando esta cubierta separada en dos naves a dos aguas.

En las Ilustración 9 y Ilustración 10 se observan las dimensiones en m² de la cubierta del edificio y la distribución de la empresa respectivamente.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante



Ilustración 9. Vista aérea y superficie de la instalación de JOFER S.L. Fuente: Google Maps



Ilustración 10. Distribución de las instalaciones de la empresa. Fuente: Propia.

Se tiene una cubierta que aproximadamente tiene unos 3000 m², esta superficie es aproximada porque está a dos aguas y no toda ella será útil para la instalación.

El terreno que se utilizaría para la supuesta instalación de los aerogeneradores será un terreno colindante, de 6112 m², que pertenece al dueño de la empresa. Si no existiera este terreno sería muy difícil plantear la idea de la instalación del Vortex debido a que los terrenos colindantes a la empresa tienen un precio desorbitado.

En la Ilustración 11 se observa una vista preliminar de los terrenos pertenecientes a la empresa, en Plano I se puede ver la cartografía catastral para analizar con más profundidad los terrenos pertenecientes.

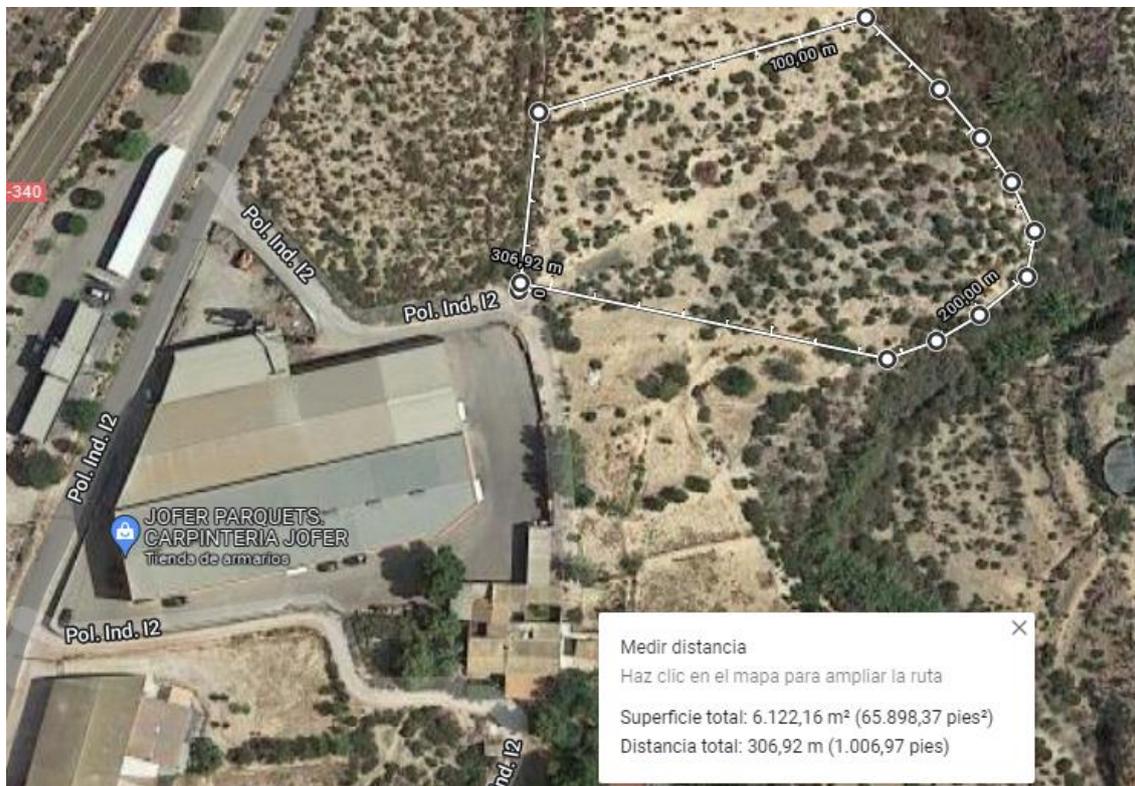


Ilustración 11. Vista aérea y superficie del terreno colindante a la empresa. Fuente: Google Maps.

5.3. Consumo actual

Como ya se ha mencionado anteriormente la empresa se encuentra en la localidad alicantina de Crevillent. En esta localidad se encuentra la cooperativa eléctrica de Crevillent, con la cual tiene contratado la empresa JOFER S.L. La cooperativa en cuestión es la Cooperativa Eléctrica San Francisco de Asís, empresa matriz del grupo Enercoop. Nació en 1925 con el objetivo de llevar la energía a todos los hogares de la localidad de una forma justa y respetando el medio ambiente.[11]

La empresa ha proporcionado las facturas correspondientes a un año entero, desde marzo de 2021 hasta marzo de 2022, donde se puede ver el consumo mensual que han tenido y las tarifas de los diferentes tramos dependiendo del mes.

Se debe tener en cuenta que el pasado año entro en vigor la orden TED/371/2021, de 19 de abril, por la que se establecen los precios de los cargos del sistema eléctrico y de los pagos por capacidad que resultan de aplicación a partir del 1 de junio de 2021 en el que se aprueba el Real Decreto 148/2021, de 9 de marzo, por el que se estableció la nueva metodología de cálculo de los cargos del sistema eléctrico. También, se aprobó el Circular 3/2020, de 15 de enero, por el que establece la forma del cálculo del peaje del transporte y la distribución de la electricidad.[12]

Como se observa en la Ilustración 12 que es la distribución según los meses del año y los tramos de facturación donde se tienen seis tramos de facturación, desde P1 hasta P6, mientras que se tienen cuatro tipos de organización según el mes, dependiendo de la clasificación que se le dé (ALTA, MEDIA ALTA, MEDIA y BAJA).



Ilustración 12. Distribución de los tramos y clasificación de los meses. Fuente: Aldro Energía.

JOFER S.L tiene contratado 65 kW y se encuentra dentro del intervalo de la factura 3.0 TD. Es importante saber esto porque la factura 2.0 TD es para una potencia contratada de menos de 15 kW donde la distribución horaria y precios será totalmente diferente, mientras que la 6.x TD están destinadas a la alta tensión donde a diferencia de la 3.0 TD no se rigen por las reglas de facturación del máxímetro en cuanto a facturación de potencia se refiere. Es decir, la factura no se verá afectada cuando se supere la potencia contratada, también conocida como penalización por exceso.[13]

En las facturas proporcionadas por el cliente se puede ver que según la clasificación los precios de los tramos irán variando. Estos precios son fijos, no están condicionados por el precio de casación horaria del pool energético más el margen respecto del precio definido por la empresa distribidora por los servicios de gestión de esta.

En la Tabla 2, se puede ver claramente los precios por kWh consumido, en euros, por cada uno de los tramos según la clasificación que tendrá cada mes donde está subrayado los tramos de facturación que se aplican cuando se tiene cada tipo de clasificación. Es decir, por ejemplo en enero que se tiene una clasificación ALTA se tendrá un consumo de electricidad en los tramos P1, P2 y P6 en el que se aplicará esos precios por kWh.

Tabla 2. Precio de consumo de la energía por cada tramo en €/ kWh. Fuente: Propia.

TIPO	TRAMOS					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
ALTA	0,235103	0,220644	0,275010	0,272815	0,242710	0,236409
MEDIA ALTA	0,235103	0,220644	0,275010	0,272815	0,242710	0,236409
MEDIA BAJA	0,116033	0,117279	0,116741	0,116331	0,115670	0,110248
BAJA	0,118797	0,118569	0,117639	0,117018	0,116273	0,110292

Cuando se calcula el precio total debido al consumo por cada kWh no se debe contar solamente la Tabla 2 que muestra los precios por kWh consumido si no que se debe de sumar los gastos de peaje de transporte y distribución y cargos que se muestra en la Tabla 3, en euros por cada kWh consumido.

Tabla 3. Precio del peaje y distribución por cada tramo en €/kWh. Fuente: Propia.

TIPOS	TRAMOS					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
ALTA	0,05843	0,04469				0,003537
MEDIA ALTA		0,04425	0,02397			0,003537
MEDIA BAJA			0,0330	0,01810		0,003537
BAJA				0,01741	0,00790	0,003537

JOFER S.L al estar enfocado a la distribución de parquet, no tiene maquinaria que pueda consumir grandes cantidades de energía. El consumo del cliente se centra en las luminarias que se encuentran repartidas por toda la nave haciendo especial atención a la gran cantidad que se tiene en la exposición y en la zona de almacén. Otros puntos de consumo serían la ofimática, pero respecto a las luminarias es totalmente despreciable, y la climatización de las oficinas y exposición en los meses de invierno y verano (esto es un motivo de gran peso que provoca picos de consumo en estos meses).

El horario laboral del cliente es de 9:00h hasta las 18:00h de lunes a viernes donde las luminarias están encendidas, y de forma eventual, según el mes, también estaría la climatización. El único consumo eléctrico que se tiene fuera del horario laboral son las luminarias que alumbran los rótulos de la empresa en la fachada.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

En la Tabla 4, se puede contemplar los consumos por cada tramo, en kWh, y el precio de la factura eléctrica, incluyendo el IVA, según el mes. Únicamente los meses anteriores a Junio de 2021 no se puede tener el consumo eléctrico por cada tramo debido a que aún no se había implantado la nueva forma de facturación eléctrica, conociéndose solamente el consumo total de esos meses gracias a las facturas.

Tabla 4. Precio total de la factura y el consumo en kWh por cada tramo y mes. Fuente: Propia.

	MES	POTENCIA (kWh)						TOTAL	PRECIO
		P1	P2	P3	P4	P5	P6		
2021	ABRIL	-	-	-	-	-	-	6258	1.194,95 €
	MAYO	-	-	-	-	-	-	4419	1.014,73 €
	JUNIO	0	0	1240	945	0	385	2570	679,49 €
	JULIO	1562	1183	0	0	0	366	3111	918,45 €
	AGOSTO	0	0	349	258	0	514	1121	576,64 €
	SEPTIEMBRE	0	0	2508	1871	0	664	5043	1.091,49 €
	OCTUBRE	0	0	0	1339	1240	761	3340	852,21 €
	NOVIEMBRE	0	1698	1129	0	0	655	3482	1.281,62 €
	DICIEMBRE	1570	1074	0	0	0	644	3288	1.199,88 €
2022	ENERO	1986	1560	0	0	0	711	4257	1.739,46 €
	FEBRERO	2697	1749	0	0	0	642	5088	2.003,14 €
	MARZO	0	2315	1685	0	0	593	4593	1.849,73 €

En resumen, la empresa en un intervalo de un año se ha gastado 14.395,79 €, contando IVA, en su factura eléctrica.

6. AEROGENERADORES SIN PALAS

6.1. Introducción al Vortex

Los aerogeneradores Vortex son un tipo de aerogenerador sin palas, engranajes, ni ejes; no es realmente una turbina eólica ya que no funciona por rotación como sí lo hacen los aerogeneradores convencionales tanto verticales como horizontales. [14]

Este dispositivo se basa en la resonancia aeroelástica, aprovechando la energía eólica gracias a la emisión de los vórtices de Von Karma (este proceso es conocido como Vortex Shedding). En otras edificaciones o estudios siempre se dimensiona para intentar evitar este fenómeno, pero para fomentar la máxima capacidad de producción de energía se buscará maximizar este.

Este dispositivo es un cilindro anclado al suelo sin palas que oscila, y que mediante un alternador transformará la energía “almacenada” en el viento.

Esta nueva idea la está desarrollando una empresa española llamada Vortex Bladeless S.L. Se trata de una PYME, que se fundó en el 2014, que busca el desarrollo de un aerogenerador sin palas que sea respetuoso con el medio ambiente y pueda contribuir al incremento del uso de las energías renovables.



Ilustración 13. Vortex Bladeless S.L. Fuente: Vortex Bladeless.

Esta nueva tecnología está concretamente diseñada para la generación in situ de electricidad para un entorno residencial o rural donde se pueda incluso combinar con otros generadores o con paneles solares para complementar estos ayudando al abastecimiento eléctrico demandado.

Actualmente, al encontrarse en fase de prototipos y no de producción como tal, no se tiene una idea completamente real de sus dimensiones. Estas podrían variar según la potencia que se necesite, el lugar donde se instale e incluso el espacio que pueda existir.

En un futuro esta empresa plantea la producción de varios dispositivos hasta los 2,75m. En este estudio, se centra en el más grande de las posibles opciones que podría dar la empresa en un futuro próximo. Se trata de un dispositivo, llamado Vortex Tacoma, de unos 2,75 m de altura, con un peso aproximado de 15 kg, unos 45 cm de diámetro y que necesita de una cimentación de alrededor de un 1 m³ para obtener una fijación necesaria al suelo para no tener ningún problema.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

Existe la posibilidad de llevar esta idea a lo “grande”, la creación de esta tecnología con una altura suficientemente grande para que pueda rivalizar con los aerogeneradores con tres palas convencionales en la producción de electricidad en los parques eólicos, pero actualmente se encuentra fuera de alcance.

En la Ilustración 14 se observa una breve comparativa de los aerogeneradores Vortex con unas dimensiones similares a los aerogeneradores convencionales.

Algunas de las mejoras que tendrían sería el ahorro de materiales, tanto en cimentación como en el propio dispositivo y ,por tanto, una reducción en el coste de fabricación. También la eficiencia respecto al de tres palas sería menor, pero como los costos de instalación y producción son menores y se tiene la capacidad de poner más dispositivos juntos debido a que no es necesario guardar una distancia entre ellos mismos tan grande como los de tres palas (el efecto estela no tiene tanta importancia en los aerogeneradores sin palas) llegaría a proporcionar una capacidad generadora que podría competir, teóricamente, con los aerogeneradores convencionales. En apartados posteriores se hace una comparación más detallada sobre las diferencias entre los aerogeneradores Vortex y los convencionales.

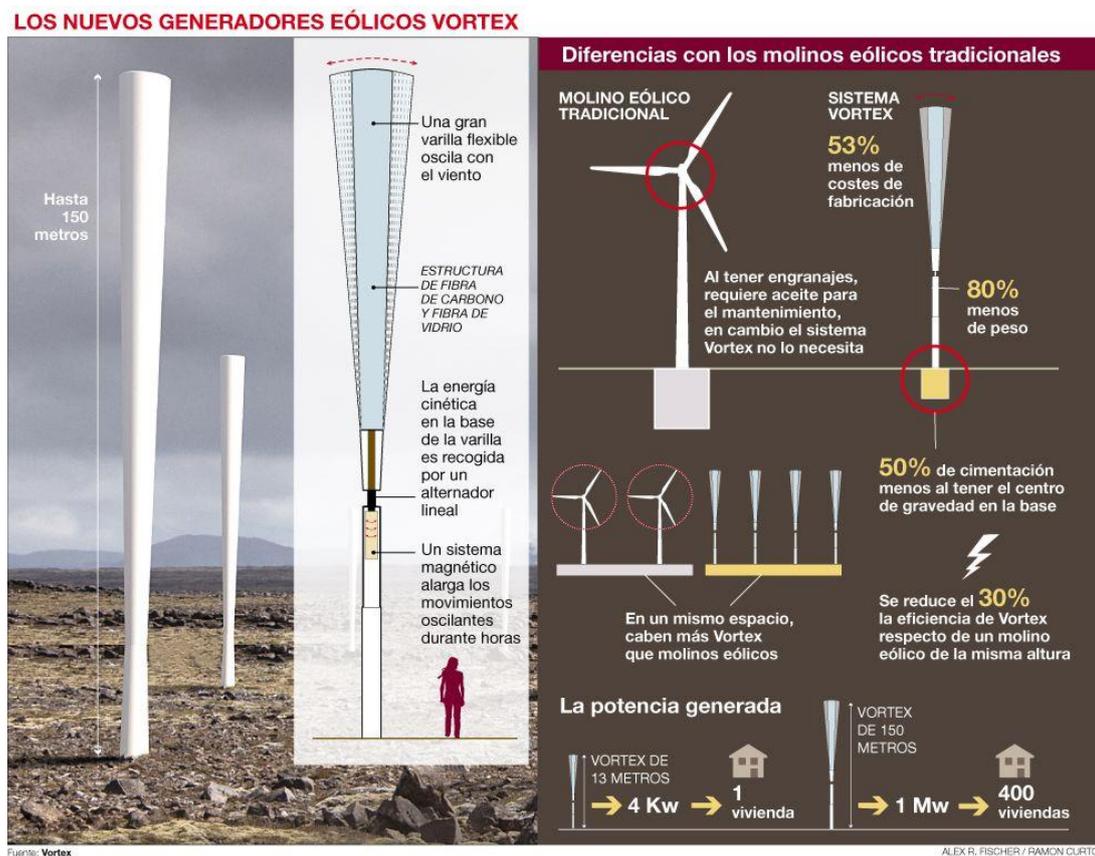


Ilustración 14. Comparativa entre aerogeneradores convencionales y Vortex a gran escala. Fuente: Tecnología Energética, ETSII.

6.2. Estructura y materiales

El diseño de este tipo de aerogenerador es bastante diferente al tradicional debido a que no tiene aspas, góndola y una torre como tal. Este dispositivo solo tiene un mástil con una forma cilíndrica.

La base del dispositivo está anclado al suelo y el mástil tiene un movimiento oscilatorio limitado que llega a su máximo en el extremo del mástil. [14]

Se aprecia en la Ilustración 15 que existe dos partes diferenciadas claramente, base y mástil, donde ambas están construidas de polímero reforzado de fibra de carbono (CFRP) que proporciona unas características esenciales para el dispositivo debido a que aporta una gran resistencia a la fatiga por su excelente flexibilidad. La fatiga es un tema importante debido a que es un factor que condiciona de manera directa la vida útil que puede llegar a tener el dispositivo ya que va a estar durante largos periodos de tiempo oscilando, provocando el desgaste progresivo de sus elementos.

Además, estas fibras de carbono proporcionan una pérdida de energía mínima que es imprescindible para aumentar la capacidad de producción del dispositivo.

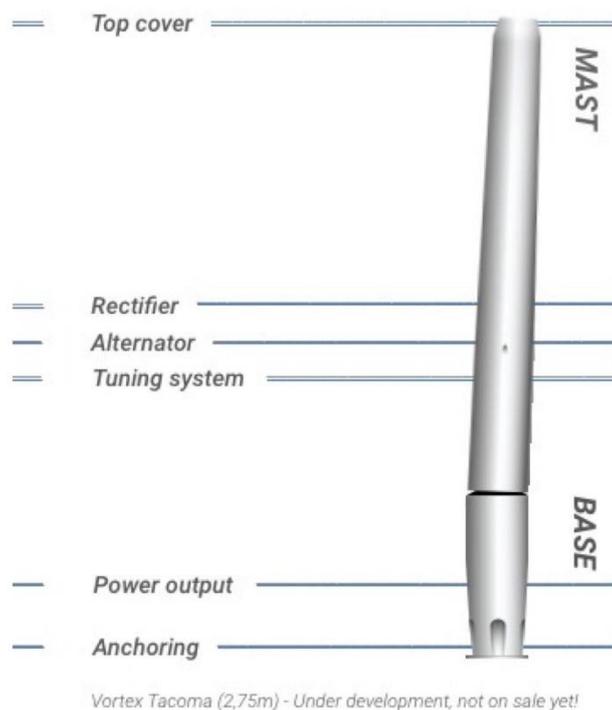


Ilustración 15. Estructura del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless.

6.3. Conversión de la energía

6.3.1. Conceptos generales

El aerogenerador Vortex basa su funcionamiento en capturar la energía del viento cuando este entra en resonancia debido al efecto del desprendimiento de vórtices. El viento circula entorno al aerogenerador donde al incidir el aire sobre un cuerpo se modifica su flujo y genera un patrón cíclico de vórtices. En la Ilustración 16 se observa un modelo computacional donde se contempla la generación de vórtices en la parte trasera de un objeto circular debido a un flujo de viento perpendicular al eje. [15]

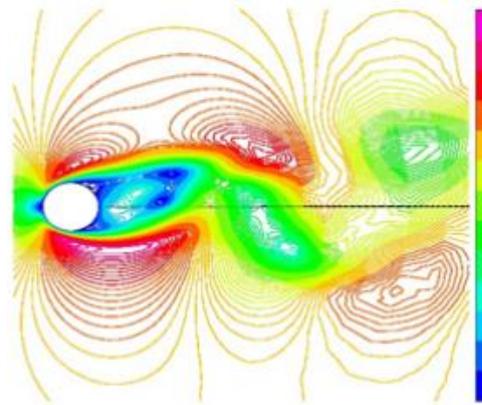


Ilustración 16. Modelo computacional de la generación de vórtices en una figura circular y esbelta.
Fuente: Vortex Bladeless.

En el momento donde estas fuerzas generadas por la modificación del flujo empiezan a aproximarse lo suficiente con la frecuencia estructural del cuerpo, este empieza a oscilar y entra en resonancia con el viento, este fenómeno se trata del Vortex Induced Vibration (VIV).

Esta oscilación producida por estar en constante resonancia con el viento por parte de la estructura y la utilización de un alternador de imanes permanentes permite la transformación de la energía del viento en energía eléctrica.

6.3.2. Desprendimiento de vórtices. Vortex Induced Vibration (VIV)

Cuando bajo un flujo, en este caso de aire, se ve interrumpido por un cuerpo/estructura se produce una perturbación de la corriente de este. En el caso del Vortex es un cuerpo esbelto sumergido en un flujo donde aguas abajo se genera un desprendimiento periódico de vórtices.

El desprendimiento de vórtices lleva consigo unas fuerzas de arrastre de carácter periódico y naturaleza dinámica, las cuales ocasionan fuertes vibraciones que al coincidir la frecuencia de dichas vibraciones con la frecuencia natural de la estructura se ocasiona la resonancia.

6.3.3. Resonancia

En el mundo de la aeroelasticidad, el viento puede inducir un movimiento oscilatorio sobre un cuerpo cuando la frecuencia natural y la frecuencia de aparición de vórtices son similares. Cuando este movimiento oscilatorio se convierte en un movimiento periódico surge la resonancia. [15]

La frecuencia de este movimiento periódico está condicionada por la expresión 1, por una constante de proporcionalidad, St , entre la velocidad media de la corriente incidente, v , debido a que los desprendimientos de vórtices provocan la aparición de fuerzas en dirección normal a la dirección del viento incidente, y es inversamente proporcional a la dimensión característica, ϕ , “dimensiones” de la superficie con la que se encuentra el flujo de aire.

$$f = \frac{St \cdot v}{\phi} \quad (1)$$

La frecuencia del movimiento periódico depende de la velocidad media del viento, pero esta velocidad media está fuertemente relacionada con la dirección de este y la diferencia de velocidades según la altura, estos dos conceptos son fundamentales cuando se estudia el diseño característico del Vortex. [16]

La dirección del viento no es constante y este es el motivo por el que los aerogeneradores convencionales deben estar posicionados de forma correcta mediante elementos de orientación para el correcto aprovechamiento de la energía eólica. Los estudios realizados por la empresa para intentar evitar desaprovechar una parte considerable de la energía en entornos urbanos, donde las direcciones del viento son más variadas debido a las turbulencias producidas por otros objetos con el viento y fomentar una forma geométrica que sea capaz de sacar el máximo partido al desprendimiento de los vórtices, se observó que una sección circular sería completamente ideal.

Esta geometría que se muestra en la Ilustración 15 tiene una forma “cilíndrica” pero con la característica que con la altura va disminuyendo el diámetro de la sección. Es debido que con la altura va aumentando la velocidad, como se puede ver en la Ilustración 17 donde se muestra La Ley exponencial de Hellman que rige la velocidad del viento con la altura.

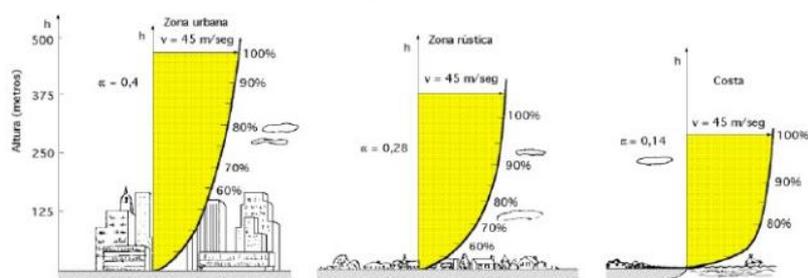


Ilustración 17. Representación de la Ley Exponencial de Hellman. Fuente: Grebus.

En conclusión, el mástil del aerogenerador del Vortex va disminuyendo la sección de este para conseguir la sincronía en el desprendimiento de vórtices a lo largo del mástil donde al aumentar la velocidad, disminuye la sección. Si se tiene un mástil con la misma sección en toda su altura provocaría una disminución de la oscilación debido a las “turbulencias” generadas por la falta de sincronismo a lo largo de este y, por tanto, una disminución de la producción.

En la Ilustración 18 se nota la disminución del diámetro del mástil en función de la altura del aerogenerador

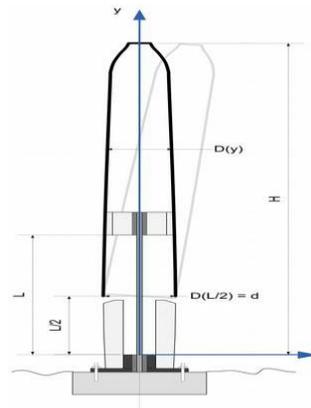


Ilustración 18. Disminución del diámetro frente a la altura. Fuente: Vortex Bladeless.

6.3.4. Sintonizado

La frecuencia de desprendimiento de vórtices depende de la velocidad del viento y teniendo en cuenta que cada cuerpo tiene una frecuencia de oscilación natural diferente, se debe modificar las características del aerogenerador para conseguir que la frecuencia natural y la causada por el desprendimiento de los vórtices coincidan. [15]

Hay estudios que han establecido un sistema con el cual eran capaces de modificar la frecuencia de los desprendimientos para ajustarse a las diferentes frecuencias naturales causadas por una gran variedad de velocidades, ya que el viento no es constante con el tiempo.

Modificar la frecuencia sin mecanismos móviles como es el aerogenerador Vortex ha necesitado de una nueva visión tecnológica para poder adaptarse perfectamente. Este aerogenerador modifica su rigidez aparente mediante un sistema de confinamiento magnético con imanes permanentes que de acuerdo con su amplitud de oscilación y el grado de flexión del núcleo han conseguido crear un sistema de sintonización de la frecuencia del aerogenerador que se va modificando según la velocidad del viento debido a que una mayor rigidez provoca una frecuencia más alta.

El motivo fundamental de buscar una forma para conseguir sintonizar la frecuencia es debido a que la frecuencia de oscilación natural de una estructura/cuerpo es fija. Esto provoca que el rango de velocidades con las que se pueda conseguir la oscilación sea muy pequeño.

Por consiguiente, con este sistema de sintonización los aerogeneradores Vortex son capaces de trabajar en un rango de velocidades mucho más amplio y aumentar el número de horas que es capaz de operar produciendo electricidad.

El comportamiento de un aerogenerador que funciona según las bases de la resonancia por VIV, desprendimiento de Vortex, sin un sistema de sintonizado se puede entender como el sistema de la Ilustración 19 donde la masa, m , es la masa del mástil, el resorte de constante de elasticidad, k , sería la varilla que sustenta el mástil y el amortiguador con constante de amortiguamiento, c , sería el alternador, incluyendo también dentro de, c , las pérdidas generadas en el sistema.

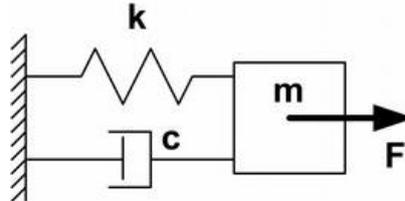


Ilustración 19. Simulación del comportamiento de un aerogenerador que funciona en base al VIV. Fuente: Vortex Bladeless.

Por tanto, tenemos un sistema sin sintonizado donde la frecuencia de la oscilación del cuerpo está condicionada, como se observa en la expresión 2, por la constante de elasticidad, amortiguamiento y la masa del cuerpo.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad (2)$$

En cambio, para conseguir el sintonizado donde este aerogenerador pueda trabajar en un rango más amplio de velocidades se pretende instalar un sistema magnético formado por dos pares de imanes permanentes enfrentados por el mismo polo mientras uno de ellos es fijo y el otro es solidario a la estructura del aerogenerador como representa la Ilustración 20.

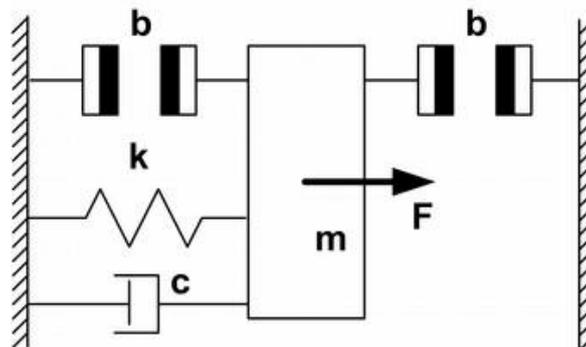


Ilustración 20. Simulación del comportamiento de una aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless.

La fuerza magnética que aparece entre dos imanes permanentes es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia media de sus polos. Es un comportamiento que se podría explicar como un resorte de compresión con un valor no constante que depende del desplazamiento donde la frecuencia de la oscilación del cuerpo también estará condicionada por k' , que representa el valor elástico correspondiente con la repulsión magnética donde un aumento de velocidad del viento produciría un incremento de amplitud de oscilación provocando que la energía potencial acumulada en la flexión del aerogenerador aumente más que con un resorte puramente lineal y, por tanto, la frecuencia de oscilación f aumentará según la expresión 3.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k+k'(x)}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad (3)$$

Este efecto de sintonizado en el aerogenerador se genera mediante una o varias parejas de imanes permanentes donde el de menor diámetro esté fijo y confinado magnéticamente dentro del de mayor diámetro que está solidario a las paredes interiores del mástil. El aerogenerador tiene una estructura cilíndrica en la que para instalar los imanes permanentes se puede llegar a tener dos posibilidades como se observa en la Ilustración 21, imanes en forma de anillo con polarización axial o radial respectivamente.

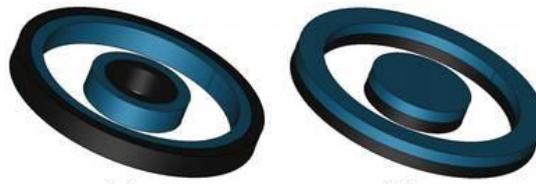


Ilustración 21. Imanes permantes axiales. Fuente: Vortex Bladeless.

Las comprobaciones del estudio de las pruebas realizadas a sus prototipos con esta nueva idea fue todo un éxito como se puede ver en la Ilustración 22 donde la línea a se trata de la evolución de las fuerzas debidas a la instalación de los imanes permanentes, es decir, de la repulsión magnética y la línea b se trata de la evolución de la fuerza debida a la elasticidad de la varilla, representado esquemáticamente como el muelle. Al combinarse estas dos fuerzas entre ellas generan una resultante totalmente constante con la evolución del incremento de la fuerza tanto positiva como negativa, haciendo referencia al movimiento oscilatorio en ambos sentidos, como muestra la línea c .

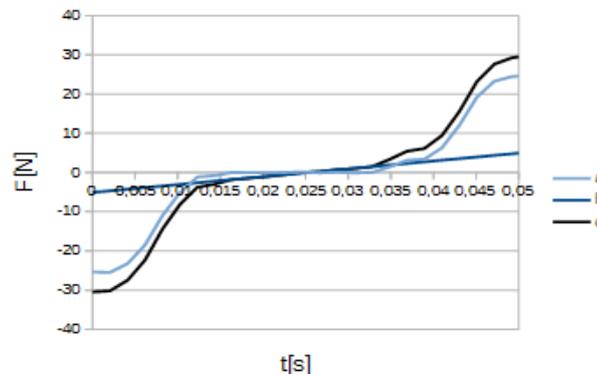


Ilustración 22. Evolución de las fuerzas debida al movimiento oscilatorio. Funete: Vortex Bladeless.

6.3.5. Alternador

La conversión de la energía estructural en energía eléctrica puede realizarse por diferentes métodos, pero la más desarrollada y que es posible con los límites que nos imponen los materiales es la conversión de energía mediante la inducción electromagnética, gracias a la utilización de un alternador de imanes permanentes. [15]

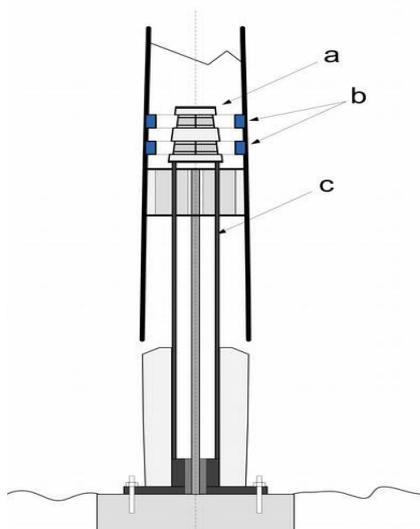
Entonces, el no tener ningún tipo de ejes móviles u otras estrategias mecánicas y una geometría cilíndrica con un movimiento totalmente variable han condicionado mucho las ideas disponibles para la instalación de un alternador.

Se han investigado diferentes opciones sobre como se debería diseñar el alternador para tener una mayor eficiencia entre la obtención de energía cuando el mástil pasa por la posición neutral, es decir, la posición totalmente vertical, debido a que aquí se encuentra la mayor velocidad o en los extremos cuando existe flexión máxima.

Parece un punto muy interesante el intento de producir energía con el alternador en el punto de máxima verticalidad del mástil, en la posición neutral de este, pero la interacción entre imanes y bobinas en esta posición puede llegar a ser casi inexistente debido a que la estructura toma una trayectoria casi circular, en ese punto, y debilita la resonancia provocando una producción nula de energía. Por tanto, se decantó por la idea de la flexión máxima porque el sistema es capaz de admitir la interacción entre bobinas e imanes en este punto.

Por otro lado, al tener en cuenta que se trata de una estructura con una geometría simétrica axial y que debe comportarse de manera idéntica independiente de la dirección del viento y su velocidad dentro de un rango. La solución que encontraron para el alternador es la misma que se utiliza para el sintonizado de la estructura frente a la variación de la velocidad del viento, el uso dual del anillo móvil tanto para la generación de energía como el sintonizado provocando una disminución del peso, del coste y un aumento de la eficiencia.

En la Ilustración 23 está representado el modelo más cercano a la realidad del Vortex donde se encuentra los imanes permanentes solidarios al mástil, *b*, el estator que está compuesto por la bobina y los imanes permanentes fijos, *a*, y el soporte fijado al suelo que sustenta al estator, *c*.



La salida de potencia eléctrica de este alternador al igual que en los aerogeneradores convencionales es alterna de amplitud y frecuencia variable.

Si se desea obtener corriente continua se deberá utilizar un sistema de rectificado, filtrado y regulación para su transformación.

Ilustración 23. Componentes del Vortex. Fuente: Vortex Bladeless.

6.4. Vida útil

Este aerogenerador se caracteriza por carecer de elementos mecánicos, componentes de transmisión como engranajes o rodamientos, en el sistema que puedan degradarse por el efecto continuo de la fricción. Sin embargo, este tipo de aerogenerador cuenta con una estructura de fibra de carbono que está sometida a una carga dinámica cíclica de flexión con un movimiento no constante producido por las variaciones con el tiempo de la velocidad del viento.

Esta carga dinámica de flexión provoca que el aerogenerador no sea inmune a la fatiga. El núcleo de la turbina sufre la flexión continua y podría llegar producirse una falla en el material, pero los materiales que se utilizan, en este caso resina reforzada con fibra de carbono, tiene unos límites de trabajo totalmente alejados de los estándares operativos del aparato.

Concentraron el foco de los estudios realizados sobre la vida útil de la varilla de fibra de carbono del interior del aerogenerador que sustenta la bobina, ya que es el componente más afectado por la deformación del material producida por la oscilación de este de un máximo de 2.7° respecto de la vertical.

Aunque según la empresa se deberán tener en cuenta unos gastos a lo largo de la vida del aerogenerador para su mantenimiento o el arreglo de piezas dañadas debido a cualquier fallo que se pueda llegar a detectar en su funcionamiento debido al paso del tiempo o por de factores externos como puede ser la climatología.

6.5. Comparativa con aerogeneradores convencionales

La Ilustración 24 corresponde de derecha a izquierda de un aerogenerador de eje horizontal (HAWT), aerogeneradores de eje vertical (VAWT) y el aerogenerador Vortex. Los aerogeneradores Vortex no entran en la familia de ninguna de ellas debido a que se trata de una máquina que carece de rotación y de eje en su estructura. [14]

Esta nueva tecnología, actualmente en desarrollo, no ha llegado a la madurez necesaria para poder tener una idea real de las capacidades de esta. Por tanto, todos los datos referidos a su esperanza de vida o su capacidad de generación proporcionados sobre este tipo de “turbinas” son estimaciones sacadas de los primeros estudios con prototipos y simulaciones computacionales.

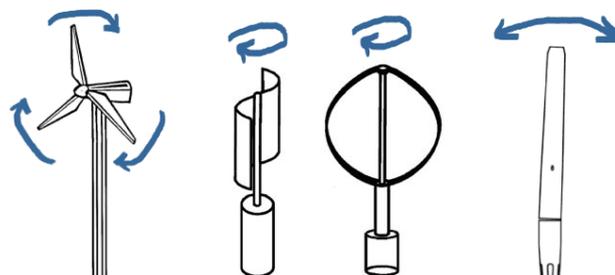


Ilustración 24. Diferentes tipos de aerogeneradores. Fuente: Vortex Bladeless.

Las principales diferencias entre estos tipos de aerogeneradores se pueden contemplar según; [16]

- **Direccionamiento del viento**

Los aerogeneradores Vortex no necesitan ningún tipo de sistema de orientación ni de un estudio previo a la instalación para conocer el mejor emplazamiento de la estructura para sacar el máximo beneficio a la extracción de la energía eólica como sucede en los aerogeneradores convencionales, únicamente de los HAWT ya que los aerogeneradores VAWT no la necesitan.

Esta fácil adaptación a los cambios constantes de la dirección del viento proporciona una capacidad extraordinaria para su instalación en ambientes urbanos, donde a diferencia de entornos rurales alejados de las ciudades, existen turbulencias/cambios de dirección del viento a causa de las diferentes variaciones del flujo debido al choque con otras estructuras.

- **Componentes**

Este aerogenerador carece de cualquier componente mecánico móvil como puede ser elementos de transmisión como engranajes, rodamientos, casquillos o incluso frenos que se puedan degradar con el desgaste por el paso de los años debido al efecto continuo de la fricción.

Además, al carecer de estos tipos de elementos no tienen que usar lubricantes para el correcto funcionamiento de estos y tampoco necesita ningún dispositivo que ayude al arranque de este.

- **Disposición en el terreno**

Los aerogeneradores HAWT debe tener en cuenta el efecto de la estela cuando se pretende hacer un diseño de un nuevo parque eólico. El efecto estela, provoca la disminución de la velocidad del viento y el crecimiento del efecto de las turbulencias, aguas arriba del aerogenerador afectado por la estela que se refleja en la ilustración como se observa en la Ilustración 25. [18]

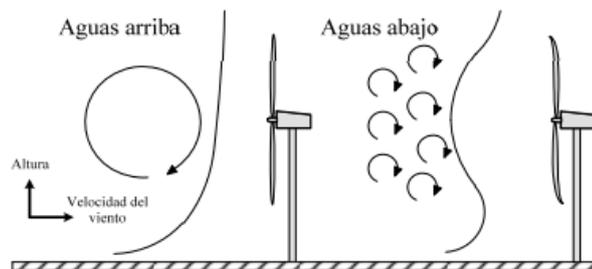


Ilustración 25. Efectos estela en los aerogeneradores convencionales. Fuente: Médez, C.

Deben mantener una separación entre ellas entre 5 y 9 diámetros del rotor en la dirección del viento predominante y entre 3 y 5 diámetros separados a los vientos dominantes mientras que la distancia de separación entre los Vortex es un diámetro alrededor del aerogenerador de la mitad de la altura de este. [8]

Este fenómeno también se aplica a menor escala con los aerogeneradores que se instalan en zonas como terrazas o jardines. Por tanto, en zonas urbanas con un espacio reducido que requieran una elevada concentración de aerogeneradores para suministrar una potencia determinada será complicado la instalación de aerogeneradores de eje horizontal debido al efecto estela.

Aunque, siempre será posible aumentar el tamaño del HAWT para suministrar la potencia indicada. Podría estar limitado este aumento de tamaño por capacidad estructural del edificio o por leyes urbanísticas de la región que denieguen el incremento.

En cambio, en los aerogeneradores VAWT el efecto estela no es un condicionante tan grande y se asimila más a las características del Vortex.

- Capacidad de generación

La capacidad de generación es uno de los puntos clave a la hora de elegir o fijarse si un dispositivo puede ser empleado para la posible instalación y, por tanto, en el siguiente apartado se profundiza en el tema.

El Vortex tiene una capacidad menor que los demás dispositivos, pero empieza su producción de energía antes. Significa que en lugares donde la velocidad media sea baja, el Vortex puede llegar a ser una opción con más viabilidad.

6.6. Capacidad de generación

El aerogenerador Vortex comienza a producir antes que los demás aerogeneradores, entorno de los 3 m/s mientras que HAWT y los VAWT rondan aproximadamente los 4-5 m/s. Al comenzar antes la generación de energía, significa que también alcanzarán antes la máxima producción de energía.

En la Tabla 5 muestra la potencia generada por turbinas HAWT y VAWT promedio frente a una futura turbina, ya industrializada y puesta para la venta al público, de un Vortex Tacoma de 2,75m, que se trata del modelo de aerogenerador que está contemplado en este estudio, dependiendo de la velocidad del viento. [14]

Tabla 5. Comparativa de la producción de distintos tipos de aerogeneradores según la velocidad del viento. Fuente: Propia.

Velocidad del viento (m/s)	HAWT pequeño	VAWT pequeño	Vortex Tacoma
3	0	0	3 W
6	72 W	44 W	35 W
7	104 W	66 W	60 W
8	135 W	86 W	80 W
9	160 W	105 W	93 W
Velocidad nominal	400 W	200 W	100 W

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

El factor más importante es la representación de la producción real respecto a la velocidad del viento ya que en pocas ocasiones se va a alcanzar la velocidad suficiente para producir la potencia nominal del aerogenerador debido a la colocación a nivel de suelo.

Se observa en la Tabla 5 la variación de la potencia generada según la velocidad media donde el Vortex tiene un máximo de producción de potencia mucho más bajo que los otros tipos, pero alcanza la potencia nominal alrededor de los 10 m/s mientras que los demás necesitarán rachas de incluso 15-16 m/s para alcanzar su potencia nominal.

Estas velocidades en entornos urbanos son poco frecuentes y se debe tener en cuenta capacidad de generación con velocidades menores a la nominal para el cálculo de la generación de energía que sería capaz de generar en el caso de realizar la instalación teniendo en cuenta las velocidades medias de la zona y dependiendo de las variaciones provocadas por las horas y los meses.

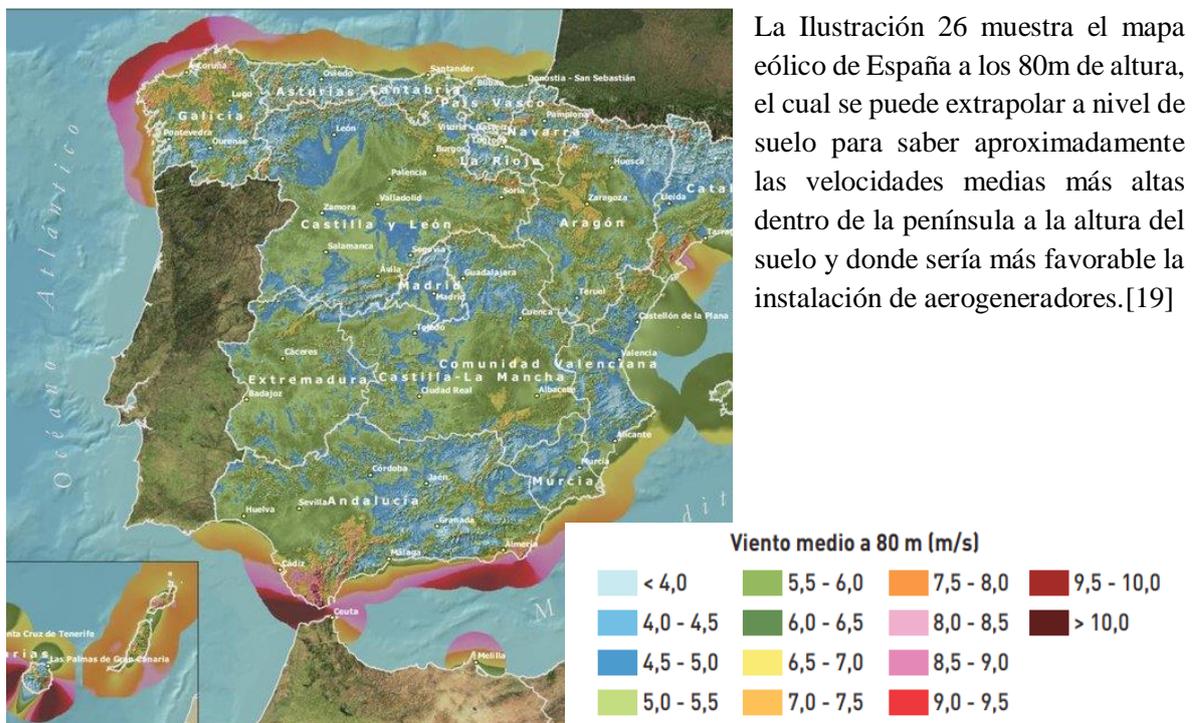


Ilustración 26. Velocidades medias en el territorio español. Fuente: ABB.

6.7. Comparación de factibilidad

Aquellas turbinas que alcanzan una mayor potencia nominal, comenzando a producir energía a unas velocidades superiores a los aerogeneradores Vortex, suelen trazar una curva de eficiencia en velocidades bajas. Es decir, el “factor de aprovechamiento” de cada tipo de aerogenerador no es directamente proporcional a la potencia nominal que posea, si no que los aerogeneradores que alcanzan potencias nominales altas funcionarán mal, a nivel de eficiencia, con vientos débiles que son comunes en entornos urbanos. [14] [16]

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

La Ilustración 27 muestra una estimación de la producción real de cada tipo de aerogenerador dividido por su potencia nominal para poder tener una visión de la eficiencia de los diferentes aerogeneradores para un rango de velocidad común en entornos urbanos.

Muestra la perspectiva de una zona donde los vientos mantienen unas velocidades medias menores de los 8-9 m/s donde la eficiencia de los Vortex está por encima de todas las demás, pero si nos vamos a velocidades superiores de 11-12 m/s se podría ver como los aerogeneradores verticales y horizontales aumentan su eficiencia mientras que la del Vortex cae en picado debido a que en velocidades superiores a estas deja ya de funcionar y ,por tanto, de producir energía.

Así pues, la tecnología Vortex no es una sustituta como tal de los diferentes aerogeneradores existentes. Dependiendo de las características de la zona en la que se quiera instalar un nuevo aerogenerador se tendrá en cuenta todos los datos relacionados con altura, velocidades, tamaño, terreno disponible y potencia a instalar para una elección eficaz del tipo de aerogenerador.

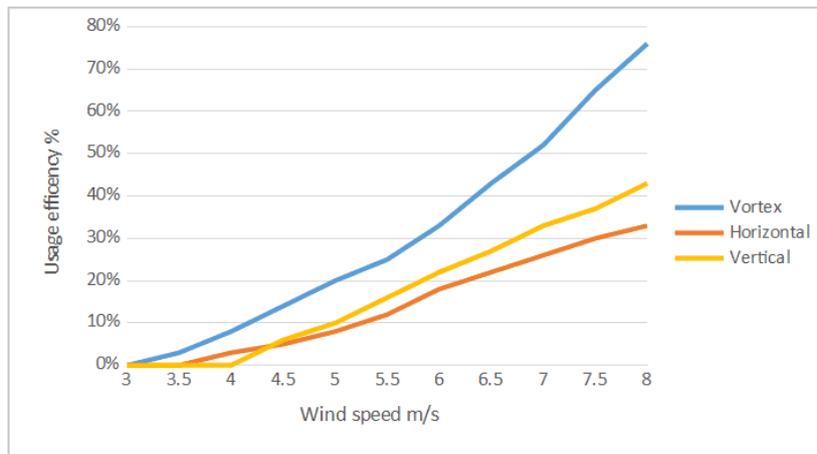


Ilustración 27. Relación según la eficiencia y la velocidad del viento de cada aerogenerador.
Fuente: Vortex Bladeless.

Los estudios preliminar para conocer la comparativa entre los diferentes sistemas de producción de energía teniendo en cuenta la inversión inicial de la instalación frente a la capacidad de producción en el intervalo de un año según diferentes velocidades. [14]

Esta comparativa para que fuera totalmente real, como podría ser el estudio de Costo Nivelado de Energía (LCoE), debería contemplar muchos más factores que albergan a la vida y uso de los diferentes tipos de aerogeneradores como son el mantenimiento que deben tener a lo largo de los años y pérdida de eficiencia y ,por tanto, de la capacidad de producción de energía con el paso de los años que no han sido incluidos por falta de información.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

En consecuencia, en la Ilustración 28 se puede analizar que el Vortex, solo teniendo en cuenta la inversión inicial respecto a la producción (kWh/€ por año), tiene una capacidad competitiva considerable ya que se asemeja mucho el coste de la inversión inicial con la producción a los otros aerogeneradores. Incluso al ser los gastos de mantenimiento menores, este indicador será aún más favorable, teóricamente, para el Vortex.

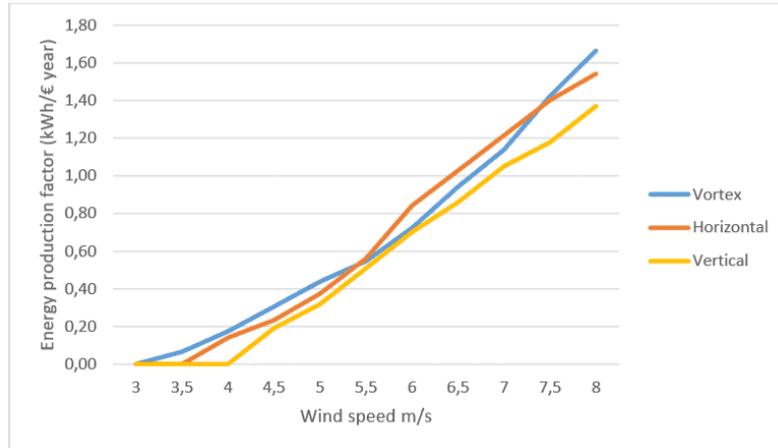


Ilustración 28. Relación entre el coste de la inversión inicial y la producción generada de cada aerogenerador. Fuente: Vortex Bladeless.

6.8. Impacto ambiental

La energía eólica está en pleno auge en todo el mundo con el trasfondo de una transición ecológica hacia las energías renovables y a conseguir independencia energética respecto de otros países.

Los beneficios de la energía eólica residen en la nula producción de gases de efecto invernadero ni de residuos, sin olvidar el tema del gasto de agua por parte del gas y el petróleo para su producción debido a que es la industria que más agua consume a nivel mundial estando por encima de incluso la agroalimentaria. Por tanto, el fomento del uso de la tecnología eólica ayuda de diferentes maneras a la mejora y conserva del medio ambiente.[14] [20]

Sin embargo, la producción de los componentes necesarios para la construcción de los aerogeneradores tanto mecánicos como eléctricos no están exentos de la generación de contaminación. Con el paso de los años se están utilizando materiales que al final de la vida útil del aerogenerador se les puede dar una segunda vida reciclando estos materiales, pero algunos tipos de plásticos o fibras son imposibles de reciclar. Aquí tiene que mejorar la industria del reciclaje encontrado nuevas formas para avanzar en este o intentar alcanzar por parte de las empresas otros materiales que sean alternativos para la fabricación.

Respecto a la instalación de estos a gran escala para la producción de energía que será vertida a la red se tienen en cuenta los requisitos medioambientales para su correcta instalación como distancias mínimas a carreteras o ciudades, ruidos, protección de parques naturales, reservas... y evitar estar en lugares de paso frecuentado por aves. Cuando se habla de “minieólica” para una instalación en una casa o edificio para un autoconsumo, la mayoría de las restricciones medioambientales desaparecen debido a su pequeño tamaño, y se centran más en el ruido que puede llegar a producir provocando perturbaciones en el descanso de personas y animales o la interferencia con dispositivos emisores de frecuencia.

En consecuencia, a la ausencia de partes móviles provoca que el ruido sea prácticamente nulo y que no se deba reciclar el lubricante u otras partes móviles al final de la vida del aerogenerador.

7. ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

7.1. Paneles solares

Para seleccionar las placas solares que serán colocadas en la instalación se hará un análisis de tres placas que destacan en el mercado por sus prestaciones-precio.

Se trata de dos paneles de la marca JA Solar, de 455 W y 460W respectivamente, y de otra de la marca JINKO de 570 W, siendo todas ellas paneles de silicio monocristalina.

Todas ofrecen una garantía de 12 años por encima del 90% de su potencia nominal y una degradación lineal de la capacidad de producción de energía de un 0.55% anual durante 25 años, estimación aproximada de la vida útil de los paneles donde aún siguen teniendo una rentabilidad.

En la Tabla 6, están las características eléctricas y físicas de cada uno de los paneles más la eficiencia y el precio de estas.

Tabla 6. Características de diferentes placas fotovoltaicas. Fuente: Propia.

	JA SOLAR MONO 455W	JA SOLAR MONO 460W	JINKO MONO 570W
Eficiencia del módulo	20,50%	20,70%	20,85%
Precio (sin IVA)	172,93 €	187,32 €	242,50 €
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Potencia nominal (Pmax)	455 Wp	460 Wp	570 Wp
Voltaje de circuito abierto (Voc)	49,85 V	50,01 V	53,74 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	11,41 A	11,45 A	13,52 A
Voltaje nominal (Vmp)	41,82 A	42,13 A	44,29 V
Intensidad nominal (Imp)	10,88 A	10,92 A	12,87 A
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
Dimensiones (mm)	2112x1052x35	2112x1052x35	2411x1134x35
Superficie (m2)	2,23	2,23	2,73
Peso (Kg)	24,7	24,7	30,6

Según la Tabla 4 se obtiene un consumo anual de 46570 kWh por parte de la empresa. Mediante la plataforma de PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), que pertenece al departamento de ciencia y conocimiento de la Comisión Europea y ofrece datos de la radiación solar de la región seleccionada, dentro de las diferentes regiones de Europa, y la capacidad de producción según la orientación, la inclinación, la ubicación y la potencia a instalar, se puede sacar que con 30kW de instalación fotovoltaica podrán alcanzar el valor del consumo anual de la empresa. [21]

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

En la Tabla 7 están las relaciones entre precio, superficie y el peso de cada una ellas en relación a los vatios que tiene. Además, muestra el número de placas necesarias según cada placa (siendo la potencia a instalar, 30 kW, entre la potencia de cada una de ellas).

En términos de superficie y peso la placa de JINKO de 570 W es la más recomendable. Sin embargo, cuando se habla del factor más condicionante que es la relación entre el precio y los vatios que dispone el panel, el panel de JA Solar de 455 W tiene una mejor relación.

Como la superficie disponible en la cubierta de la nave del cliente y el peso es poco significativo como para tenerlo en cuenta debido a que se trata de una instalación pequeña y, por tanto, de una cantidad de placas moderada. Solamente se tendrá en consideración la relación entre precio y vatios.

Tabla 7. Comparativa de diferentes placas fotovoltaicas. Fuente: Propia.

	JA SOLAR MONO 455W	JA SOLAR MONO 460W	JINKO MONO 570W
€/W	0,46	0,49	0,51
W/m ²	204,04	206,28	208,79
W/Kg	18,42	18,62	18,63
Nº PLACAS	65	65	52
PRECIO (sin IVA)	11.240,45 €	12.175,80 €	12.610 €

En conclusión, se selecciona los paneles de 455 W de la marca JA Solar para la instalación fotovoltaica en la empresa JOFER S.L por un total, sin IVA, de 11.240,45 €.

7.2. Inversor

En una instalación fotovoltaica es totalmente imprescindible el uso de un inversor previo a la conexión que existe a la red eléctrica, ya que este es el encargado de la transformación de la corriente continua proveniente de la producción de energía por parte de las placas fotovoltaicas en corriente alterna para poder verterla en la red para vender o autoconsumir. El inversor deberá de incorporar un sistema de seguimiento del punto máximo de potencia (MPPT) que permita a la instalación la maximización de la producción y que esta supere alrededor del 30% de la potencia pico del generador fotovoltaico.

Actualmente, existe una gran cantidad de inversores, pero debido a la fiabilidad y al precio se va a elegir la marca HUAWEI que dispone del modelo SUN2000. Dentro de la gama de ese modelo encontramos con tres tipos de inversores según la potencia nominal de este. La instalación que se realizará en la carpintería tendrá aproximadamente unos 30kW de potencia pico generado por las placas.

El inversor HUAWEI SMART PV CONTROLLER SUN2000 - 30KTL-M3 tiene un coste, sin tener en cuenta el IVA, de 2.579,78 €

En la Tabla 8 se tiene las características básicas del inversor que junto a las características de la placa fotovoltaica condicionará la forma de la instalación, la colocación de las placas en paralelo y en serie, y si será capaz el inversor de soportar el conjunto de placas a nivel de tensión y corriente.

Tabla 8. Características del inversor. Fuente: Propia.

HUAWEI SMART PV CONTROLLER SUN2000	30KTL-M3	36KTL-M3	40KTL-M3
Valores de entrada (DC)			
Tensión máxima de entrada (V)	1100		
Intensidad de entrada máxima por MPPT (A)	26		
Intensidad de cortocircuito máxima (A)	40		
Rango de tensión de operación (V)	200-1000		
Tensión nominal de entrada (V)	600		
Cantidad de entradas	8		
Cantidad de MPPT'S	4		
Valores de salida (AC)			
Potencia nominal (kW)	30	36	40
Tensión nominal de salida (V)	230/400		
Intensidad nominal de salida (A)	43,3	52	57,8
Intensidad máxima de salida (A)	47,9	58	63,8
Máxima distorsión armónica	< 3%		

7.3. Estructura

Para poder poner las placas fotovoltaicas sobre la cubierta metálica de la empresa se va a necesitar una estructura coplanaria, en este caso de la marca Falcat, que vaya anclada a la cubierta y sea capaz de soportar las dimensiones de las placas.

En la Ilustración 29 se observa como es este tipo de estructuras van enganchadas a la cubierta tipo sándwich o metálica.



Ilustración 29. Estructura coplanaria. Fuente: AutoSolar.

Existen varias opciones a la hora de elegir las diferentes estructuras, que se diferencian por la cantidad de placas que pueden llevar en una sola estructura, siendo las más destacadas las estructuras que pueden tener 5 o 6 placas debido a su mejor relación precio/ nº de placas.

Esta relación es la que se utiliza en la Tabla 9 para comprobar cuál de ellas tiene un precio menor por número de placas. Se comprueba que la estructura coplanaria de solamente 5 placas es más rentable económicamente.

Tabla 9. Comparativa de diferentes estructuras coplanarias. Fuente: Propia.

	COPLANARIA 6 PLACAS	COPLANARIA 5 PLACAS
PRECIO (sin IVA)	164,87 €	135,53 €
€/PLACA	27,47 €	27,11 €

Por consiguiente, se utilizarán 13 estructuras coplanarias de 5 paneles cada una de ellas, formando un total de 65 paneles, por un precio total, sin IVA, de 1.761,5 €.

7.4. Costes de instalación y mantenimiento

Dentro de una instalación fotovoltaica existen diferentes costes que influyen de mayor o menor manera al coste total de la instalación, pero que en ningún momento se deben de ignorar.[22]

Para conocer los costes finales de la instalación, excluyendo momentáneamente los costes relacionados con el estudio de la elaboración del proyecto, se tiene que tener en cuenta que se está realizando un estudio donde no se va a realizar el diseño como tal de la instalación. Por tanto, los costes relacionados con el cableado y obra civil se deben de estimar para conocer con más exactitud el coste posible del conjunto de la instalación.

En la Ilustración 30 se observa la evolución de los costes de inversión de una instalación de tecnología cristalina en tejado.

Este coste, como se puede analizar, está subdividido entre todos los costes que existen cuando se realiza una instalación.

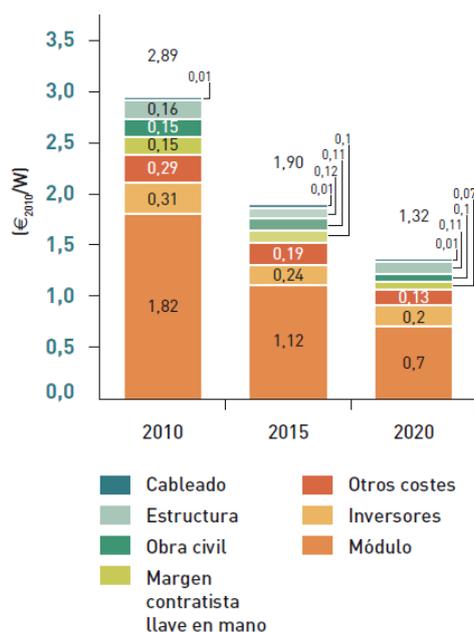


Ilustración 30. Coste de una instalación fotovoltaica sobre cubierta por €/W. Fuente: IDAE

Se va a comprobar la fiabilidad de esta relación por €/W mediante el precio total de las placas fotovoltaicas ya que supone aproximadamente el 53% de la inversión de una instalación.

Se tienen 65 paneles a un precio, sin IVA, de 172,93 € que hace un total de 11.240,45 €, que supone el 53% de la inversión (siendo 0,7 €/W de cada 1,32 €/W de inversión).

Por tanto, según estos datos el inversor debe estar en torno al 15% de la inversión teniendo un coste, sin IVA, de alrededor de 3.181,26 € y la estructura donde se debe de colocar los paneles sobre la cubierta deben de tener un coste cercano al 8,35% del total siendo este, sin IVA, aproximadamente de 1.770,90€.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

El inversor elegido de la marca HUAWEI tiene un coste de 2.579,78 € y las estructuras coplanarias elegidas tienen un coste de 1.761,89 €. Se puede contemplar que el coste de la estructura se aproxima mucho al precio estimado, mientras que el inversor tiene un precio mucho menor con una diferencia de más de 500 €. El bajo precio del inversor nos proporciona una idea de lo rápido que se está mejorando el mundo relacionado a la solar donde en una pequeña variación de tiempo ha sido posible una disminución de precio considerable. En la actualidad, disminuir el precio de las placas como tal ya es un poco difícil porque es una tecnología muy desarrollada, al igual que la estructura metálica. Sin embargo, cuando se refiere al tema del almacenamiento energético y a los inversores, estos pueden llegar a tener grandes modificaciones en las prestaciones y en el precio en un corto periodo de tiempo.

Entonces, se puede establecer un coste de la inversión inicial a partir de todo lo anterior (Tabla 10).

Tabla 10. Coste inicial total de la instalación fotovoltaica. Fuente: Propia

DESCRIPCIÓN	COSTE
PLACAS JA SOLAR 455 W MONOCRISTALINO	11.240,45 €
INVERSOR HUAWEI SMART PV CONTROLLER SUN2000 - 30KTL-M3	2.579,78 €
ESTRUCTURA COPLANARIA FALCAT DE 5 PANELES	1.761,89 €
CABLEADO	160,67 €
OBRA CIVIL	1.606,70 €
MARGEN CONTRATISTA LLAVE EN MANO	1.124,69 €
OTROS COSTES	2.088,71 €
SUMA	20.562,88 €
IVA (21%)	4.318,20 €
TOTAL	24.881,09 €

En resumen, el coste inicial de la instalación fotovoltaica ascenderá hasta los 20.562,88€, sin tener en cuenta el IVA.

En cambio, el mantenimiento de la instalación fotovoltaica se puede ver reflejado en la Ilustración 31 donde se estima, independientemente de la tecnología del módulo, los costes de operación y mantenimiento para una instalación sobre cubierta. [22]

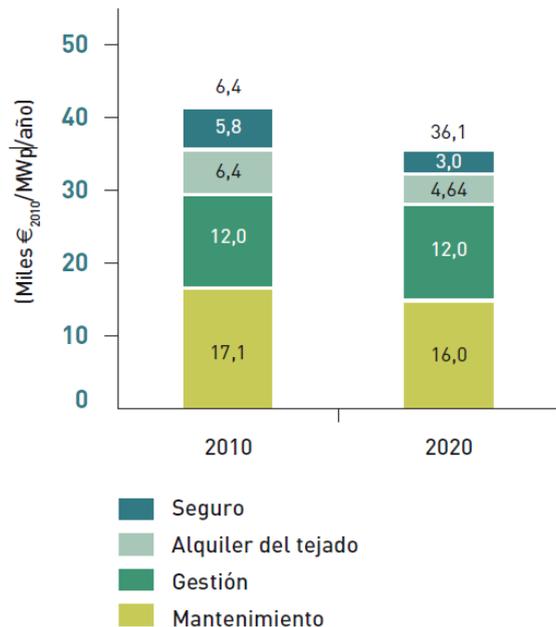


Ilustración 31. Costes del mantenimiento de las placas fotovoltaicas sobre cubierta por Miles€/MWp. Fuente:IDAE.

Teniendo en cuenta que la instalación del estudio tiene una potencia de 30 kWp y el alquiler del tejado es nulo, se obtiene un gasto anual de mantenimiento y gestión de 943,8 €.

Este coste de mantenimiento irá aumentando con los años debido al deterioro de la instalación y la inflación, que se supone aumentará un 2% anual durante toda su vida útil.

7.5. Dimensionado y disposición de las placas

Primero, se realiza mediante las características de la instalación, las placas y el inversor la distribución eléctrica necesaria para cumplir las restricciones impuestas por la corriente y tensión del inversor, es decir, la forma que tienen que estar conectadas entre ellas.

En el Anexo II se observa todo el procedimiento que se elabora para conocer los límites, cantidad máxima y mínima de placas que se pueden conectar, de la instalación para elaborar una distribución de ellas en serie y paralelo.

En resumen, se obtiene, teniendo en cuenta la variación de la temperatura, que el número de placas en serie se encuentra entre 6 y 20 placas mientras que el número de placas en paralelo no puede ser mayor de 8 líneas. Sin embargo, para conseguir una mayor eficiencia en la instalación, sacar el máximo rendimiento a las placas, se debe de instalar 13 placas en serie.

En conclusión, el objetivo de toda instalación es sacar el máximo rendimiento de las placas fotovoltaicas. Por tanto, se consigue una instalación con **13 módulos en serie y 5 líneas de módulos en paralelo**.

A partir de esta conclusión sobre la distribución eléctrica que deben tener las placas, se empezaría con el diseño de la instalación fotovoltaica. No obstante, el diseño de la instalación eléctrica queda fuera del estudio de viabilidad realizado en el presente trabajo.

Por otro lado, la distribución eléctrica no condiciona la distribución física en la cubierta de la empresa. La instalación consta de 65 paneles que van colocados sobre la cubierta en módulos de cinco debido a la estructura coplanaria. Por tanto, se tienen 13 “módulos” de paneles que se deben de colocar sobre la cubierta en las dos naves que dispone la empresa.

Todos los “módulos” se podrían llegar a colocar juntos, pero para ahorrar que pueda haber un fallo o deformación en la cubierta, se va a distribuir en 6 y 7 “módulos” en cada una de las fachadas sur de las naves a dos aguas.

Una posible colocación sobre la cubierta se encuentra reflejada en el Plano II del documento donde se observa la separación de los “módulos” en las dos fachadas sur de las naves a dos aguas y una ampliación de un “módulo” con sus medidas respectivas.

7.6. Producción y ahorro de energía

Se muestra los parámetros más importantes que se introducen en la plataforma PVGIS, en la Tabla 11, y los más relevantes de la simulación suministrando información de forma global tanto de las pérdidas combinadas del sistema como la irradiancia y potencia producida anual. [21]

Tabla 11. Resultado de la simulación de PVGIS. Fuente: Propia.

Datos de la instalación	
Latitud (grados)	38,237
Longitud (grados)	-0,815
Tipo de panel	Silicio cristalino
Potencia instalada (kWp)	30
Pérdidas de sistema (%)	14
Inclinación (grados)	9
Azimut (grados)	0
Datos de la simulación	
Producción anual (kWh)	45507,47
Irradiación anual (kWh/m ²)	1979,99
Pérdidas combinadas del sistema	23,39
Ángulo de incidencia (%)	3,09
Efectos espectrales (%)	-0,44
Temperatura y baja irradiancia (%)	8,48

El cálculo de la energía total producida por la instalación viene determinado por el número de módulos, la potencia nominal del módulo en el punto de potencia máxima, las horas sol pico anuales y el factor de pérdidas de la instalación, el cual se amolda al valor estimado obtenido por las pérdidas de PVGIS, que se muestra en la expresión 4.

Las horas sol pico (HSP) son la cantidad de horas que en un determinado lugar se va a encontrar de manera hipotética una irradiación de 1000 W/m². Una hora solar pico equivale a 1 kWh/m².

La Ilustración 32 muestra los valores obtenidos de la plataforma PVGIS sobre HSP mensual donde se observa cómo va aumentando la media cuando se va acercando la época estival.

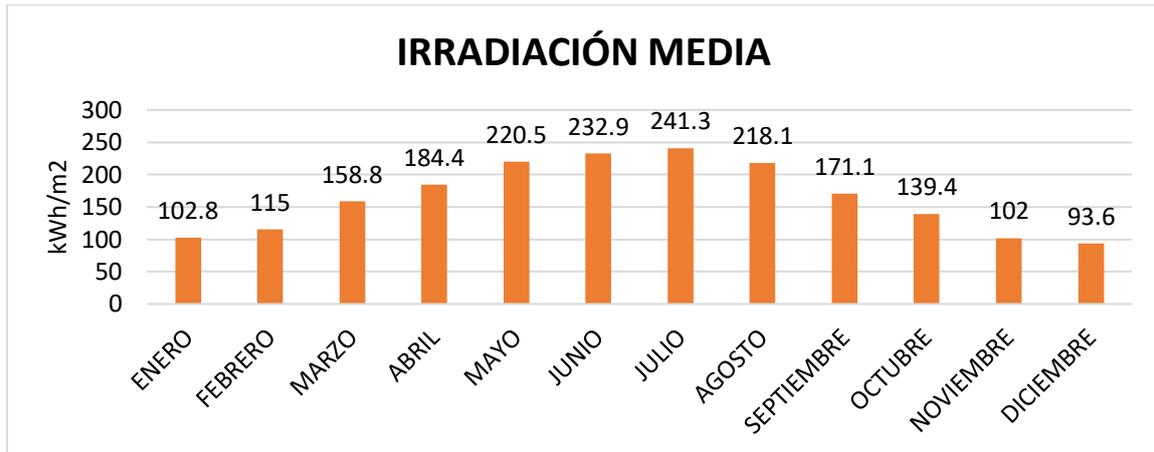


Ilustración 32. Irradiación media en la ubicación de la empresa. Fuente: PVGIS.

El factor de pérdidas obtenido en la plataforma es condicionado en función de la pérdida por los efectos espectrales, pérdidas por temperatura, baja irradiancia y del ángulo de incidencia de los rayos de sol en los módulos. También se tiene en cuenta las pérdidas del sistema que relacionan las pérdidas producidas por la suciedad en las placas que producen una disminución de la producción y de pérdidas producidas por el transporte y la conversión a corriente alterna por los componentes de la instalación. [23]

$$E_{\text{producida_anual}} = N^{\circ} \text{ de paneles} \times (P_{\text{placa}} \times HSP_{\text{anual}} \times \text{Pérdidas}) \quad (4)$$

Siendo;

- N° de paneles: el número de módulos que hay en la instalación, en este caso son 65.
- P_{placa} : potencia nominal máxima del módulo, siendo de 455 W.
- HSP_{anual} : horas de sol anuales en la ubicación de la empresa, siendo de 1.979,99h.
- Pérdidas : factor de pérdidas de la instalación, siendo de 23,69% las pérdidas hipotéticas en la instalación. Entonces el valor del factor de pérdidas será de 76,31%.

Se obtiene mediante la expresión 4 un total de 45.373,24 kWh/anuales producidos en la instalación. Para una instalación teórica simulada en la plataforma PVGIS, donde no se contempla que el panel que se utiliza en la instalación es un cristal monocristalino, resulta casi idénticos obteniendo un valor de 45.507,47 kWh/anuales. Por tanto, se puede contemplar los datos de kWh mensuales para el cálculo de la energía que se produce y su comparativa con la demanda diurna para conocer la relación que tiene y los excedentes o faltas que puede llegar a tener en la instalación.

Después de conocer que la simulación en PVGIS confirma la cantidad de energía producida anualmente se centrará en la producción mensual y en la obtención de la relación frente al consumo de la empresa.

La plataforma PVGIS proporciona, al igual que con la irradiación, los valores medios de producción mensual a lo largo de un año respecto a los datos que se han introducido por el usuario. Se refleja en la Ilustración 33 los valores de la producción media de cada mes.

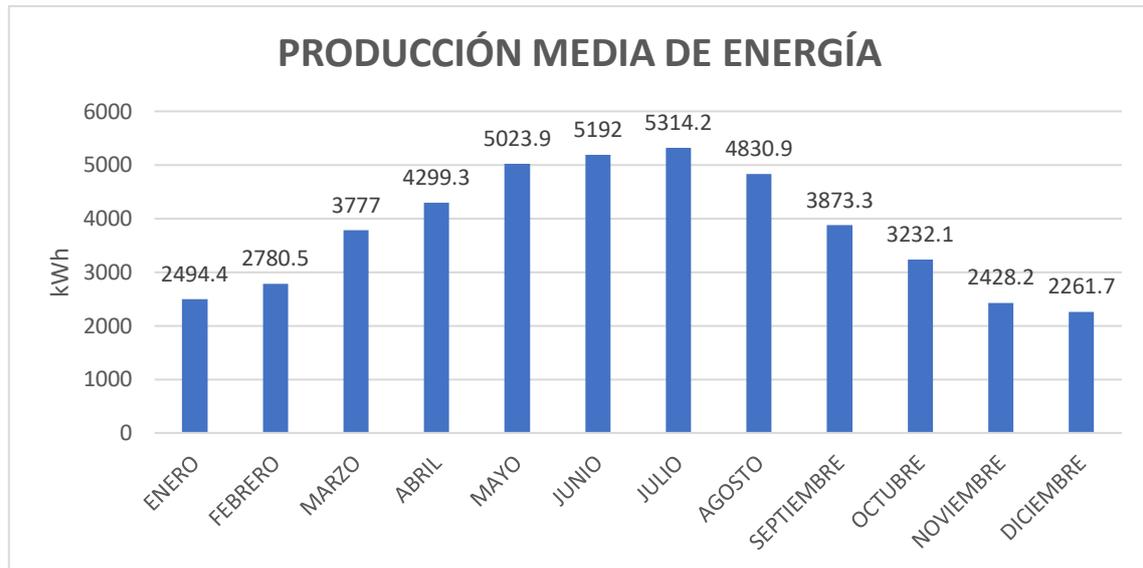


Ilustración 33. Producción media de la instalación. Fuente: PVGIS.

Estos datos se compararán con el consumo real mensual de la empresa que ha tenido en el último año para conocer la relación de autoconsumo que se obtendría con este sistema y, por tanto, los excedentes o la necesidad de comprar energía a la cooperativa eléctrica.

Primero se calcula la relación entre el consumo mensual a lo largo de un año con el consumo que tiene la empresa en horario diurno, considerando horario diurno de las 9:00h hasta las 18:00h.

Como se ha explicado anteriormente, el horario laboral de la empresa comienza alrededor de las 9:00h y termina a las 18:00h. Es una empresa que no dispone de maquinaria pesada que pueda llegar a consumir grandes cantidades de energía durante la jornada laboral. Todo el gasto energético que tienen durante los últimos años es debido al consumo de las luminarias que se tienen en toda la empresa haciendo hincapié en la parte de la exposición donde tiene una colección y muestras de las diferentes gamas que ofrecen en la empresa relacionadas con la comercialización del parquet.

Por tanto, cuando no se está dentro de la jornada laboral todas estas luminarias que están dentro de la empresa estarán totalmente apagadas y solo quedarán las que alumbran a la fachada y al aparcamiento de la empresa. Esta situación provoca que exista una alta relación entre el consumo diurno y el total, como se muestra el consumo mensual de la empresa, el consumo en el intervalo considerado como diurno y la relación entre ellas a lo largo de un año.

Se obtiene, aproximadamente, que un 70% de la energía consumida por la empresa se consume en el horario diurno. El dato anómalo de la relación es agosto debido a que la mayoría del mes o casi en su totalidad están de vacaciones y la mitad de su consumo se realiza por la noche por las luminarias exteriores que siguen estando encendidas incluso cuando están de vacaciones en la empresa.

Tabla 12. Relación entre el consumo diurno y total de la empresa. Fuente: Propia.

	MES	DEMANDA TOTAL (kWh)	DEMANDA DIURNA (kWh)	RELACIÓN
2021	ABRIL	6258	4375	69,91%
	MAYO	4419	3350	75,81%
	JUNIO	2570	1800	70,04%
	JULIO	3111	2300	73,93%
	AGOSTO	1121	607	54,15%
	SEPTIEMBRE	5043	3900	77,33 %
	OCTUBRE	3340	2000	59,88%
	NOVIEMBRE	3482	2250	64,62%
	DICIEMBRE	3288	2200	66,91%
2022	ENERO	4257	2950	69,30%
	FEBRERO	5088	3800	74,69%
	MARZO	4593	3500	76,20%

Esta alta relación entre los consumos proporciona un caso bastante favorable para la instalación fotovoltaica que pueda llegar a compensar toda o casi toda la totalidad del consumo diurno de la empresa. Después de conocer la relación y el consumo que se produce durante el intervalo de horas consideradas como diurnas se puede comparar con la energía producida por la instalación fotovoltaica.

En la Tabla 13 se relaciona el consumo diurno de la empresa, la capacidad de producción de las placas fotovoltaicas y la capacidad de autoconsumo que se tendrían en cada mes. Se obtiene que la instalación fotovoltaica es capaz de abastecer a la empresa todo su consumo diurno durante todos los meses del año excepto los meses de enero y febrero donde se necesitará comprar la diferencia a la cooperativa eléctrica.

Tabla 13. Capacidad de autoconsumo proporcionado por la instalación. Fuente: Propia.

MES	CONSUMO DIURNO (kWh)	PRODUCCIÓN SOLAR (kWh)	CAPACIDAD DE AUTOCONSUMO
ENERO	2950	2494,4	84,56%
FEBRERO	3800	2780,5	73,17%
MARZO	3500	3777	107,91%
ABRIL	4375	4299,3	98,27%
MAYO	3350	5023,9	149,97%
JUNIO	1800	5192	288,44%
JULIO	2300	5314,2	231,05%
AGOSTO	607	4830,9	795,86%
SEPTIEMBRE	3900	3873,3	99,32%
OCTUBRE	2000	3232,1	161,61%
NOVIEMBRE	2250	2428,2	107,92%
DICIEMBRE	2200	2261,7	102,80%

Aunque el porcentaje sea mayor al 100%, únicamente se podrá autoconsumir la cantidad de energía demandada por la empresa en ese intervalo de horas y todo lo demás será vertido a la red eléctrica, los excedentes de la producción, para que al final del mes exista una posible compensación en la factura de la empresa que pueda contrarrestar todo consumo realizado fuera de las horas del intervalo, sobretodo en las luminarias exteriores que se conectan por la noche.

La compensación de excedentes dependerá del mes debido a que hay meses, como son los estivales, donde la cantidad de excedentes es muy grande y si se tendrá en cuenta el ahorro producido por la venta de estos. Sin embargo, otros meses donde la relación está muy cerca del 100% se va a considerar que no existen excedentes en la instalación o se deba de comprar energía a la cooperativa debido a que no son capaces de autoabastecerse la propia empresa. [24]

Esta relación entre el consumo, la producción y los excedentes se alargará con el paso de los años para cuando se realice el estudio de la viabilidad económica de la instalación sin tener en cuenta las futuras fluctuaciones del consumo de la empresa o la producción de energía por parte de la instalación.

Se podría llegar a hacer una estimación más real si se tuviera las facturas de varios años para conocer la media y la variación del consumo mensual de la empresa, pero como cálculo orientativo sobre la viabilidad económica para una hipotética decisión de instalar paneles fotovoltaicos en la empresa para el autoconsumo con compensación puede servir este modelo.

Primero, se debe de comprobar la cantidad de dinero que la empresa se puede ahorrar debido al autoconsumo producido por la instalación. En la Tabla 13 se refleja la relación entre el consumo diurno y la energía producida por las placas.

Cuando la cantidad de energía producida es superior al consumo de la empresa no se dará el ahorro monetario de todos los kWh producidos al precio de los tramos de facturación respectivos, basados en las Tabla 2 y Tabla 3. Es decir, en estos casos el máximo de kWh que se podrán ahorrar al precio del tramo respectivo será la misma cantidad que el consumo mensual y el excedente será compensado a un precio diferente.

En la Tabla 14 se tiene el consumo diurno de la empresa, la producción solar y el ahorro energético (la cantidad máxima que se van a poder ahorrar con el precio de los tramos) estando todos ellos en kWh y la división de la energía producida/consumida dividida en dos tramos, especificando que dos tramos pertenecen a ese mes en el horario comprendido como diurno.

Se ha realizado la siguiente hipótesis, se consume lo mismo en todas las horas siendo la duración del tramo 1 de 5 horas y el tramo 2 de 4 horas. Es decir, para calcular la producción/consumo del tramo uno se divide la cantidad de horas del tramo 1 por el total de horas entre los dos tramos y esto se multiplica por el ahorro energético máximo.

Tabla 14. Producción de energía diferencia en dos tramos. Fuente: Propia.

MES	CONSUMO DIURNO(kWh)	PRODUCCIÓN SOLAR (kWh)	AHORRO ENERGÉTICO (kWh)	TRAMOS	PRODUCCIÓN T1 (kWh)	PRODUCCIÓN T2 (kWh)
ENERO	2950	2494,4	2494,4	P1+P2	1385,78	1108,62
FEBRERO	3800	2780,5	2780,5	P1+P2	1544,72	1235,78
MARZO	3500	3777	3500	P2+P3	1944,44	1555,56
ABRIL	4550	4299,3	4299,3	P4+P5	2388,50	1910,80
MAYO	3350	5023,9	3350	P4+P5	1861,11	1488,89
JUNIO	1800	5192	1800	P3+P4	1000,00	800,00
JULIO	2300	5314,2	2300	P1+P2	1277,78	1022,22
AGOSTO	607	4830,9	607	P3+P4	337,22	269,78
SEPTIEMBRE	3950	3873,3	3873,3	P3+P4	2151,83	1721,47
OCTUBRE	2000	3232,1	2000	P4+P5	1111,11	888,89
NOVIEMBRE	2250	2428,2	2250	P2+P3	1250,00	1000,00
DICIEMBRE	2200	2261,7	2200	P1+P2	1222,22	977,78

Para recordar la clasificación de los meses según su tipo se tiene la pequeña leyenda que se muestra en la Ilustración 34.



Ilustración 34. Leyenda sobre la clasificación de los meses. Fuente Propia

Después de conocer la cantidad de energía que sería capaz de compensar por cada tramo se debe de multiplicar por el precio de cada uno de los tramos, tanto del precio como tal de la energía como el importe por peajes y distribución de cargas, para obtener la cantidad de dinero ahorrada. En la Tabla 15 se tiene la cantidad de energía en kWh (del ahorro energético y la producción entre los dos tramos), los tramos pertenecientes a ese mes y el dinero ahorrado por tramo y la suma de ambos.

Tabla 15. Ahorro generado por cada tramo de la factura. Fuente: Propia

MES	AHORRO ENERGÉTICO	TRAMOS	AHORRO T1	AHORRO T2	AHORRO
ENERO	2494,4	P1+P2	406,77 €	294,15 €	700,92 €
FEBRERO	2780,5	P1+P2	453,43 €	327,89 €	781,32 €
MARZO	3500	P2+P3	515,07 €	465,07 €	980,14 €
ABRIL	4299,3	P4+P5	321,09 €	237,26 €	558,35 €
MAYO	3350	P4+P5	250,19 €	184,88 €	435,07 €
JUNIO	1800	P3+P4	149,74 €	107,54 €	257,29 €
JULIO	2300	P1+P2	375,07 €	271,23 €	646,30 €
AGOSTO	607	P3+P4	50,50 €	36,27 €	86,76 €
SEPTIEMBRE	3873,3	P3+P4	322,22 €	231,42 €	553,64 €
OCTUBRE	2000	P4+P5	149,37 €	110,37 €	259,74 €
NOVIEMBRE	2250	P2+P3	331,12 €	298,98 €	630,09 €
DICIEMBRE	2200	P1+P2	358,76 €	259,43 €	618,20 €

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

Entonces, se debe conocer el máximo de dinero que podrá ser compensado. Por tanto, se debe de quitar el IVA y los costes fijos. En la

Tabla 16 se ve el precio de la factura con IVA, sin ella, los costes fijos y la cantidad de dinero que se podrían llegar a ahorrar la empresa con la instalación fotovoltaica (precio consumo).

Tabla 16. Capacidad de ahorro máximo en la factura. Fuente: Propia.

MES	FACTURA (IVA)	FACTURA (sin IVA)	COSTES FIJOS	PRECIO CONSUMO
ENERO	1.739,46 €	1.437,57 €	250,73 €	1.186,84 €
FEBRERO	2.003,14 €	1.655,49 €	226,46 €	1.429,03 €
MARZO	1.849,73 €	1.528,70 €	249,62 €	1.279,08 €
ABRIL	1.194,95 €	987,56 €	295,50 €	692,06 €
MAYO	1.014,73 €	838,62 €	250,73 €	587,89 €
JUNIO	679,49 €	561,56 €	285,97 €	275,59 €
JULIO	918,45 €	759,05 €	295,50 €	463,55 €
AGOSTO	576,64 €	476,56 €	295,50 €	181,06 €
SEPTIEMBRE	1.091,49 €	902,06 €	285,97 €	616,09 €
OCTUBRE	852,21 €	704,31 €	295,50 €	408,81 €
NOVIEMBRE	1.281,62 €	1.059,19 €	285,97 €	773,22 €
DICIEMBRE	1.199,88 €	991,64 €	295,50 €	696,14 €

En resumen, el precio consumo de la Tabla 16 es la cantidad de dinero producto del consumo de energía durante todo el mes. Ese precio engloba todo el gasto energético, no solamente el gasto en el intervalo considerado como diurno.

A continuación, se debe de conocer la relación de ahorro conseguido mediante la instalación fotovoltaica comparando el precio consumo con el dinero ahorrado por la instalación fotovoltaica. En la Tabla 17 se muestra la relación entre estos dos parámetros

Tabla 17. Relación entre el ahorro posible y el generado por la instalación. Fuente: Propia

MES	PRECIO CONSUMO	AHORRO AUTOCONSUMO	RELACIÓN
ENERO	1.186,84 €	700,92 €	59%
FEBRERO	1.429,03 €	781,32 €	55%
MARZO	1.279,08 €	980,14 €	77%
ABRIL	766,86 €	558,35 €	73%
MAYO	612,16 €	435,07 €	71%
JUNIO	340,86 €	257,29 €	75%
JULIO	532,35 €	646,30 €	121%
AGOSTO	181,06 €	86,76 €	48%
SEPTIEMBRE	681,36 €	553,64 €	81%
OCTUBRE	408,81 €	259,74 €	64%
NOVIEMBRE	832,73 €	630,09 €	76%
DICIEMBRE	770,94 €	618,20 €	80%

En los valores de la relación entre el precio consumo y el ahorro se debe de tener en cuenta varios puntos que influyen al valor de este.

- El precio consumo es el precio del consumo total mensual generado por la empresa. Se observa que excluyendo los meses de enero, febrero y los meses estivales se mantiene una relación casi constante entre el ahorro generado cercano al 75%.
- Los meses de enero y febrero son los únicos meses con una relación “baja” debido a que las placas no son capaces de producir lo suficiente para compensar el consumo.
- Los meses estivales de julio y agosto tienen una relación anómala debido a que la empresa empieza a estar de vacaciones disminuyendo su jornada laboral, teletrabajando o con jordanas intensivas de trabajo modificando el horario habitual. Estas variaciones implican que la hipótesis de consumo/producción no se ajuste a la realidad, pero como es un estudio sin entrar en detalle debido a su complejidad se seguirá con esta hipótesis en estos meses teniendo en cuenta que el máximo de dinero que se podrá ahorrar la empresa será el precio de consumo.

Después de conocer estos datos, es necesario establecer la cantidad de excedentes que habrá y el precio al que se venderán para sumarlo al ahorro para conocer exactamente la capacidad de ahorro de la instalación fotovoltaica.

En la Tabla 18 se tiene la producción de excedentes, siendo la resta entre la producción solar y el consumo diurno de la empresa, el ahorro por compensación se refiere a la cantidad de dinero que se ganarían compensando los excedentes a un precio de 0.05 cte/kWh, que es el precio más habitual en el tipo de autoconsumo por compensación, y el ahorro total que es la suma de ambas.

En el caso de tener una cantidad en el ahorro total mayor que en el precio consumo, se escogerá como ahorro de ese mes al precio de consumo. Estos casos solamente se dan en los meses de junio, julio y agosto, siendo los meses con menor consumo debido a la reducción de jornada, vacaciones y teletrabajo que generan un bajo consumo y con la mayor generación de producción solar por la cantidad de horas de sol con una alta radiación.

En verde claro está el ahorro mensual máximo que podrá proporcionar en cada mes la instalación fotovoltaica a la empresa mediante la instalación de 30 kW en la cubierta de la empresa.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

Tabla 18. Ahorro real generado por la instalación fotovoltaica. Fuente: Propia

MES	CONSUMO DIURNO (kWh)	PRODUCCIÓN SOLAR (kWh)	EXCEDENTES (kWh)	AHORRO POR LA COMPENSACIÓN (kWh)	AHORRO TOTAL	PRECIO CONSUMO
ENERO	2950	2494,4	0	0,00 €	700,92 €	1.186,84 €
FEBRERO	3800	2780,5	0	0,00 €	781,32 €	1.429,03 €
MARZO	3500	3777	0	0,00 €	980,14 €	1.279,08 €
ABRIL	4375	4299,3	0	0,00 €	558,35 €	766,86 €
MAYO	3350	5023,9	1673,9	83,70 €	518,76 €	612,16 €
JUNIO	1800	5192	3392	169,60 €	426,89 €	340,86 €
JULIO	2300	5314,2	3014,2	150,71 €	797,01 €	532,35 €
AGOSTO	607	4830,9	4223,9	211,20 €	297,96 €	181,06 €
SEPTIEMBRE	3900	3873,3	0	0,00 €	553,64 €	681,36 €
OCTUBRE	2000	3232,1	1232,1	61,61 €	321,35 €	408,81 €
NOVIEMBRE	2250	2428,2	0	0,00 €	630,09 €	832,73 €
DICIEMBRE	2200	2261,7	0	0,00 €	618,20 €	770,94 €

En resumen, la instalación fotovoltaica que se instalaría en la empresa sería capaz de ahorrar un total de 6.717,04 €, IVA no incluido, siendo un ahorro anual respecto al total de la factura de un 57%.

8. ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE AEROGENERADORES VORTEX

8.1. Motivos para la combinación

La instalación fotovoltaica está pensada para poder producir la energía suficiente para intentar autoabastecerse al 100% en el horario diurno, pero no es capaz de compensar el máximo de la factura eléctrica en la mayoría de los meses únicamente con la instalación fotovoltaica debido a;

- Existe consumo fuera del intervalo considerado como horario diurno.
- No ser capaz incluso de poder suministrar lo suficiente para el autoconsumo en el horario diurno.
- No generar, en la mayoría de los meses, los excedentes necesarios para poder compensar todo el gasto generado fuera del intervalo diurno.

Debido a esto, se piensa en la combinación con otras tecnologías para conseguir el mayor beneficio. Actualmente, una de las posibles soluciones más viables que hay es la combinación de la energía solar con los aerogeneradores.

En este caso se va a estudiar la viabilidad económica que existe en la instalación del aerogenerador Vortex combinándolo con la instalación fotovoltaica debido a que aún esta en fase de prototipado y se debe conocer si será viable en el momento de su puesta al gran público o donde se debería enfocar su uso e incluso las mejoras que debería tener para su viabilidad.

Esta tecnología sigue en fase de prototipado y ,por tanto, no existe una base de datos real sobre la capacidad de generación, solamente una estimación, y eso provoca que la realización del estudio no sea totalmente verídico.

8.2. Consumo compensable

Primero se debe obtener la cantidad de energía que aún es posible de compensar. En la Tabla 19 se tiene el consumo total, el consumo diurno de la empresa y la producción de la instalación fotovoltaica.

La falta de energía es diferente de cero en los meses donde la producción fotovoltaica es incapaz de compensar el consumo en ese intervalo y ,por consiguiente, hay una necesidad energética aún pendiente de compensar (siendo los meses de enero y febrero los afectados).

En cambio, el consumo posible de compensar es el dato que interesa para comenzar a la planificación de una posible instalación donde se debe de tener en cuenta que el consumo posible;

- Se trata de la diferencia entre el consumo total y el consumo diurno cuando la producción fotovoltaica está por encima del consumo diurno.
- Se trata de la diferencia entre el consumo total y la producción de placas cuando la producción fotovoltaica está por debajo del consumo diurno.

Tabla 19. Consumo posible a compensar por la instalación Vortex. Fuente Propia

	CONSUMO TOTAL (kWh)	CONSUMO DIURNO (kWh)	PRODUCCIÓN PLACAS (kWh)	FALTA DE ENERGÍA (kWh)	CONSUMO POSIBLE COMPENSAR (kWh)
ENERO	4257	2950	2494,4	455,6	1762,6
FEBRERO	5088	3800	2780,5	1019,5	2307,5
MARZO	4593	3500	3777	0	1093
ABRIL	6258	4550	4299,3	0	1708
MAYO	4419	3350	5023,9	0	1069
JUNIO	2570	1800	5192	0	770
JULIO	3111	2300	5314,2	0	811
AGOSTO	1121	607	4830,9	0	514
SEPTIEMBRE	5043	3950	3873,3	0	1093
OCTUBRE	3340	2000	3232,1	0	1340
NOVIEMBRE	3482	2250	2428,2	0	1232
DICIEMBRE	3288	2200	2261,7	0	1088

A continuación, se debe establecer la relación entre el consumo posible de compensar y el consumo nocturno debido a que este consumo posible de compensar engloba a todo aquel consumo fuera del intervalo, excepto en enero y febrero que también hay consumo dentro del intervalo diurno.

En la Tabla 20 se tiene el consumo posible de compensar y el nocturno con la relación que hay entre ambas, de donde se puede sacar diferentes conclusiones relevantes para establecer una línea de acción para atacar el problema de la posible instalación.

Se obtiene;

- Una relación más baja respecto a la media en los meses de enero y febrero debido a que la instalación fotovoltaica no es suficientemente capaz de abastecer el consumo en el intervalo diurno y, por tanto, provoca que el consumo posible de compensar sea mayor y la relación con el consumo nocturno menor.
- La relación entre estos dos parámetros en los meses de junio, julio y agosto no tiene ninguna importancia, debido a que no hay posibilidad de ahorro económico.

Además, el caso curioso de agosto donde todo el consumo posible de compensar es el nocturno, el motivo del 100% de relación. Provocado por los posibles errores al generar la hipótesis de consumo de la fotovoltaica y/o por ser periodo vacacional.

Tabla 20. Relación entre el consumo nocturno y el posible a compensar. Fuente: Propia.

	CONSUMO POSIBLE COMPENSAR	CONSUMO NOCTURNO	RELACIÓN
ENERO	1762,6	711	40%
FEBRERO	2307,5	642	28%
MARZO	1093	593	54%
ABRIL	1708	752	44%
MAYO	1069	526	49%
JUNIO	770	385	50%
JULIO	811	366	45%
AGOSTO	514	514	100%
SEPTIEMBRE	1093	664	61%
OCTUBRE	1340	761	57%
NOVIEMBRE	1232	655	53%
DICIEMBRE	1088	644	59%

En conclusión, se obtiene, quitando los meses estivales, enero y febrero, una relación del 54% entre el consumo nocturno y el posible a compensar. Siendo, el consumo nocturno medio de 660,89 kWh (teniendo en cuenta los meses de enero y febrero, pero no los estivales).

8.3. Producción del aerogenerador

La producción de los aerogeneradores está relacionada directamente con la velocidad del viento. Dependiendo de la velocidad del viento, se producirá más o menos energía.

El aerogenerador Vortex, perfecto para ambientes urbanos o instalaciones a baja altura donde las velocidades del viento son menores, tiene un rango de funcionamiento entre los 3 m/s hasta los 11-12 m/s (velocidad nominal) que es perfecta respecto a sus “rivales” como puede ser los aerogeneradores de eje vertical donde empiezan a funcionar sobre los 4-5 m/s y su velocidad nominal es más alta.

En la Tabla 21 se tiene la producción de energía en vatios del aerogenerador Vortex según la velocidad del viento.

Tabla 21. Producción de energía del Vortex Tacoma según la velocidad del viento. Fuente: Propia.

Velocidad del viento (m/s)	Vortex Tacoma
3	3 W
6	35 W
7	60 W
8	80 W
9	93 W
Velocidad nominal	100 W

Por tanto, para conocer la producción que sería capaz de generar el aerogenerador es necesario conocer las características del viento en la ubicación del terreno donde se va a instalar.

Mediante la plataforma GLOBAL WIND ATLAS, que se trata de una aplicación que ayuda a la planificación de la ubicación de la instalación y a la realización de cálculos preliminares sobre la generación de energía eólica en casi cualquier parte del mundo. Se han obtenido los datos elementales sobre la velocidad media, distribución según el mes o la hora del día para extraer la máxima información posible de la ubicación de la empresa para realizar un estudio lo más cercano a una posible realidad.

En la Ilustración 35 se puede ver el punto seleccionado, establece un área de 9km² donde se obtienen una velocidad media de la zona aproximadamente de 2,57 m/s.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

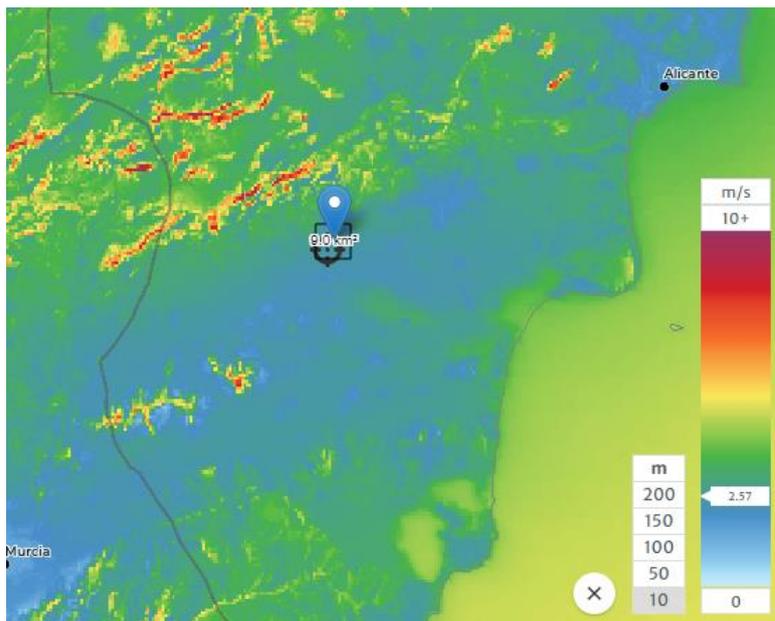


Ilustración 35. Velocidades medias del viento en la región. Fuente: Global Wind Atlas.

En la Ilustración 36 se puede observar la relación de la velocidad media en el área seleccionada. Suministra información sobre la cantidad de superficie dentro de esos 9 km² que supera cierta velocidad, el 100% del área está por encima de los 2,43 m/s, mostrando que es una velocidad uniforme en toda la zona seleccionada.

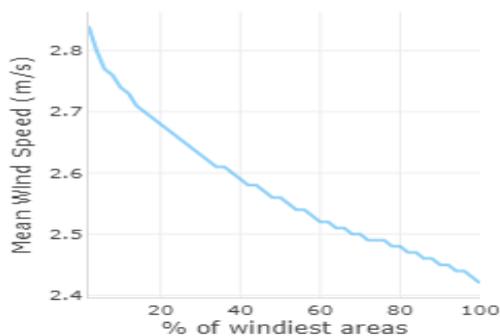


Ilustración 36. Rango de velocidades medias de la zona seleccionada. Fuente: Global Wind Atlas.

Entonces, se sabe que la velocidad media mínima que se puede obtener en esa zona es de 2,43 m/s, pero se debe tener en cuenta la variación de la velocidad media según el mes del año y la hora del día.

En la Ilustración 37 se ve que en los meses invernales se tiene una velocidad media 40% superior a la media mientras que en verano se tiene una velocidad media 40% inferior.

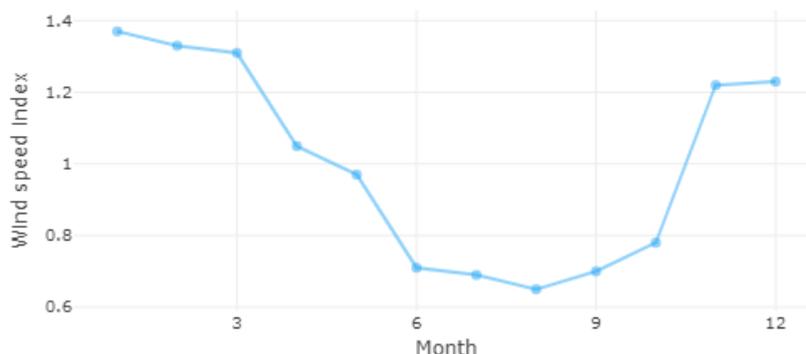


Ilustración 37. Variación de la velocidad media a lo largo de un año. Fuente: Global Wind Atlas

Tener una velocidad media 40% superior a la establecida en los meses de invierno encaja perfectamente con las necesidades de consumo de la empresa, ya que en verano no hace falta porque no se puede compensar más de la factura mientras que en invierno hay un gran margen de ahorro.

Finalmente, la Ilustración 38 muestra la variación según la hora del día. Se observa que en el horario nocturno la velocidad media es alrededor de un 10% superior a la velocidad media mientras que durante el día se tiene grandes variaciones entre un 15% menos y un 5% más de la media.

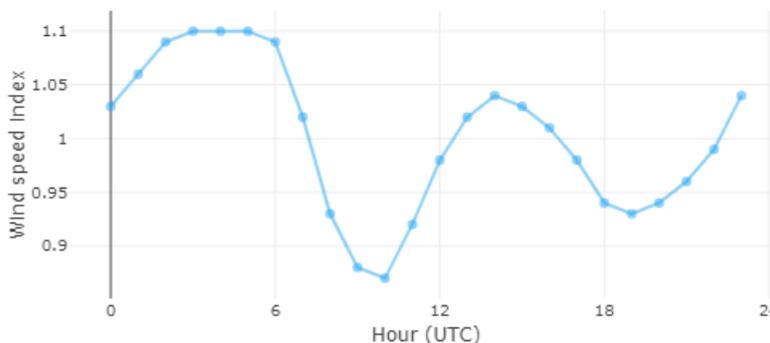


Ilustración 38. Varación de la velocidad media según la hora del día. Fuente: Global Wind Atlas.

Por tanto, se puede concluir que a lo largo del año en horario nocturno se tendrá una producción por encima de la media y más constante que a lo largo del día debido a que va sufriendo picos de variación. Además, en los meses de invierno se obtendrá la mayor cantidad de energía e irá disminuyendo conforme se acerca el verano.

Después de obtener toda esta información sobre la velocidad media del viento y las variaciones que puede llegar a sufrir se puede establecer una hipótesis sobre este para poder sacar una aproximación de la capacidad de generación real que llegaría a tener el Vortex.

Se va a suponer un caso hipotético base donde se pretende comprobar si esta nueva tecnología llegará a ser viable económicamente en algún momento o si ya lo es en las mejores condiciones posibles que se tendría en un ambiente urbano a baja altura.

En el área, donde se encuentra la empresa, la máxima velocidad media es de 2.85 m/s, por lo que significa que durante la noche puede llegar a ser 3,14 m/s. Si estamos en la época invernal será un 40% mayor, alrededor de 4,4 m/s. Siendo esta la mayor velocidad media que se podría llegar a tener en las mejores condiciones posible (invierno y por la noche).

Se debería estudiar la variación de la producción de todos los meses respecto a la variación del viento para conocer la cantidad de aerogeneradores que se deberían de instalar y el ahorro que generaría, ya que se sabría lo que produce por cada hora y se multiplicaría por el precio del tramo en el que se encuentre dependiendo del mes para ahorrarlo de la factura. Esto se encuentra fuera de las capacidades de estudio actuales debido a que es de muy amplio rango y se va a delimitar a dos velocidades fijas, una para el horario nocturno y la otra para el resto del día (sin importar incluso las variaciones del viento que se tendrían a lo largo del día o del año según el mes).

Se considera durante el horario nocturno, entre las 00:00h hasta las 8:00h, una velocidad media constante de 6 m/s. Es decir, un 37% mayor a la velocidad media máxima que se podría dar en la zona, 4,4 m/s, y teniendo en cuenta que se considera constante.

En cambio, el resto del día se considera una velocidad media constante de 3 m/s, no del todo real al igual que en el horario nocturno.

Entonces, se tiene que un único aerogenerador será capaz de producir dependiendo de;

$$\text{Producción} = P_{\text{generada}} \times N^{\circ} \text{ horas} \times N^{\circ} \text{ días} \quad (5)$$

Siendo;

- P_{generada} : la potencia que es capaz de producir el aerogenerador dependiendo de la velocidad del viento que se tenga, en el horario nocturno se tiene una velocidad media constante de 6 m/s. Por tanto, se tiene una producción de 35 W constante por hora. Por el contrario, el resto del día al tener una velocidad media constante de 3 m/s se tendrá un potencia generada de 3 W por hora.
- N° horas : equivale al número de horas que estará funcionando según si esta en el tramo nocturno o no, en el tramo nocturno son 8 horas y el resto del día serán 16 horas.
- N° días : equivale al número de días al mes, ya que la factura se trata de kWh mensuales. En este caso se va a suponer una media por mes de 30 días.

Se obtiene una producción nocturna de 8,4 kWh y una producción del resto del día de 1,44 kWh. Por tanto, el aerogenerador Vortex, teniendo en cuenta todas las simplificaciones y limitaciones de cálculo, produce alrededor de 10 kWh mensuales cada uno de ellos.

Siempre se debe de tener en cuenta que esta producción en la vida real sería menor y, por tanto, su capacidad de producción posiblemente sea bastante inferior a este.

8.4. Potencia y coste de la instalación

Debido a que según la hipótesis que se ha llevado a cabo para el cálculo de la potencia que es capaz de producir cada uno de los aerogeneradores se obtiene que más del 85% de la producción de este se produce en el horario nocturno. Además, más del 50% de la energía aún por compensar pertenece al consumo nocturno.

Significa que se va a instalar respecto a las necesidades de consumo de la empresa según la demanda nocturna.

El consumo medio sacado antes es de 660,89 kWh mensuales, significa que según la capacidad nocturna del Vortex, 8,4 kWh, haría falta alrededor de 79 Vortex.

Dato que a primera vista ya sorprende debido a que se necesitan 79 aerogeneradores de casi 3 metros para producir la suficiente cantidad de energía para suministrar a la empresa por las limitadas luminarias que tienen encendidas por la noche.

Primero, antes de seguir, se debe comprobar si el espacio disponible de la empresa colindante a la nave, es suficientemente grande para albergar 79 Vortex.

La distancia que se debe dejar entre cada uno de ellos es la mitad de la altura en cualquier dirección. El Vortex Tacoma mide 2,75 metros, significa que en un área aproximada de 7,07 m², con centro el propio aerogenerador, no se podrá colocar otro.

Se necesitará un espacio cercano a 558,53 m², pero se debería mayorar un 20% aproximadamente para evitar cualquier problema de interferencia entre ellos. Entonces, el área necesaria final sería aproximadamente de 700 m².

Conclusión, el área que podría ocupar los aerogeneradores es cerca al 10% del terreno total. Entonces, la cantidad de aerogeneradores instalados no será un punto de bloqueo.

Después de comprobar si era posible la instalación de estos en el terreno colindante se debe de calcular los gastos de instalación y mantenimiento. La empresa Vortex Bladeless estima que un aerogenerador Vortex Tacoma tendrá un precio, contando el mantenimiento a lo largo de su vida útil más la instalación (contando la mano de obra necesaria para llevarlo a cabo por la empresa) de aproximadamente unos 498,87 €, sin IVA.

Por tanto, todo el coste relacionado al aerogenerador a lo largo de su vida útil multiplicado por el número que se necesitan haría un coste total de 39.173,55€.

Conclusión, el doble de caro su instalación y mantenimiento que la fotovoltaica teniendo en cuenta que esta instalación está prevista para suministrar una potencia mucho menor, esto demuestra la diferencia en el grado de avance y desarrollo que existe entre estos dos tipos de generación de energía. Por consiguiente, es previsible, casi trivial, admitir que la instalación de esta nueva tecnología es inviable económicamente, pero se debe comprobar para ver acciones de mejora o situaciones donde si sería posible en un futuro.

8.5. Ahorro generado

En primer lugar, se debe de conocer el ahorro económico posible que queda después de la instalación de las placas fotovoltaicas.

En la Tabla 22 se observa el precio de consumo, explicado anteriormente, y el ahorro solar, refiriéndose a la cantidad de dinero que puede ahorrar la empresa con la instalación fotovoltaica debido al autoconsumo más la compensación de excedentes.

La diferencia entre estas dos es la cantidad de dinero que aún es posible ahorrar cada mes. Teniendo en cuenta, como en los meses estivales, que cuando el ahorro generado por la fotovoltaica es mayor que el precio de consumo, el ahorro posible con el Vortex será nulo.

Tabla 22. Resultado del posible ahorro con la instalación Vortex

	PRECIO CONSUMO	AHORRO SOLAR	POSIBLE AHORRO VORTEX
ENERO	1.186,84 €	700,92 €	485,92 €
FEBRERO	1.429,03 €	781,32 €	647,71 €
MARZO	1.279,08 €	980,14 €	298,94 €
ABRIL	766,86 €	558,35 €	208,51 €
MAYO	612,16 €	518,76 €	93,40 €
JUNIO	340,86 €	426,89 €	0,00 €
JULIO	532,35 €	797,01 €	0,00 €
AGOSTO	181,06 €	297,96 €	0,00 €
SEPTIEMBRE	681,36 €	553,64 €	127,72 €
OCTUBRE	408,81 €	321,35 €	87,46 €
NOVIEMBRE	832,73 €	630,09 €	202,64 €
DICIEMBRE	770,94 €	618,20 €	152,74 €

Entonces, la instalación de aerogeneradores tendrá como máximo un ahorro sobre la factura, sin contar el IVA, de 2.305,04 €. Ahora que se conoce el máximo que se va a poder ahorrar la empresa con los aerogeneradores se va a tener que aclarar los vatios y los horarios donde son compensables para poder establecer una suposición del ahorro que se producirá por la generación de energía.

La producción del aerogenerador se ha dividido en dos, una producción nocturna y una “diurna”, cada una de estas tiene un precio diferente en el consumo en la factura eléctrica. Por tanto, hay que dividir el ahorro en estas dos partes para conocer los beneficios que podría dar esta instalación.

Los tramos de facturación por parte de la cooperativa según el mes y la hora del día se pueden encontrar en las Tabla 2 y Tabla 3 donde detalla todos los gastos debido al consumo y los gastos de peaje y distribución respectivamente.

- Ahorro nocturno

Cuando se hace referencia al horario nocturno se habla sobre el intervalo entre las 00:00h y las 8:00h, este intervalo es el más barato dentro de la factura eléctrica respecto a los demás del mismo mes, se trata del tramo P6.

En la Tabla 23 se observa el consumo nocturno por parte de la empresa y la producción del aerogenerador en esas ocho horas a una velocidad de 6 m/s durante un mes, según la expresión 5 (ahora si teniendo en cuenta los días de cada mes para poder sacar la producción).

Se tiene en ella la columna donde muestra el posible ahorro máximo que el Vortex podría proporcionar a la empresa, señalando que los meses que están en rojo (meses de verano) es debido a que ya no es posible ahorrar. El ahorro nocturno producido por la instalación esta calculada multiplicando la producción de este por el tramo P6.

El ahorro nocturno tiene un valor muy próximo al gasto nocturno de la empresa debido a que se ha pensado la instalación para el consumo medio anual. En cambio, en los meses de abril y mayo se ha hecho una estimación del consumo nocturno debido que las facturas de la empresa son del 2021 donde no había entrado en vigor la nueva normativa y no se tiene una constancia del gasto nocturno. Además, teniendo en cuenta que el gasto nocturno en mayo es mayor al posible ahorro debido a la compensación de excedentes de la fotovoltaica (disminuye el error en este mes y lo aproxima a la estimación).

En los meses donde la producción es mayor que el consumo, se debería coger como ahorro máximo el gasto nocturno y los excedentes compensarlos al precio de 0,05 €/ kWh, pero la variación respecto a lo calculado es una cantidad muy pequeña de dinero que no tiene un gran peso respecto al ahorro.

Tabla 23. Resultado del ahorro nocturno de la instalación Vortex. Fuente: Propia.

	CONSUMO NOCTURNO (kWh)	PRODUCCIÓN (kWh)	POSIBLE AHORRO VORTEX	GASTO NOCTURNO	AHORRO NOCTURNO
ENERO	711	685,72	485,92 €	170,63 €	164,54 €
FEBRERO	642	619,36	647,71 €	154,07 €	148,61 €
MARZO	593	685,72	298,94 €	142,29 €	164,54 €
ABRIL	752	663,6	208,51 €	140,85 €	75,54 €
MAYO	526	685,72	93,40 €	141,85 €	78,05 €
JUNIO	385	663,6	0,00 €	0,00 €	0,00 €
JULIO	366	685,72	0,00 €	0,00 €	0,00 €
AGOSTO	514	685,72	0,00 €	0,00 €	0,00 €
SEPTIEMBRE	664	663,6	127,72 €	76,59 €	75,51 €
OCTUBRE	761	685,72	87,46 €	87,78 €	78,05 €
NOVIEMBRE	655	663,6	202,64 €	160,57 €	159,23 €
DICIEMBRE	644	685,72	152,74 €	155,50 €	164,54 €

El ahorro generado por el aerogenerador en el horario nocturno asciende a 1.108,60 € anuales, sin IVA.

- Ahorro “diurno”

El horario “diurno” hace referencia a todas las horas que están fuera del intervalo nocturno donde la velocidad del viento es de 3 m/s y provoca que tenga una producción de 3 Wh.

En la Tabla 24 se tiene el consumo “diurno” que es la diferencia entre el consumo posible a compensar menos el consumo nocturno y en la columna de producción se refleja la capacidad de producción que tendría el aerogenerador multiplicando las dieciséis horas que estaría funcionando de forma constante por los días de cada mes y la potencia que genera a esa velocidad, según la expresión 5.

En el ahorro “diurno” se debería hacer un estudio más amplio de la generación del aerogenerador y cuando se consume por parte de la empresa debido a que durante estas dieciséis horas hay dos tramos, que van cambiando dependiendo del mes. Es decir, se debería multiplicar esa producción en ese intervalo dentro de esta franja horaria “diurna” por la facturación de ese tramo, incluyendo el precio de la energía y los peajes y distribución de esta. Ejemplo, en el mes de enero, teniendo una clasificación de tipo ALTA, se tiene el tramo P1 y P2 siendo;

- P1: 9:00h-14:00h y 18:00h-22:00h teniendo un precio de 0,29 €.
- P2: 8:00h-9:00h, 14:00h-18:00h y 22:00h-00:00h teniendo un precio de 0,27 €.

Pero el cálculo detallado de la producción, como se ha comentado anteriormente, se escapa del estudio debido a su complejidad y al igual que se desconoce consumo de la empresa por cada hora. Esto significa que no se sabe la energía producida/consumida y ,en resumen, no se sabe el precio por el que se debería multiplicar para conocer el ahorro de una forma más precisa.

Sin embargo, como el motivo es conocer la viabilidad, se va a asumir que toda la producción en estas dieciséis horas será multiplicada por el tramo de la factura más caro, para generar el mayor ahorro posible. Se observa en la Tabla 24 que el ahorro mensual es muy pequeño por la baja producción que genera el aerogenerador durante el día aún multiplicando por el tramo más caro.

Tabla 24. Resultado del ahorro diurno de la instalación Vortex. Fuente: Propia.

	CONSUMO "diurno"	PRODUCCIÓN	AHORRO "diurno"
ENERO	1051,6	117,55	34,51 €
FEBRERO	1665,5	106,18	31,17 €
MARZO	500	117,55	31,14 €
ABRIL	956	113,76	15,29 €
MAYO	543	117,55	15,80 €
JUNIO	385	113,76	0,00 €
JULIO	445	117,55	0,00 €
AGOSTO	0	117,55	0,00 €
SEPTIEMBRE	429	113,76	17,03 €
OCTUBRE	579	117,55	15,80 €
NOVIEMBRE	577	113,76	30,13 €
DICIEMBRE	444	117,55	34,51 €

El ahorro generado por el aerogenerador en el horario “diurno” asciende a 225,38 € anuales, sin IVA.

- Ahorro total

En la Tabla 25 se tiene el ahorro nocturno, el “diurno” y la suma de ambos en el ahorro total. No obstante, se va a tener en cuenta si el ahorro máximo supera al posible ahorro del Vortex porque se va a poder ahorrar únicamente el posible, ya que es el máximo ahorro de ese mes (siendo el caso de octubre y diciembre).

Por tanto, el ahorro mensual de la instalación para la empresa será la columna de ahorro verdadero.

Tabla 25. Resultado del ahorro generador por la instalación Vortex. Fuente: Propia.

	POSIBLE AHORRO VORTEX	AHORRO NOCTURNO	AHORRO DIURNO	AHORRO TOTAL	AHORRO VERDADERO
ENERO	485,92 €	164,54 €	34,51 €	199,04 €	199,04 €
FEBRERO	647,71 €	148,61 €	31,17 €	179,78 €	179,78 €
MARZO	298,94 €	164,54 €	31,14 €	195,67 €	195,67 €
ABRIL	208,51 €	75,54 €	15,29 €	90,83 €	90,83 €
MAYO	93,40 €	78,05 €	15,80 €	93,86 €	93,40 €
JUNIO	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
JULIO	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
AGOSTO	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
SEPTIEMBRE	127,72 €	75,51 €	17,03 €	92,54 €	92,54 €
OCTUBRE	87,46 €	78,05 €	15,80 €	93,86 €	87,46 €
NOVIEMBRE	202,64 €	159,23 €	30,13 €	189,36 €	189,36 €
DICIEMBRE	152,74 €	164,54 €	34,51 €	199,04 €	152,74 €

Se obtiene un ahorro total de 1.280,83 €, sin IVA.

Sin hacer un análisis de viabilidad muy profundo, sacando el flujo de caja acumulado durante su vida útil, sin analizar los dos indicadores financieros que permiten conocer el posible proyecto de inversión, siendo estos el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno) se puede llegar a tener una idea aproximada si va a ser rentable económicamente.

La Tabla 26 muestra el flujo acumulado de caja, donde se ha tenido en cuenta varias consideraciones;

- En la inversión se tiene en cuenta la inversión inicial, la instalación y el mantenimiento de toda su vida útil.
- El ahorro anual es constante, es decir, que la producción del aerogenerador es constante con el paso de los años y que la hipótesis de generación de energía permanece constante.
- El ahorro generado por el Vortex anualmente está condicionado por la instalación fotovoltaica y cualquier variación en consumo/producción en esta también afectaría a los cálculos de ahorro.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

En la tabla, todos los datos sin IVA, se han omitido años debido a que es un ahorro totalmente lineal.

Tabla 26. Flujo de caja acumulado de la instalación Vortex. Fuente: Propia

AÑO	AHORRO ANUAL	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0	-	-39.173,55 €	-39.173,55 €
1	1.280,83 €	1.280,83 €	-37.892,73 €
2	1.280,83 €	1.280,83 €	-36.611,90 €
---	---	---	---
18	1.280,83 €	1.280,83 €	-16.118,68 €
19	1.280,83 €	1.280,83 €	-14.837,85 €
20	1.280,83 €	1.280,83 €	-13.557,02 €

En conclusión, sin hacer un análisis muy exhaustivo se observa que no será viable económicamente para la empresa la instalación del Vortex cuando incluso se han tomado como hipótesis muy favorables sobre la generación y el ahorro.

Estos aerogeneradores puede ser que no sean viables en estas condiciones, es decir, que no sea indicado para el lugar donde se quiere ubicar por las velocidades medias que se encuentran en la zona o simplemente aún no está suficientemente desarrollado el producto para facilitar un servicio y necesita una evolución en su relación precio/producción para que sea viable.

8.6. Sensibilidad

- Ubicación favorable para su instalación

Como uno de los condicionantes ha sido las bajas velocidades, en este caso se va a tomar un lugar próximo a la ubicación de la empresa en cuestión. Se trata de la montaña colindante al pueblo de Crevillent donde existen una multitud de casas de campo localizadas a gran altitud respecto al nivel del mar (cerca de los 700 m).

Mediante la plataforma de PVGIS se obtiene todos los parámetros necesarios para comenzar con el estudio de la potencia generada. En la Ilustración 39 se puede observar la ubicación elegida, también a 10 metros sobre el nivel del suelo, con el indicador azul, y el punto negro corresponde a la ubicación de la empresa.

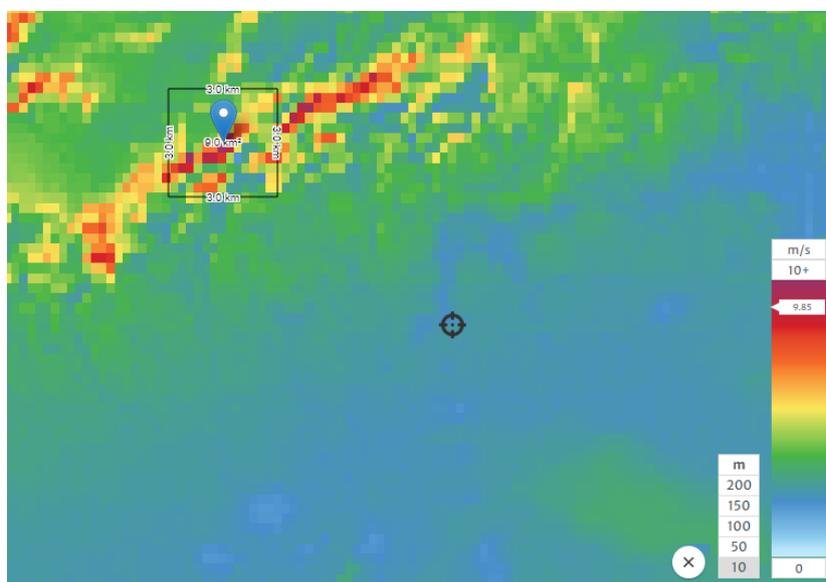


Ilustración 39. Velocidades medias del viento de la región, ampliación. Fuente: PVGIS

Se ha elegido de manera aleatoria dentro de la zona de color rojo, zona con la velocidad media más alta en la cadena montañosa colindante a la localidad de Crevillent. Esto sirve para tener una visión clara de si con una mayor velocidad media el aerogenerador Vortex podría ser una fuente de energía viable.

La velocidad media máxima dentro de la zona seleccionada corresponde con 9,85 m/s y tiene una relación de la variación respecto a lo largo del año y de las horas del día casi idéntica a la ubicación de la empresa.

En este caso se van a tomar hipótesis diferentes debido al cambio drástico de la velocidad media del área, siendo estas;

- También se divide en las mismas franjas horarias, diurno y nocturno.
- Se estima que la velocidad media nocturna será de 10 m/s y la diurna de 9 m/s, esta relación respecto a la variación que puede sufrir durante el día y durante los meses se amolda mejor a la realidad que la anterior hipótesis.
- Se considerará que no es constante el viento y solo tendrá esa velocidad media durante la mitad del intervalo, es decir, se considera que el viento estará presente durante 4 horas en el intervalo nocturno y 8 horas en el intervalo “diurno” (medida que se puede ajustar más a una posible realidad e incluso llegando a tirar por la baja la producción del aerogenerador).
- La instalación se estudiará sobre el consumo “diurno”, ya que ahora si que se produce más en el intervalo diurno debido a que el precio de la factura por los kWh compensados es mayor y es posible un mayor ahorro, es conveniente calcular respecto a la producción “diurna”.
- Al igual que en la anterior hipótesis no se sabe exactamente cuándo se consume a lo largo del intervalo “diurno” y cuando se produce energía en el Vortex, pero se va a tomar como ahorro el tramo de la factura más barato de ese mes (en enero se tiene P1 y P2 en el intervalo “diurno”, pero se multiplicará por P2 que es el tramo más barato). Esta medida puede llegar a tirar por la baja el ahorro generado por la instalación.

Por tanto, se obtiene con una velocidad media de 9 m/s, equivale a 93 W, durante 8 horas de funcionamiento durante 30 días, se obtiene mediante la expresión 5, aproximadamente 22,23 kWh cada uno de ellos, mientras que en el tramo nocturno se tiene una velocidad de 10 m/s, equivale a 100 W, durante 4 horas de funcionamiento durante 30 días aproximadamente de 12 kWh.

Si se hace una media del consumo “diurno” que se puede compensar, eliminando los meses de enero y febrero por alejarse de la media por necesidad de suministrar energía desde la red para compensar la falta de producción de la instalación fotovoltaica y el mes de agosto donde no existe consumo “diurno” a compensar. Por tanto, se obtiene una media de 539 kWh.

En resumen, esto significa que se necesitan solamente 24 Vortex para compensar la demanda “diurna”.

En la Tabla 27 se observa la producción mensual del aerogenerador en el intervalo diurno y el ahorro que proporciona al multiplicar esa producción por el precio del tramo más barato de ese mes dentro de ese intervalo basándose en las Tabla 2 y Tabla 3.

Sin tener en cuenta que si la producción supera el consumo, el máximo ahorro sería multiplicando el consumo de la empresa por el precio del tramo. Se ignora esto debido a que se trata de una cantidad “relativamente” baja de ahorro y es una forma de compensar el solo multiplicar la producción por el tramo más barato.

Tabla 27. Ahorro diurno de la alternativa montañosa. Fuente: Propia.

	CONSUMO "diurno" (kWh)	PRODUCCIÓN (kWh)	AHORRO "diurno"
ENERO	1051,6	553,536	146,87 €
FEBRERO	1665,5	499,968	132,66 €
MARZO	500	553,536	165,49 €
ABRIL	956	535,68	66,52 €
MAYO	543	553,536	68,73 €
JUNIO	385	535,68	0,00 €
JULIO	445	553,536	0,00 €
AGOSTO	0	553,536	0,00 €
SEPTIEMBRE	429	535,68	72,01 €
OCTUBRE	579	553,536	68,73 €
NOVIEMBRE	577	535,68	160,15 €
DICIEMBRE	444	553,536	146,87 €

Mientras que en la Tabla 28, se observa el consumo nocturno y la producción de la instalación. El ahorro nocturno es la multiplicación de la producción por el tramo P6 dependiendo de la clasificación que tenga el mes. La diferencia frente al consumo "diurno" es que no se supera en ningún mes el consumo nocturno y, por tanto, no hay excedentes que se deberían tener en cuenta. Basándose en las Tabla 2 y Tabla 3 se obtiene el ahorro nocturno.

Tabla 28. Ahorro nocturno de la alternativa montañosa. Fuente: Propia.

	CONSUMO NOCTURNO	PRODUCCIÓN	AHORRO NOCTURNO
ENERO	711	297,6	71,41 €
FEBRERO	642	268,8	64,50 €
MARZO	593	297,6	71,41 €
ABRIL	752	288	32,78 €
MAYO	526	297,6	33,88 €
JUNIO	385	288	0,00 €
JULIO	366	297,6	0,00 €
AGOSTO	514	297,6	0,00 €
SEPTIEMBRE	664	288	32,77 €
OCTUBRE	761	297,6	33,88 €
NOVIEMBRE	655	288	69,10 €
DICIEMBRE	644	297,6	71,41 €

Por tanto, el ahorro total anual se puede ver desglosado en la Tabla 29 donde se juntan los ahorros por cada intervalo y se compara con el ahorro posible que tenía el Vortex. Si el ahorro posible es inferior al generado por la instalación, se escogerá como ahorro el ahorro posible. En la columna de ahorro real se obtiene la cantidad de dinero que se puede ahorrar con la instalación Vortex por mes.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

Tabla 29. Ahorro generado por la instalación Vortex en la ubicación montañosa. Fuente: Propia

	POSIBLE AHORRO VORTEX	AHORRO NOCTURNO	AHORRO "diurno"	AHORRO VORTEX	AHORRO REAL
ENERO	485,92 €	71,41 €	146,87 €	218,28 €	218,28 €
FEBRERO	647,71 €	64,50 €	132,66 €	197,15 €	197,15 €
MARZO	298,94 €	71,41 €	165,49 €	236,90 €	236,90 €
ABRIL	208,51 €	32,78 €	66,52 €	99,30 €	99,30 €
MAYO	93,40 €	33,88 €	68,73 €	102,61 €	93,40 €
JUNIO	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
JULIO	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
AGOSTO	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
SEPTIEMBRE	127,72 €	32,77 €	72,01 €	104,78 €	104,78 €
OCTUBRE	87,46 €	33,88 €	68,73 €	102,61 €	87,46 €
NOVIEMBRE	202,64 €	69,10 €	160,15 €	229,26 €	202,64 €
DICIEMBRE	152,74 €	71,41 €	146,87 €	218,28 €	152,74 €

En resumen, se obtiene un ahorro anual, sin IVA, de 1.392,65 €.

Si se realiza el flujo de caja acumulado, al igual que se ha realizado en el apartado 8.5 con sus mismas condiciones, se obtiene la Tabla 30 donde se observa que el flujo de caja al final de la vida útil del aerogenerador es positivo.

Tabla 30. Flujo de caja acumulado de la alternativa montañosa. Fuente: Propia.

AÑO	AHORRO ANUAL	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0	-	-11.900,83 €	-11.900,83 €
1	1.392,65 €	1.392,65 €	-10.508,18 €
2	1.392,65 €	1.392,65 €	-9.115,53 €
---	---	---	---
18	1.392,65 €	1.392,65 €	13.166,87 €
19	1.392,65 €	1.392,65 €	14.559,52 €
20	1.392,65 €	1.392,65 €	15.952,17 €

Será necesario realizar el estudio de los indicadores financieros para obtener la viabilidad económica.

- Mejora de la relación capacidad de producción/precio

Primero, teniendo en cuenta que el aerogenerador sigue siendo en la actualidad un prototipo y no se conoce la capacidad productiva que podría llegar a tener en un futuro, pero una primera aproximación aportada directamente por los estudios proporcionados por la empresa que se pueden observar en la Tabla 21. La velocidad nominal con la que alcanza la producción máxima de 100 W es alrededor de los 11 m/s y empieza a producir, aunque se trate de una cantidad insignificante, cerca de los 3 m/s. [14]

Sabiendo que las velocidades medias máximas que se alcanzan en entornos urbanos o rurales, al nivel del suelo, suelen estar alrededor de los 2-4,5 m/s y conociendo la capacidad de producción del aerogenerador se puede ver a simple vista que la capacidad de producción individual de estos aerogeneradores, junto con su precio, no es muy viable su instalación debido al poco o inexistente beneficio económico que podría proporcionar.

Se ha visto que ubicando la instalación de estos aerogeneradores en zonas con unas velocidades medias altas pueden llegar a tener una posibilidad y ser viables económicamente, pero encontrar zonas donde existan potenciales clientes que requieran de otras fuentes de generación de energía ya puede ser por tener una mala conexión con la red eléctrica o solamente buscar un beneficio/ ahorro económico puede llegar a ser muy complejo. Por tanto, es necesario aumentar la capacidad de producción para que se vaya integrando en el mix energético de empresas y hogares.

Si juntamos el estudio de la viabilidad del Vortex en la zona montañosa, es decir, los datos obtenidos con la hipótesis establecida para su cálculo, y se extrapola a la zona en la que está ubicada la empresa. El aerogenerador Vortex debería tener aproximadamente esta relación, que se muestra en la Tabla 31, entre la velocidad y la capacidad de producción.

Tabla 31. Estimación de la producción del Vortex Tacoma. Fuente: Propia

Velocidad del viento (m/s)	PROTOTIPO	ESTIMACIÓN
3	3 W	93 W
4	10 W	100 W
5	28 W	130 W
6	35 W	162 W
7	60 W	180 W
8	80 W	205 W
9	93 W	218 W
Velocidad nominal	100 W	250 W

El cálculo de la estimación parte de la base que a los 3 m/s que es la velocidad media en la zona de la empresa se encuentra una capacidad de producción que es igual a la velocidad de 9 m/s en el prototipo, era la velocidad media que se tenía en el tramo “diurno” en la zona montañosa, y se establece como producción máxima de 250 W debido a que es un valor que está entre la capacidad de generación de los HAWT y los VAWT, que se observa en la Tabla 5, y puede ser viable llegar a obtener esta capacidad con un mayor desarrollo.

Si se compara con la evolución de las placas fotovoltaicas, manteniendo las distancias debido a la gran inversión que hay detrás del desarrollo de la fotovoltaica, que han pasado de producir alrededor de 290 W en 2009 a placas de 700 W en 12 años, muestra el avance en la última década de las capacidades que existen de mejora dentro de las fuentes renovables. Los aerogeneradores Vortex es una tecnología en pleno desarrollo que puede llegar a evolucionar y conseguir una producción más deseable para el consumidor.

Por otro lado, el aerogenerador tiene unos gastos aproximadamente de unos 495,87 €, sin IVA, donde se contempla;

- El precio propio del aerogenerador.
- La instalación del aerogenerador en el suelo.
- El mantenimiento o los posibles recambios que pueda llegar a tener el aerogenerador a lo largo de toda su vida útil.

En la instalación que se había propuesto para compensar el gasto nocturno de la empresa constaba de 79 Vortex, que hacen un total aproximado de 39.173,55 € de gastos, sin IVA, que se van a tener a lo largo de toda la vida útil.

En la Tabla 26 donde se observa el flujo de caja acumulado, teniendo en cuenta todas las hipótesis de cálculo del ahorro. Se observa que después de 20 años se sigue teniendo un flujo de caja acumulado negativo.

La capacidad de producción en las placas fotovoltaicas ha aumentado a lo largo de los últimos años, pero no solo el aumento de la capacidad de producción favorece a la instalación de estas. El coste de la inversión inicial para la instalación de las placas se ha disminuido, como se contempla en la Ilustración 30, de 2,32 €/W en 2010 hasta el 1,32 €/W en 2020, teniendo una disminución del 43% en un intervalo de 10 años en los costes por cada watio instalado.

No obstante, no es la única disminución de costes que involucra a las placas fotovoltaicas. En los últimos 10 años también ha disminuido el coste del mantenimiento de las placas, Ilustración 31, ya que una constante evolución y mejora del producto provoca una disminución de los costes de mantenimiento de cerca del 7%, pero no provoca un cambio tan significativo como los anteriores en el ahorro. Viendo los datos relacionados sobre la evolución de los gastos vinculados a la instalación y al mantenimiento de las placas fotovoltaicas y extrapolando al Vortex se puede concluir que la instalación del Vortex puede optimizarse para intentar disminuir con el tiempo el coste de instalación, pero en el mantenimiento o recambio de piezas es más difícil conseguir un ahorro fiable.

En resumen, este precio vinculado a la actual capacidad de producción es inviable económicamente para cualquier instalación que se amolde a unas características similares a la empresa estudiada. Actualmente, disminuir los costes de instalación, mantenimiento o material es más complicado que encontrar la forma de producir más dado que, los factores como el precio de los materiales están condicionados por los proveedores o el mantenimiento por una posible empresa externa (todos los factores que no estén en las manos de la propia empresa es más difícil la posible reducción de precios).

En cambio, suponer que el aerogenerador Vortex en la próxima década tenga un aumento sustancial en su capacidad de producción no es una idea tan alejada de la realidad. Este aumento progresivo de la capacidad productiva e intentando conservar el precio actual de instalación y mantenimiento fomentará el uso de esta nueva tecnología acoplándola en los hogares y empresas.

9. VIABILIDAD ECONÓMICA

Para conocer si las instalaciones estudiadas podrían llegar a obtener un beneficio, finalidad principal del estudio, se debe de tener en cuenta los indicadores económicos que valoran la viabilidad económica de un estudio o proyecto, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

- Valor Actual Neto

Es un indicador que consiste en traer al presente los pagos y cobros futuros descontando un tipo de interés determinado para conocer cuanto se va a ganar o perder con la inversión. Se considera que un proyecto/estudio es rentable cuando su VAN es positivo, a falta de estudiar también el TIR. [25] [26]

El valor se obtiene mediante;

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (6)$$

Donde;

- Ft: flujo de caja del año t.
- n: duración en años, 20 años.
- t: intervalo de tiempo, 1 año.
- i: cálculo del tipo de descuento en %, considerando un 10%.
- No se tiene en cuenta el Valor Residual debido a que la instalación está propuesta para toda su vida útil y, por tanto, no aparece en la expresión 6.

• **Instalación fotovoltaica**

Primero se debe de conocer el flujo de caja teniendo en cuenta los ingresos y gastos durante los 20 años de vida útil de la instalación. Teniendo en cuenta que existe un coeficiente de disminución de la producción de las placas solares de -0,55% anuales que afectará a la producción de estas, pero en este caso se ha aplicado sobre el ahorro anual (se debería hacer por la producción de cada mes y ver como modifica la producción en cada tramo para calcular de nuevo el ahorro, pero la diferencia es una cantidad que se puede casi obviar para la realización de un estudio preliminar) y los gastos de mantenimiento van aumentando un 2% respecto al año anterior..

En la Tabla 32 se puede ver la evolución del flujo de caja acumulado de la instalación fotovoltaica, sin IVA.

Se debe tener en cuenta que en el flujo de caja inicial, año 0, se ha metido el gasto total del estudio realizando, es decir, el presupuesto realizado por los servicios aportados para el estudio de viabilidad siendo un total de 7.244,29 €.

Tabla 32. Flujo de caja acumulado de la instalación fotovoltaica. Fuente: Propia.

Año	Coficiente	Ahorro anual	Coste de mantenimiento	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0				-27.807,17 €	-27.807,17 €
1	1	6.717,04 €	943,20 €	5.773,84 €	-22.033,33 €
2	0,9945	6.680,10 €	962,06 €	5.718,03 €	-16.315,30 €
3	0,989	6.643,15 €	981,31 €	5.661,85 €	-10.653,45 €
4	0,9835	6.606,21 €	1.000,93 €	5.605,28 €	-5.048,17 €
5	0,978	6.569,27 €	1.020,95 €	5.548,32 €	500,14 €
6	0,9725	6.532,32 €	1.041,37 €	5.490,95 €	5.991,09 €
7	0,967	6.495,38 €	1.062,20 €	5.433,18 €	11.424,28 €
8	0,9615	6.458,43 €	1.083,44 €	5.374,99 €	16.799,27 €
9	0,956	6.421,49 €	1.105,11 €	5.316,38 €	22.115,65 €
10	0,9505	6.384,55 €	1.127,21 €	5.257,34 €	27.372,99 €
11	0,945	6.347,60 €	1.149,76 €	5.197,85 €	32.570,83 €
12	0,9395	6.310,66 €	1.172,75 €	5.137,91 €	37.708,74 €
13	0,934	6.273,72 €	1.196,21 €	5.077,51 €	42.786,25 €
14	0,9285	6.236,77 €	1.220,13 €	5.016,64 €	47.802,89 €
15	0,923	6.199,83 €	1.244,53 €	4.955,30 €	52.758,19 €
16	0,9175	6.162,88 €	1.269,42 €	4.893,46 €	57.651,65 €
17	0,912	6.125,94 €	1.294,81 €	4.831,13 €	62.482,78 €
18	0,9065	6.089,00 €	1.320,71 €	4.768,29 €	67.251,07 €
19	0,901	6.052,05 €	1.347,12 €	4.704,93 €	71.956,00 €
20	0,8955	6.015,11 €	1.374,06 €	4.641,05 €	76.597,04 €

En conclusión, resulta que el VAN de la instalación fotovoltaica tiene un valor de 18.145,98 €. Por tanto, según el Valor Actual Neto sí que sería una opción totalmente viable económicamente que proporcionaría beneficios.

- **Instalación Vortex**

Al contrario que la instalación fotovoltaica, el flujo de caja acumulado ya ha sido calculado con anterioridad, se muestra en la Tabla 26. Entonces, resulta que el VAN de la instalación Vortex tiene un valor de -28.269,16 €.

Por tanto, según el Valor Actual Neto, no sería una opción recomendable debido a que no existe beneficio económico, cosa que se podía apreciar observando la tabla de la evolución del flujo de caja acumulado.

En cambio, la alternativa de una instalación en una zona montañosa cerca de la empresa, esta condición se puede extrapolar a cualquier zona que tenga las mismas características eólicas, se tendría un flujo de caja acumulado representado en la Tabla 30 y, por tanto, un Valor Actual Neto de -44,41 €.

Este valor cercano a cero muestra que el proyecto de inversión es indiferente debido a que no genera pérdidas ni beneficios. Sin embargo, en el cálculo del flujo acumulado de caja de la alternativa, ni en la instalación Vortex en la empresa, se han llegado a considerar los gastos generados por el estudio, el presupuesto por los servicios aportados.

Entonces, si se tiene en cuenta, aunque sea un porcentaje del pago por el estudio y no su totalidad, en el cálculo del flujo de caja acumulado se tendría que no es viable económicamente porque bajaría más el valor del VAN y generaría pérdidas a la empresa.

- Tasa Interna de Retorno

Es un indicador que facilita la toma de decisiones sobre la inversión a realizar mediante la comparación del tipo de interés que se aplica a la financiación de un proyecto/estudio con el porcentaje de ingresos o pérdidas de una inversión.

El TIR se calcula igualando la ecuación del VAN a cero y obteniendo i de la expresión 6, es decir, el tipo de descuento. Para que una inversión sea recomendable su realización, el TIR debe ser superior al tipo de interés (implicaría que la rentabilidad es mayor que el coste de oportunidad/rentabilidad mínima).

- **Instalación fotovoltaica**

Se obtiene de la instalación fotovoltaica una Tasa Interna de Retorno del 19%, siendo aceptable la inversión por estar por encima del tipo de interés.

- **Instalación Vortex**

Se obtiene de la instalación Vortex estudiada para la instalación en la empresa tiene una Tasa Interna de Retorno del -4%, no siendo aceptable su inversión. Aún cuando, con el dato del VAN ya se había descartado toda idea de una posible instalación en la empresa.

Por el contrario, en la alternativa que se ha propuesto de una instalación Vortex con unas condiciones eólicas diferentes se obtiene una Tasa Interna de Retorno del 10%. Del mismo modo que el VAN, se obtiene que la realización de la instalación es indiferente debido a que no proporcionaría beneficios ni pérdidas.

Al igual que el flujo de caja acumulado y el VAN, para el cálculo del TIR no se ha tenido en cuenta los gastos generados por el estudio. Por tanto, el valor del TIR sería aún menor provocando un cambio de opinión sobre la indiferencia de realizar la instalación en la alternativa “montañosa”, decidiendo no instalar.

10. CONCLUSIONES

En este Trabajo de Fin de Grado se ha estudiado la viabilidad económica de instalar en una empresa de carpintería en la localidad de Crevillent, Alicante, una instalación que combina una instalación fotovoltaica de autoconsumo de compensación con una instalación de aerogeneradores Vortex.

Se ha hecho un análisis descriptivo de la situación actual en España, teniendo en cuenta la evolución de la tecnología y su normativa, tanto de la fotovoltaica como de la eólica, profundizando en la tecnología Vortex para comprender el funcionamiento y sus características básicas para la producción de energía comparándola con la energía eólica convencional.

También se ha realizado un análisis exhaustivo sobre las tarifas y el consumo de las facturas eléctricas de la empresa que ha servido para realizar los cálculos necesarios para conocer la potencia instalada de cada una de las dos tecnologías y el ahorro que podría llegar a generar cada instalación a la empresa.

Por tanto, en este estudio se ha podido demostrar que la propuesta de una instalación fotovoltaica de autoconsumo de compensación resultaría factible y rentable para la empresa debido a que proporciona un ahorro anual en la factura de la electricidad y, por tanto, un beneficio económico.

Por el contrario, puede afirmarse que una instalación de aerogeneradores Vortex no es factible en estas condiciones, teniendo en cuenta la ubicación de la empresa debido a sus características eólicas, ya que generaría pérdidas a la empresa.

En cambio, se ha comprobado que las mismas características de consumo en otra ubicación más favorable, con unas características muy idílicas dentro del territorio español, si que podría llegar a ser factible una posible instalación debido a un aumento de la producción generada por un incremento de la velocidad media del viento.

En conclusión, los aerogeneradores Vortex aún no tienen la capacidad de producción de energía necesaria para poder llegar a ser una alternativa factible económicamente en entornos urbanos. Por el contrario, una instalación fotovoltaica sería una gran opción para obtener un beneficio anual en la factura y conseguir una independencia energética.

11. BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS

[1] Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. Disponible en;

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[2] Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (2018). Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>

[3] La directiva europea de energías renovables refuerza la posición del autoconsumo fotovoltaico (2020). Creara. Disponible en: <https://www.creara.es/sin-categorizar/directiva-europea-de-energias-renovables-refuerza-autoconsumo-fotovoltaico/>

[4] Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores (2018). BOE, núm. 242, de 6 de octubre de 2018, páginas 97430 a 97467. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2018/10/05/15>

[5] Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica (2019). BOE, núm. 83, de 6 de abril de 2019, páginas 35674 a 35719. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>

[6] Decreto-ley 14/2020, de 7 de agosto, del Consell, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica (2020).DOG V, núm. 8893, de 28 de agosto de 2020, páginas 32878 a 32930 . Disponible en: <https://www.boe.es/ccaa/dogv/2020/8893/r32878-32930.pdf>

[7] Situación energía fotovoltaica en España (2021). Airalia. Disponible en: <https://www.airalia.es/ecologia/estado-la-energia-solar-espana/>

[8] Diapositivas Tema 3, Energía Solar Fotovoltaica. Material asignatura Tecnología Energía. Disponible; https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_11427_2021/Parte%201.%20Fuentes%20de%20Energ%C3%ADa/3_TEMA-3/21-22_TEMA_3_CAST.pdf

[9] Situación energía eólica en España (2021). Xataka. Disponible en: <https://www.xataka.com/energia/energia-eolica-primera-fuente-electricidad-espana-ocho-anos-despues-renovable-logra-superar-a-nuclear>

[10] Inventos relacionados con la energía eólica (2015). Erenovable. Disponible en: <https://erenovable.com/top-5-de-los-inventos-relacionados-con-la-energia-eolica/>

[11] Cooperativa Eléctrica San Francisco de Asís de Crevillent. Enercoop. Disponible en: <https://www.grupoenercoop.es/>

[12] Orden TED/171/2020, de 24 de febrero, por la que se actualizan los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, a efectos de su aplicación al periodo regulatorio que tiene su inicio el 1 de enero de 2020. BOE. núm. 51, de 28 de febrero de 2020. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2020/02/24/ted171/con>

[13] El nuevo recibo de la luz: las tarifas 3.0TD. (2021). [Blog]. Disponible en: <https://blog.aldroenergia.com/2021/05/el-nuevo-recibo-de-la-luz-las-tarifas-3-0td/>

[14] Funcionamiento y características del aerogenerador Vortex. VortexBladeless. Disponible en: <https://vortexbladeless.com/es/desarrollo-tecnologia/>

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

- [15] Yáñez Villareal, D. (2018). *Aerogeneradores resonantes por VIV*. Disponible en: <https://vortexbladeless.com/es/>
- [16] ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º12. Plantas eólicas*. Material asignatura Tecnología Energética.
- [17] T Shi, G Hu, L Zou, J Song, KCS Kwok (2021). *Perfonmance of an omnidirectional piezoelectric wind energy harvester*. Disponible en; <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/we.2624>
- [18] Méndez, C. *Evaluación del efecto de la estela en el desempeño de un parque eólico*. Disponible:[https://fglongatt.org/OLD/Desechable/Sept_Oct2010/Paper_SanCristobal%20 Estela .pdf](https://fglongatt.org/OLD/Desechable/Sept_Oct2010/Paper_SanCristobal%20Estela_.pdf)
- [19] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE (2020). Análisis del Recurso. Atlas Eólico de España [PDF] (pp.21-22). Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e4_atlas_eolico_A_9b90ff10.pdf
- [20] Cómo influye la energía eólica en el medio ambiente (2020). TheCircularLab. Disponible en: <https://www.thecircularlab.com/como-influye-energia-eolica-medio-ambiente/>
- [21] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (2019). Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP.
- [22] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE (2020). *Plan de Energías Renovables 2011-2020* [PDF] (pp. 382-383). Disponible en; <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>
- [23] Alonso Lorenzo, J. Radiación Solar [Blog]. <https://www.sfsolar.com/noticias/articulos/radiacion-solar/>.
- [24] Compensación con excedentes (2021). CambioEnergético. Disponible en: <https://www.cambioenergetico.com/blog/compensacion-excedentes-autoconsumo-vs-venta/>
- [25] ABB. *Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 10. Plantas fotovoltaicas*. Material asignatura Tecnología Energética.
- [26] Suárez, A. (2014). *Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa*. Ed. Pirámide.
- [27] Cotizaciones a la seguridad social (2021). Sage. Disponible en; <https://www.sage.com/es-es/blog/las-cotizaciones-a-la-seguridad-social-conceptos-bases-y-porcentajes/>
- [28] Dependencia de la temperatura y la irradiancia sobre el módulo fotovoltaico (2020). Heliosfera. Disponible en: <https://www.heliosfera.com/dependencia-de-la-temperatura-y-la-irradiancia-sobre-el-modulo-fotovoltaico/>
- [29] Temperatura promedio en Crevillent (2022). Weatherspark. Disponible en; <https://es.weatherspark.com/s/42518/1/Tiempo-promedio-en-el-verano-en-Crevillente-Espa%C3%B1a>

PRESUPUESTO

1. OBJETIVO

El objetivo del presente documento es llegar a cuantificar de forma detallada el coste que supondría en un ámbito profesional la elaboración de un estudio sobre la viabilidad económica presentado anteriormente.

Se ha dividido el documento para mostrar más claramente los costes del estudio en;

- Coste de mano de obra
- Costes de hardware
- Costes de software

Únicamente se ha decidido considerar estos tres costes debido a que el proyecto realizado no contempla la instalación, es meramente un estudio. En los apartados posteriores se encuentra desglosado el presupuesto y el presupuesto final, donde muestra el coste total.

2. COSTE MANO DE OBRA

La realización del presupuesto se ha establecido un sueldo neto de 1471 € mensuales para un ingeniero junior, teniendo en cuenta que el 6,5% es el tipo de cotización que le corresponde a un trabajador con un contrato indefinido en el año 2022 donde se incluye la tasa de desempleo, contingencia común y formación profesional. Por tanto, el sueldo bruto pagado por parte de la empresa para un ingeniero junior se establece en 1564,40 € y 2300 € para el tutor del estudio.

Según el Boletín Oficial del Estado del Ministerio de Empleo y Seguridad Social para el ejercicio de 2022, la empresa destinará el 23,60% del sueldo para contingencias comunes, el 5,5% para las prestaciones del desempleo en España, un 0,6% destinado a la formación profesional, un 0,2% destinado al Fondo de Garantía Salarial (FOGASA) y entre el 1,5-7,5% en IT/MS (accidentes de trabajo y enfermedades profesionales), siendo en este caso el 1,5%. [27]

Por tanto, la empresa deberá pagar 2055,63 € mensuales al ingeniero junior y 3022,2 € mensuales para el tutor del estudio.

Para justificación el coste de la mano de obra se va a desglosar por tareas realizadas y las horas que ha ocupado al ingeniero junior y al tutor, siendo;

MOIJ = Mano de Obra Ingeniero Junior

MOT = Mano de Obra Tutor

Tabla I. Planificación de horas dedicadas a cada parte. Fuente: Propia

	Horas MOIJ	Horas MOT
1. PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO A REALIZAR	17	13
Reuniones para planificación de los plazos de entrega	2	2
Búsqueda de trabajos y artículos científicos relacionados	15	3
Revisiones		8
2. INVESTIGACIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	26	4
Búsqueda y recopilación de información	12	
Formación en instalaciones fotovoltaicas	10	
Reuniones para aclarar dudas	4	4
3. INVESTIGACIÓN DE LA INSTALACIÓN VORTEX	31	8
Búsqueda de información	25	2
Reuniones para aclarar dudas	6	6
4. CÁLCULOS DEL PROYECTO	110	6
Cálculo de la instalación fotovoltaica	18	
Obtención del ahorro fotovoltaico	12	
Cálculo de la instalación Vortex	32	2
Obtención del ahorro Vortex	25	2
Alternativas del Vortex	8	
Análisis de resultados	15	2
5. INFORME DEL ESTUDIO	156	0
Redacción del estudio	150	
Elaboración del presupuesto	6	
TOTAL HORAS	340	31

Para realizar los cálculos del coste por hora de cada uno de ellos se ha tenido en cuenta una jornada laboral de 8 horas diarias, 30 días de vacaciones pagadas y 15 días festivos anuales más dos pagas extras anuales. En resumen, los costes de mano de obra son;

Tabla II. Cuadro de precios de la mano de obra. Fuente: Propia

CUADRO DE MANO DE OBRA					
Nº	CÓDIGO	DESIGNACIÓN	PRECIO	HORAS	TOTAL
1	MOIJ	Ingeniero Junior	16,06 €	340	5.460,40 €
2	MOT	Tutor	23,61 €	31	731,91 €
TOTAL M.O				6.192,31 €	

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

Desglosando el precio total en cada tarea del estudio se obtiene;

Tabla III. Desglose del coste de mano de obra. Fuente: Propia

DESGLOSE MANO DE OBRA POR TAREAS				
Nº	DESIGNACIÓN	PRECIO	HORAS	TOTAL
1	PLANIFICACIÓN DEL ESTUDIO A REALIZAR		30	579,95 €
1.1	Reuniones para planificación de los plazos de entrega		4	79,34 €
	MOIJ	16,06 €	2	32,12 €
	MOT	23,61 €	2	47,22 €
1.2	Búsqueda de trabajos y artículos científicos relacionados		18	311,73 €
	MOIJ	16,06 €	15	240,90 €
	MOT	23,61 €	3	70,83 €
1.3	Revisiones		8	188,88 €
	MOT	23,61 €	8	188,88 €
2	INVESTIGACIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA		30	512,00 €
2.1	Búsqueda y recopilación de información		12	192,72 €
	MOIJ	16,06 €	12	192,72 €
2.2	Formación en instalaciones fotovoltaicas		10	160,60 €
	MOIJ	16,06 €	10	160,60 €
2.3	Reuniones para aclarar dudas		8	158,68 €
	MOIJ	16,06 €	4	64,24 €
	MOT	23,61 €	4	94,44 €
3	INVESTIGACIÓN DE LA INSTALACIÓN VORTEX		39	686,74 €
3.1	Búsqueda de información		27	448,72 €
	MOIJ	16,06 €	25	401,50 €
	MOT	23,61 €	2	47,22 €
3.2	Reuniones para aclarar dudas		12	238,02 €
	MOIJ	16,06 €	6	96,36 €
	MOT	23,61 €	6	141,66 €
4	CÁLCULOS DEL ESTUDIO		116	1.908,26 €
4.1	Cálculo de la instalación fotovoltaica		18	289,08 €
	MOIJ	16,06 €	18	289,08 €
4.2	Obtención del ahorro fotovoltaico		12	192,72 €
	MOIJ	16,06 €	12	192,72 €
4.3	Cálculo de la instalación Vortex		34	561,14 €
	MOIJ	16,06 €	32	513,92 €
	MOT	23,61 €	2	47,22 €
4.4	Obtención del ahorro Vortex		27	448,72 €
	MOIJ	16,06 €	25	401,50 €

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

	MOT	23,61 €	2	47,22 €
4.5	Alternativas Vortex		8	128,48 €
	MOIJ	16,06 €	8	128,48 €
4.6	Análisis de resultados		17	288,12 €
	MOIJ	16,06 €	15	240,90 €
	MOT	23,61 €	2	47,22 €
5	INFORME DEL ESTUDIO		156	2.505,36 €
5.1	Redacción del estudio		150	2.409,00 €
	MOIJ	16,06 €	150	2.409,00 €
5.2	Elaboración del presupuesto		6	96,36 €
	MOIJ	16,06 €	6	96,36 €
TOTAL M.O				6.192,31 €

3. COSTE HARWARE

Para la realización del estudio ha sido necesario la utilización de un ordenador con el que se ha elaborado el estudio. Teniendo en cuenta que el tutor ya cuenta con su ordenador propio, no se tendrá en cuenta a la hora de realizar el presupuesto. Sin embargo, se contempla que el uso del ordenador del ingeniero junior no es solamente para la realización de este estudio. Debido a esto, se tiene que calcular la amortización del equipo considerando que se ha tardado en realizar el estudio 4 meses y la vida útil del ordenador está cerca de los 6 años.

Se obtiene una amortización del 5,56%, se impondrá en el presupuesto del estudio respecto al coste total del ordenador que se observa en la Tabla IV.

Tabla IV. Cuadro de costes del Hardware. Fuente: Propia.

Nº	PRODUCTO	UD.	COSTE	AMORTIZACIÓN	DEPRECIACIÓN
1	Portátil ASUS ZenBook 14 ,i7. 16 GB 512GB SSD	1u	949,00 €	5,56%	52,76 €
TOTAL HARDWARE					52,76 €

Teniendo en cuenta que tanto el coste como la depreciación del portátil contiene el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) del 21%.

4. COSTE DEL SOFTWARE

Los costes relacionados al uso de softwares necesarios para la realización del estudio es totalmente nulo debido a que las licencias de estos han sido proporcionadas por la universidad. Estas licencias al estar vinculadas con la universidad están pensadas únicamente para el uso académico y, por tanto, estaría prohibido su uso en el caso de realizar el estudio con una empresa.

Tabla V. Cuadro de costes del software. Fuente: Propia.

Nº	SOFTWARE	CANTIDAD	COSTE
1	Licencia de Microsoft Office 365	1u	- €
2	Licencia AutoCAD 2019	1u	- €
TOTAL SOFTWARE			- €

5. PRESUPUESTO FINAL

Se muestra en la tabla el presupuesto de ejecución por contrata del estudio realizado teniendo en cuenta los costes desarrollados anteriormente.

Tabla VI. Presupuesto por ejecución por contrata. Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	COSTE
COSTE MANO DE OBRA	6.192,31 €
COSTE HARDWARE	52,76 €
COSTE SOFTWARE	- €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	6.245,07 €
10% GASTOS GENERALES	624,51 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	374,70 €
SUMA	7.244,29 €
21%	1.521,30 €
PRESUPUESTO POR EJECUCIÓN POR CONTRATA	8.765,59 €

El coste final del presupuesto es de *OCHO MIL SETECIENTOS SESENTA Y CINCO CON CINCUENTA Y NUEVE EUROS*.

ANEXO

ANEXO I: DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

- Ficha técnica de los paneles de JA Solar Monocristalinos PERC, *AutoSolar*. Disponible en; <https://autosolar.es/pdf/JaSolar-M72S20-MR440-465W.pdf>
- Ficha técnica del panel de JINKO Solar Monocristalino, *RevoluciónRenovable*. Disponible en; <https://jinkosolar.eu/files/jinko/download/2020/datasheet/Tiger-Pro/BIF-78/TR%20JKM555-575M-7RL4-TV-D5.1-EN.pdf>
- Ficha técnica del inversor HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 SMART PV CONTROLLER, *Autosolar*. Disponible en; <https://autosolar.es/pdf/Huawei-SUN2000-30-36-40-KTL-M3.pdf>
- Ficha técnica de la estructura coplanaria de 5 paneles de Valcat Structure, *Autosolar*. Disponible en; <https://autosolar.es/pdf/datasheet-estructura-cubierta-metalica-falcat.pdf>

ANEXO II: DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Para instalar una potencia de 30 kW, es totalmente necesario conocer el número de paneles que se necesitan para poder conseguir esa potencia.

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{P_{GFV}}{P_{placa}} \quad (I)$$

P_{GFV} : potencia pico de la instalación, siendo de 30 Kw.

P_{placa} : potencia nominal máxima del módulo, siendo de 455 W.

De la expresión I, se obtiene que se necesitan 65 paneles. Una vez conocido el número de paneles, se debe de determinar el número de paneles que tienen que ir en serie y el número de cadenas de módulos en paralelo en la instalación.

- Número de módulos en serie

Se debe de comprobar el número máximo y mínimo de módulos que se deben de conectar en serie, estando condicionado los cálculos por las características técnicas de los paneles y del inversor.

Cuando se determina el número máximo de paneles que deben colocarse en serie se debe de tener en cuenta dos restricciones, siendo la más condicionante la más restrictiva (la condición que menos paneles permita poner en serie en la instalación).

Por un lado, la tensión máxima del sistema de módulos fotovoltaicos no puede ser mayor que la tensión máxima de entrada del inversor elegido, expresión II. Por otro lado, la tensión de máxima de los módulos no puede ser superior a la tensión límite superior del rango de tensión de operación, expresión IV. [28]

- Primera condición;

$$N^{\circ} \text{ paneles en serie} \leq \frac{V_{DC_MAX}}{V_{panel_MAX}} \quad (II)$$

- V_{DC_MAX} : tensión máxima de entrada en el inversor, siendo de 1100 V.
- V_{panel_MAX} : tensión máxima en el módulo fotovoltaico. Depende directamente de la tensión de circuito abierto, de la irradiancia y de la temperatura.

Por tanto;

$$V_{panel_MAX} = V_{OC} \times (1 + \beta_V \times (T_{MIN} - 25^\circ C)) \quad (III)$$

- **V_{OC}**: tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico, con un valor de 49,85 V.
- **β_V**: coeficiente de la temperatura de tensión del módulo fotovoltaico, con un valor de 0,272%/°C (valor absoluto). Este valor representa la caída de tensión por cada grado que supere las condiciones estándar, 25 °C.
- **T_{MIN}**: temperatura mínima que se alcanzará en el módulo fotovoltaico. La temperatura mínima es la condicionante porque al disminuir la temperatura, aumenta la tensión.

La temperatura mínima está condicionada por la temperatura ambiente y la irradiancia. Poniendo el caso más extremo (invierno) con una irradiancia nula, únicamente estará condicionada por la temperatura que como caso extremo podría llegar a ser -4 °C en Crevillent.[29]

Se obtiene;

$$V_{panel_MAX} = 49.85 \times \left(1 + \left(-\frac{0.272}{100} \times (-4 - 25) \right) \right) = 53,78 \text{ V}$$

En conclusión, se podrían 20 paneles en serie si se tiene en cuenta la relación de la temperatura con el número máximo de paneles que se deben de colocar en la instalación, pero si se desprecia este valor se obtendría 22 paneles en serie como límite superior.

➤ Segunda condición

$$N^\circ \text{ paneles en serie} \leq \frac{V_{MPPT_MAX}}{V_{panel_MAX}} \quad (IV)$$

- **V_{MPPT_MAX}**: tensión límite superior del rango de tensión de operación del MPPT, siendo este 1000 V.
- **V_{panel_MAX}**: tensión máxima en el módulo fotovoltaico trabajando en el punto de máxima potencia. A diferencia que el anterior **V_{panel_MAX}** de la expresión III, ahora depende de la tensión nominal del módulo, **V_{mp}**, teniendo esta un valor de 41,82V. Sin embargo, sigue dependiendo de la temperatura mínima y la irradiancia.

Siguiendo el mismo criterio de la expresión III cambiando **V_{OC}** por **V_{mp}**, se obtiene una tensión máxima del módulo de 45,11 V.

En conclusión, se podrían 22 paneles en serie si se tiene en cuenta la relación de la temperatura con el número máximo de paneles que se deben de colocar en la instalación, pero si se desprecia este valor se obtendría 23 paneles en serie como límite superior. Se obtiene que la primera condición es más restrictiva que la segunda y, por tanto, la que se tendrá en cuenta.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

Además del cálculo del número máximo de paneles que deben ir en la instalación se debe de tener en cuenta el número mínimo de paneles que se podrían colocar en serie.

Se debe de cumplir que la tensión mínima de los módulos no puede ser inferior a la tensión límite inferior del rango de tensión de operación, como se muestra en la expresión IV.

$$N^{\circ} \text{ paneles en serie} \geq \frac{V_{MPPT_MIN}}{V_{panel_MIN}} \quad (IV)$$

- V_{MPPT_MIN} : tensión límite inferior del rango de tensión de operación del MPPT, siendo este 200 V.
- V_{panel_MIN} : tensión mínima en el módulo fotovoltaico trabajando en el punto de máxima potencia, siendo condicionada por la temperatura máxima y la irradiancia.

Donde;

$$V_{panel_MIN} = V_{mp} \times (1 + \beta_V \times (T_{MAX} - 25^{\circ}C)) \quad (V)$$

- V_{mp} : tensión nominal del módulo fotovoltaico, con un valor de 41,82 V.
- β_V : coeficiente de la temperatura de tensión del módulo fotovoltaico, con un valor de 0.272%/°C (en valor absoluto). Este valor representa la caída de tensión por cada grado que supere las condiciones estándar, 25 °C.
- T_{MAX} : temperatura máxima que se alcanzará en el módulo fotovoltaico. La temperatura máxima es la condicionante porque al aumentar la temperatura, disminuye la tensión.

La temperatura máxima esta condicionada por la temperatura ambiente y la irradiancia. Poniendo el caso más extremo (verano) con una irradiancia 1000 W/m² se tiene que;

$$T_C = T_A + G \times \frac{T_{ONC}-20}{800} \quad (VI)$$

- T_C corresponde a la T_{MAX}
- T_A : temperatura ambiente en °C. Poniendo casos muy puntuales y anómalos de la época estival en la que se puede llegar a alcanzar temperaturas cercanas a los 43 °C. [29]
- G : irradiancia en W/m².
- T_{ONC} : temperatura de operación nominal del módulo, siendo de 45 °C.

Por tanto, la temperatura máxima que podrá alcanzar el módulo, según la expresión VI, será de 74,25°C. Resultando que la tensión mínima del módulo, según la expresión V, tendrá un valor de 36,21 V.

Entonces, es necesario poner como mínimo 6 paneles en serie si se tiene en cuenta la relación de la temperatura con el número mínimo de paneles que se deben de colocar en la instalación, pero si se desprecia este valor se tendría 5 paneles en serie como límite inferior.

- Número de módulos en paralelos

Para conocer el máximo y mínimo que se puede llegar a instalar en la instalación es necesario delimitar el número máximo de líneas, strings, en paralelo. El cálculo de las líneas en paralelo en la instalación viene condicionado por la corriente de los sistemas que actúan. Por tanto, debe ser la corriente máxima del sistema fotovoltaico menor que la corriente máxima de entrada al inversor como refleja la expresión VII.

$$N_{\text{paralelo}} \leq \frac{I_{\text{entrada_MAX}}}{I_{\text{panel_MAX}}} \quad (\text{VII})$$

- $I_{\text{entrada_MAX}}$: corriente de entrada máxima al inversor.
- $I_{\text{panel_MAX}}$: corriente máxima del sistema fotovoltaico, estando condicionado por la temperatura máxima que puede alcanzar el panel, la irradiancia y la corriente de cortocircuito.

$$I_{\text{panel_MAX}} = I_{CC} \times (1 + \alpha_V \times (T_{\text{MAX}} - 25^\circ\text{C})) \quad (\text{VIII})$$

- I_{CC} : corriente cortocircuito a 25°C del panel fotovoltaico, siendo 11.41 A.
- α_V : coeficiente de temperatura de intensidad, siendo su valor de +0.044%/°C.
- T_{MAX} : Temperatura máxima siendo esta de 74,25°C, calculada mediante la expresión VI.

Por tanto, la intensidad máxima del sistema fotovoltaico es de 11.65 A, variando solamente un 1,73% respecto a la corriente de cortocircuito. Este resultado es esperado ya que la temperatura afecta en mayor medida a la tensión y no a la variación de la corriente.

Entonces, el sistema debe cumplir que;

$$I_{\text{MAX por MPPT}} \times N^\circ \text{ de MPPT} > I_{\text{panel_MAX}} \times N^\circ \text{ de líneas en paralelo} \quad (\text{IX})$$

Teniendo en cuenta que la $I_{\text{MAX por MPPT}} \times N^\circ \text{ de MPPT}$ se trata de la corriente máxima por cada MPPT, siendo de 26 A, por el número de MPPT que tiene el inversor, siendo 4. Se obtiene que $I_{\text{entrada_MAX}}$ es igual a 104 A.

Entonces, aplicando la expresión VII se adquiere que el número máximo de líneas en paralelo será de 8.

Estudio de la viabilidad económica de una instalación fotovoltaica frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex para la instalación de 30 kW en una empresa de carpintería de Crevillent, Alicante

- Mayor eficiencia

Se debe de tener en cuenta que el panel fotovoltaico tendrá la mayor eficiencia cuando se trabaja con 600V. Por tanto, es interesante estudiar esta condición para sacar el máximo rendimiento de los paneles.

El número de módulos en serie que permitirían que la instalación trabaje en la tensión de máxima eficiencia sería;

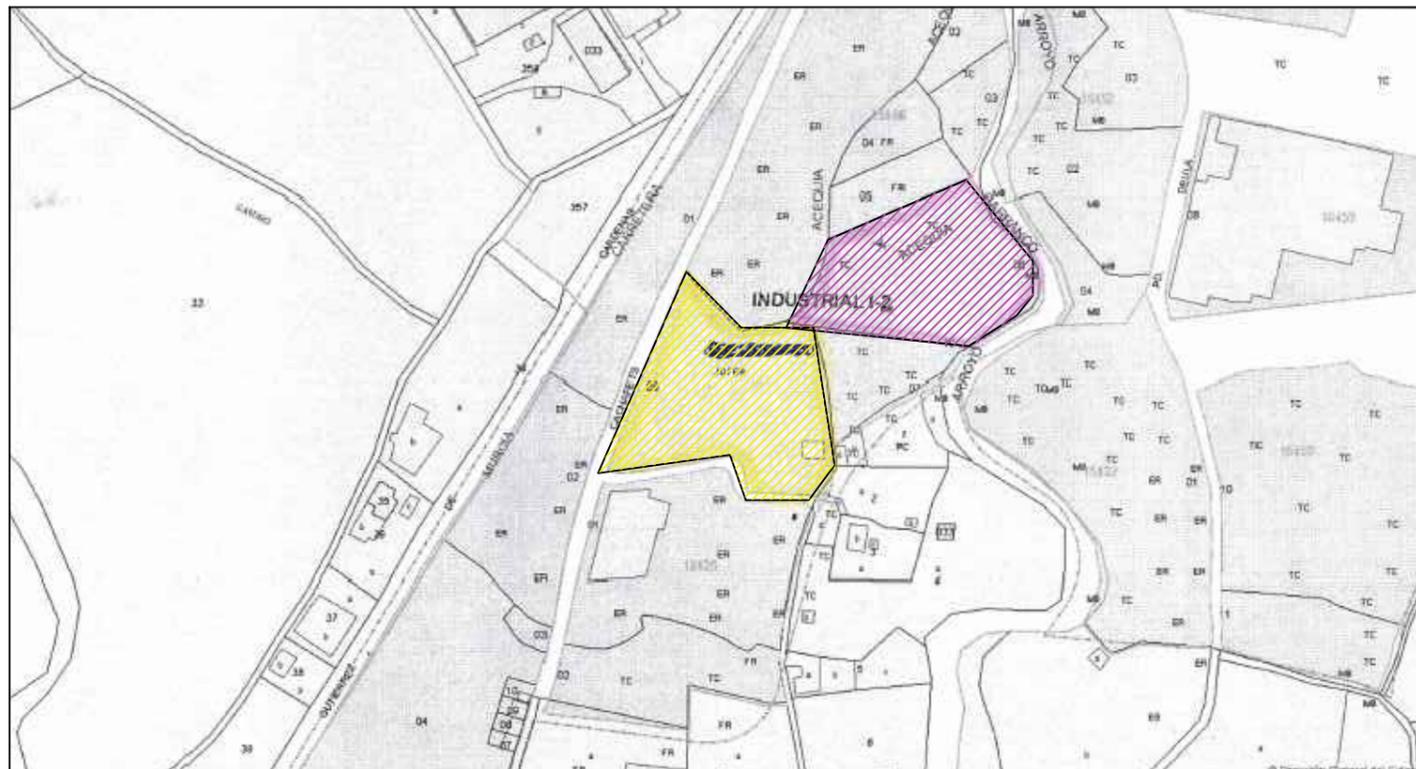
$$N^{\circ} \text{ paneles en serie} \leq \frac{V_{EFICIENCIA_{MAX}}}{V_{panel_{MAX}}} \quad (X)$$

- $V_{EFICIENCIA_{MAX}}$: tensión de máxima eficiencia de los paneles, siendo de 600 V.
- $V_{panel_{MAX}}$: tensión máxima en el módulo fotovoltaico trabajando en el punto de máxima potencia. Se obtiene mediante la expresión III cambiando la tensión de circuito abierto por la tensión nominal del módulo, teniendo un valor de 45,11 V.

Por tanto, con 13 módulos por serie sería la opción de combinación con una eficiencia más alta.

PLANOS

Escala 1:3000



Escala 1:1000

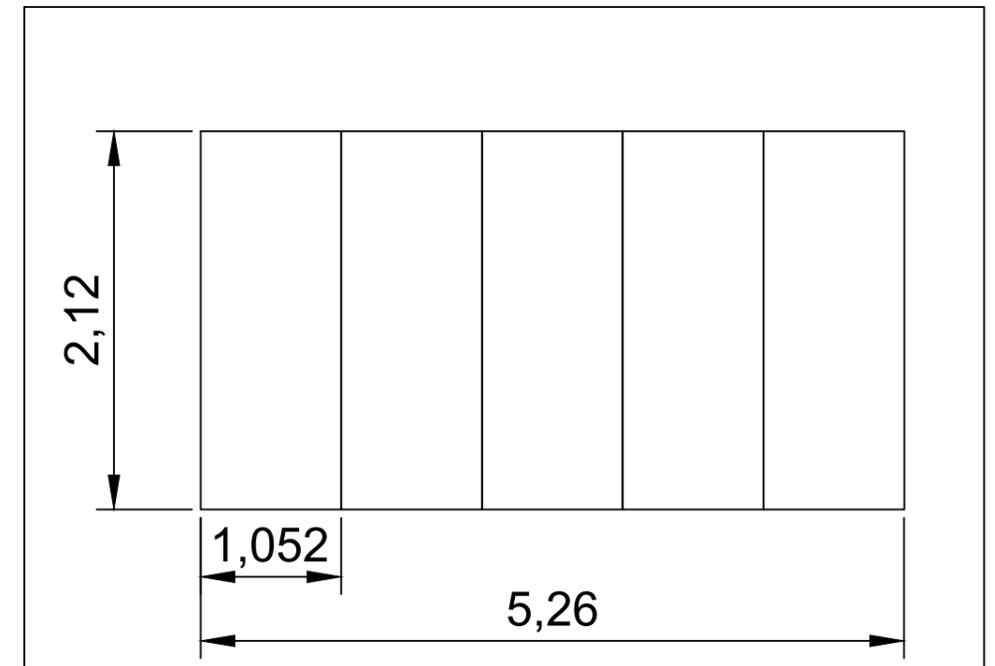


AMARILLO	Carpintería JOFER S.L
VIOLETA	Terreno colindante perteneciente a la empresa

Escala 1:500



Escala 1:100



CAMPO FOTOVOLTAICO
65 módulos JA Solar Mono 455 W

5 grupos en paralelo
compuestos por 13 módulos en serie

