



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**



**Diseño preliminar de un sistema energético híbrido (eólico-solar) y cálculo de su generación energética como apoyo al Pabellón Olímpico de Badalona.**

POR

Hernando Jesús Chacón Pantoja.

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Mecánico.

Profesor Guía:  
**Dr. en Ciencias. Adelqui Andrés Fissore Schiappacasse**

Marzo 2024  
Concepción (Chile)

© 2024 Hernando Jesús Chacón Pantoja

© 2024 Hernando Jesús Chacón Pantoja

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis padres, Johanna Pantoja Pereira y Luis Chacón Pita, por todo su amor, apoyo y comprensión. Nunca olvidaré la palabra mágica ACTITUD. Les agradezco los años que me guiaron y los valores entregados.

A Dios, por la fuerza y la bendición de este proyecto.

A mi hermana Macarena Chacón Pantoja, por su constante apoyo. Me diste la fuerza para seguir en los momentos más complejos.

A María Bernardita Bordeu, por los momentos de contención, el amor incondicional, las tardes escuchando ideas, de cómo mejorar el proyecto y las constantes palabras de aliento.

A Irene Lopez Peña, por ofrecerme este reto y su constante apoyo para lograrlo.

A mis profesores, por las enseñanzas y la presencia.

A mi grupo de amigos, por todas las tardes en discord, repletas de risas y chistes fomes.

*Esta memoria está dedicada a mis bis abuelas. Gracias por guiarme desde el cielo y darme la fuerza para continuar.*

## Resumen

La energía es fundamental para el crecimiento de la sociedad, permite que en la actualidad la vida sea más segura y sencilla, junto con ello, se busca que esta sea económica, de generación rápida y que la forma de captación no sea dañina para el medio ambiente. Existen diversas formas de generar energía, las que se verán a lo largo de la presente memoria son la eólica y la solar en un mismo sistema. A la capacidad de juntar en un mismo proyecto 2 o más energías limpias se le denomina energía híbrida, esta es la tecnología verde que se busca fabricar, un ejemplo de esta es la unión de la captación eólica y la solar fotovoltaica.

A lo largo de la presente memoria de título, se busca como objetivo principal Diseñar un sistema híbrido, que contenga en sí la energía eólica y solar, calculando la producción energética. El sistema está pensado para ser instalado en el techo del Pabellón Olímpico de Badalona. Ubicado en la ciudad de Badalona a 10 kilómetros del centro de Barcelona.

Para que el diseño sea aceptado debe cumplir algunas condiciones de diseño.

- El sistema debe generar un mínimo de 50 [Wh] de energía con un viento de 4.5 [m/s].
- Las palas deben tener una altura de 1.8 [m], las cuales, en sus caras interna y externa, se deben colocar paneles fotovoltaicos.

Con el objetivo de cumplir lo solicitado y dar un análisis del sistema, se desarrollan 3 objetivos independientes.

- Diseñar el prototipo de un aerogenerador del tipo vertical, el cual tenga integrado paneles fotovoltaicos.
- Calcular la producción de las áreas eólica y solar de forma independiente.
- Evaluar la viabilidad del sistema según su producción energética.

Para resolver el primero de ellos se buscan los tipos de aerogeneradores de eje vertical existentes, dejando como sistema óptimo para el proyecto el aerogenerador Darrieus tipo H de 3 palas, el cual en las palas se le incorporaran los paneles solares, logrando el diseño del sistema híbrido. Teniendo un pre diseño en mente, se desarrollan los cálculos de producción del sistema en 2 áreas, una eólica y otra fotovoltaica, logrando con esto el segundo objetivo. Finalmente se hace un análisis económico de los costos de producción de un aerogenerador híbrido, los cuales se contraponen a las ganancias logradas por la producción lograda.

Como principales resultados el aerogenerador tiene un radio de giro de 1.5[m], manteniendo los 1.8[m] de las palas, logrando de esta forma cumplir con las condiciones de diseño, y logrando una generación anual de 182.765 [Wh/año], con ayuda de datos de la velocidad viento de un centro meteorológico. Para los paneles se utilizan paneles de celdas amorfas, permitiendo que estos se acoplen al diseño de las palas, estos afirman una producción de 80[W] en condiciones óptimas, del centro meteorológico se extraen los datos de radiación, con los cuales al desarrollar el cálculo entregan que el área solar podría alcanzar una producción anual de 263.015 [Wh/año], dejando un resultado anual de 445.780 [Wh/año]. Es este dato el cual se analiza con respecto al ahorro económico que lograría el proyecto. Considerando un costo de 0.145 euros por kWh, el sistema logra una producción de 64,63 euros anual, esto implica que a partir del año 14 el sistema logra ganancias. Además, se espera que el mismo tenga una vida útil de 20 años lo cual indica que tendremos 6 años de profit económico.

Una mejora para la producción del aerogenerador sería aumentar el largo de sus palas, esto permitiría incrementar la producción y daría lugar a colocar paneles más grandes en las palas permitiendo una mayor captación de radiación, logrando una mayor producción energética en todas las aéreas del sistema.

Otro factor a considerar es que se evalúan la puesta en marcha de un único sistema, en el caso de poner más se deben evaluar los vientos turbulentos producidos, los cuales por efecto de diseño incrementan la producción de los aerogeneradores de eje vertical.

Por su parte los resultados demuestran que el área solar permite una mayor producción que el área eólica, por ello se invita a hacer un cálculo de producción en el caso de solo colocar paneles en el tejado del Pabellón.

## Abstract

Energy is fundamental for the growth of society, it makes life safer and simpler nowadays, along with this, it is sought that it is economical, fast generation and that the way of capturing it is not harmful to the environment. There are several ways to generate energy, the ones that will be seen throughout this report are wind and solar in the same system. The ability to join in the same project 2 or more clean energies is called hybrid energy, this is the green technology that is sought to manufacture, an example of this is the union of wind and solar photovoltaic collection.

The main objective of this thesis is to design a hybrid system, which contains wind and solar energy, calculating the energy production. The system is intended to be installed on the roof of the Olympic Pavilion of Badalona. Located in the city of Badalona, 10 kilometers from the center of Barcelona.

For the design to be accepted it must meet some design conditions.

- The system must generate a minimum of 50 [Wh] of energy with a wind of 4.5 [m/s].
- The blades must have a height of 1.8 [m], and photovoltaic panels must be placed on their inner and outer faces.

In order to fulfill the request and give an analysis of the system, 3 independent objectives are developed.

- To design the prototype of a vertical wind turbine with integrated photovoltaic panels.
- To calculate the production of the wind and solar areas independently.
- To evaluate the viability of the system according to its energy production.

To solve the first of them, the existing types of vertical axis wind turbines are searched, leaving as optimal system for the project the Darrieus wind turbine type H of 3 blades, which in the blades will incorporate the solar panels, achieving the design of the hybrid system. Having a pre-design in mind, the production calculations of the system are developed in 2 areas, one wind and the other photovoltaic, thus achieving the second objective. Finally, an economic analysis of the production costs of a hybrid wind turbine is made, which are set against the profits achieved by the production achieved.

As main results, the wind turbine has a turning radius of 1.5 [m], maintaining the 1.8 [m] of the blades, thus achieving compliance with the design conditions, and achieving an annual generation of 182,765 [Wh/year], with the help of wind speed data from a meteorological center. For the panels, amorphous cell panels are used, allowing these to be coupled to the design of the blades, these claim a production of 80 [W] in optimal conditions, from the meteorological center radiation data are extracted, with which to develop the calculation deliver that the solar area could reach an annual production of 263,015 [Wh/year], leaving an annual result of 445,780 [Wh/year]. It is this data that is analyzed with respect to the economic savings that the project would achieve. Considering a cost of 0.145 euros per kWh, the system achieves an annual production of 64.63 euros, which implies that from year 14 onwards the system achieves profits. Furthermore, it is expected to have a useful life of 20 years, which indicates that we will have 6 years of economic profit.

An improvement for the production of the wind turbine would be to increase the length of its blades, this would increase the production and would lead to place larger panels on the blades allowing a greater capture of radiation, achieving a higher energy production in all areas of the system.

Another factor to consider is that the commissioning of a single system is evaluated, in the case of putting more, the turbulent winds produced must be evaluated, which by design effect increase the production of vertical axis wind turbines.

On the other hand, the results show that the solar area allows a higher production than the wind area, so we invite to make a production calculation in the case of only placing panels on the roof of the Pavilion.

## Tabla de Contenidos

### Contenido

Tabla de Contenidos .....	d
Lista de Tablas .....	f
Lista de Figuras .....	h
Glosario .....	j
Nomenclatura .....	k
<b>1 CAPÍTULO 1: Introducción.....</b>	<b>2</b>
1.1 Contexto.....	2
1.2 Objetivo general .....	4
1.3 Objetivos específicos.....	4
1.4 Metodología de trabajo.....	4
1.5 Condiciones de diseño.....	4
1.6 Hipótesis.....	4
<b>2 CAPÍTULO 2: Marco Teórico .....</b>	<b>5</b>
2.1 Lugar a trabajar.....	5
2.2 Energía.....	5
2.2 Energía Eólica. ....	9
2.3 Energía Solar. ....	13
2.4 Energía híbrida. ....	19
2.5 ODS a trabajar y emisiones de CO2.....	20
<b>3 CAPÍTULO 3: Estado del Arte .....</b>	<b>24</b>
3.1 Aerogeneradores.....	24
3.2 Paneles Fotovoltaicos. ....	27
<b>4 CAPÍTULO 4: Fórmulas y Diseño preliminar.....</b>	<b>30</b>
4.1 Fórmulas.....	30
4.2 Importancia de las sombras. ....	38
4.3 Diseño preliminar. ....	39
<b>CAPÍTULO 5: Resultados. ....</b>	<b>45</b>
5.1 Resultados del área eólica.....	45
5.2 Resultados del área solar.....	49



5.3 Resultados híbridos..... 57

CAPÍTULO 6: Análisis de viabilidad..... 59

6.1 Costos: ..... 59

6.2 Venta:..... 60

6.3 Sigüientes investigaciones:..... 60

CAPÍTULO 7: Conclusión..... 61

## Lista de Tablas

Tabla 2.1: Tipos de energías renovables. (Fuente: [14]).....	5
Tabla 2.2: Emisiones directas de las empresas estudiadas. (Fuente: [36]) .....	21
Tabla 2.3: Emisiones por compra de energía. (Fuente: [36]).....	22
Tabla 4.1: Muestra de generación según viento, TSR y $C_p$ , sin modificar.....	35
Tabla 4.2: Especificaciones panel KXSF N36-80.....	43
Tabla 5.1: Procedimiento de cálculo, producción del aerogenerador. ....	46
Tabla 5.2: Estación y fechas de las mismas. ....	46
Tabla 5.3: Producción por temporada. ....	47
Tabla 5.4: Producción por jornada. ....	48
Tabla 5.5: Producción total. ....	48
Tabla 5.6: Producción de una pala a diversos Azimut. ....	50
Tabla 5.7: Sombra que proyecta el eje. ....	51
Tabla 5.8: Sombra que proyecta una pala. ....	52
Tabla 5.9: Rangos de Ángulo y horarios de sol por la mañana. ....	55
Tabla 5.10: Rangos de Ángulo y horarios de sol por la tarde. ....	55
Tabla 5.11: Producción del mejor día del año, para los casos (A, B y C). ....	58
Tabla 5.12: Producción del peor día del año, para los casos (A, B y C). ....	58
Tabla A.1: Producción energética en España. ....	i
Tabla A.2: Producción de energía en Barcelona. ....	ii
Tabla A.3: Producción de energía verde en Barcelona. ....	ii
Tabla B.1: Coordenadas figura 2D NACA 0018. ....	iii
Tabla C.1: Cálculos obtención $C_p$ .....	vii
Tabla C.2: Viento en km/h. ....	vii
Tabla C.3: Viento en m/s.....	viii
Tabla C.4: Cálculo $C_p$ modificado.....	viii
Tabla C.5: Cálculo de la producción eólica $P_u$ . ....	ix
Tabla C.6: Datos que se consideraron constantes. ....	ix
Tabla C.7: Radiación en la superficie. ....	x
Tabla C.8: Declinación solar. ....	x

Tabla C.9: Ángulo zenit. ....	xi
Tabla C.10: Ángulo de incidencia. ....	xi
Tabla C.11: Relación $R_b$ . ....	xii
Tabla C.12: Relación solar extraterrestre. ....	xii
Tabla C.13: Índice de claridad $K_t$ . ....	xiii
Tabla C.14: Radiación difusa. ....	xiii
Tabla C.15: Radiación directa. ....	xiv
Tabla C.16: Radiación solar en la superficie inclinada. ....	xiv
Tabla C.17: Producción. ....	xv

## Lista de Figuras

Figura 1.1: Ejemplo de captación SFS. (Extraído de [63]).....	2
Figura 1.2: Tipo de aerogeneradores. (Extraído de [19]).....	3
Figura 1.3: ODS a tratar. (Extraído de [7]).....	3
Figura 2.1: Gráfico de torta de la producción energética española. (Extraído de [14]).....	7
Figura 2.2: Gráfico de torta de la producción energética catalana.....	8
Figura 2.3: Gráfico de torta de la producción energética renovable catalana.....	8
Figura 2.4: Diferencia gráfica de Upwind y Downwind. (Extraído de [52]).....	9
Figura 2.5: Tipos de aerogenerador Darrieus. (Extraído de [21]).....	10
Figura 2.6: Datos duros sobre generación eólica en España. (Extraído de [23]).....	11
Figura 2.7: Datos duros sobre energía eólica en España. (Extraído de [23]).....	12
Figura 2.8: Tipos de paneles. (Extraído de [27]).....	14
Figura 2.9: Paso a paso producción de ESF. (Extraído de [30]).....	15
Figura 2.10: Evolución anual potencia instalada ESF. (Extraído de [32]).....	16
Figura 2.11: Datos del año 2022 de ESF. (Extraído de [32]).....	16
Figura 2.12: Porcentaje de aporte de cada comunidad autónoma. (Extraído de [32]).....	17
Figura 2.13: Potencia instalada en Cataluña (MW). (Extraído de [32]).....	18
Figura 2.14: Sistema híbrido eólico solar, del grupo ACCIONA. (Extraído de [35]).....	19
Figura 2.15: Nombre de los 17 Objetivos de desarrollo sostenible. (Extraído de [7]).....	20
Figura 3.1: Molinos de viento persas. (Extraído de [37]).....	24
Figura 3.2: Ejemplo de un aerogenerador tipo savonius. (Extraído de [53]).....	25
Figura 3.3: Aerogenerador Darrieus. (Extraído de [52]).....	25
Figura 3.4: Aerogenerador tipo H. (Extraído de [37]).....	26
Figura 3.5: Efecto Fotovoltaico. (Extraído de [54]).....	27
Figura 3.6: Ejemplo de las tejas flexibles de la actualidad. (Extraído de [55]).....	28
Figura 3.7: Paneles solares de bricolaje modernos. (Extraído de [55]).....	28
Figura 3.8: Bio panel con algas. (Extraído de [56]).....	29
Figura 4.1 : Demostración del límite de Betz. (Extraído de [57]).....	32
Figura 4.2: $C_p$ v/s TSR. (Extraído de [57]).....	33
Figura 4.3: curva $C_p$ vs TSR para el aerogenerador.....	34
Figura 4.4: Curva $C_p$ v/s TSR, modificada.....	34

Figura 4.5: Proporción de producción de los paneles en $m^2$ . (Extraído de [46]).....	36
Figura 4.6: Primer boceto en AutoCad.....	39
Figura 4.7: Primer Aerogenerador en inventor. ....	40
Figura 4.8: Diseño preliminar del Aerogenerador. ....	40
Figura 4.9: Partes fundamentales del aerogenerador. ....	41
Figura 4.10: Boceto eje. ....	41
Figura 4.11: Boceto pala. ....	41
Figura 4.12: Boceto sujetador. ....	42
Figura 4.13: Aerogenerador ensamblado, diseñado en Solidworks. ....	42
Figura 4.14: Panel solar a utilizar en el sistema. (Extraído de [47]).....	44
Figura 4.15: Muestra de la capacidad de flexibilidad del panel. (Extraído de [48]).....	44
Figura 5.1: Gráfico de producción por temporada. ....	47
Figura 5.2: Ejemplo de la obtención del ángulo Azimut. (Extraído de [58]).....	49
Figura 5.3: Ecuación para la obtención de la sombra. (Extraído de [58]).....	51
Figura 5.4: Sombra proyectada con el sol a $0^\circ$ .....	53
Figura 5.5: Sombra proyectada con el sol a $60^\circ$ .....	53
Figura 5.6: Sombra proyectada con el sol a $45^\circ$ .....	54
Figura 6.1: Turbina generador eólico de stærkee. (Extraído de [49]). <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 6.2: FH-1KW de Smardaad. Extraído de [50])..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 6.3: JX-H1000W de Galaxy. (Extraído de [51])..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura A.1 Gráficos producción energética Barcelona. (Extraído de [59]) .....	ii
Figura B.1: Coeficiente de sustentación v/s Coeficiente de resistencia. (Extraído de [60]).....	iv
Figura B.2: Coeficiente de sustentación v/s ángulo alfa. (Extraído de [60]) .....	v
Figura B.3: Razón Coef. de sustentación/Coef. de resistencia v/s ángulo alfa. (Extraído de [60]) .....	v
Figura B.4: Coeficiente de resistencia v/s ángulo alfa. (Extraído de [60]) .....	vi
Figura B.5: Coeficiente de momento v/s ángulo alfa. (Extraído de [60]).....	vi

## Glosario.

Símbolo	: Descripción
$A_p$	: Área del panel
CA	: Corriente Alterna
CC	: Corriente Continua
$C_d$	: Coeficiente de resistencia
CIGS	: Cobre, Indio, Galio y selenio
Cl	: Coeficiente de sustentación
$C_m$	: Coeficiente de momento
EEo	: Energía Eólica
ESF	: Energía Solar Fotovoltaica
HAWT	: Horizontal Axis Wind Turbine
Hr	: Hora del día correlativa
IDH	: Índice de Desarrollo Humano
N	: Número de palas
ODS	: Objetivos de Desarrollo Sustentable
Rb	: Relación entre ángulos
TSR	: Tip speed ratio
VAWT	: Vertical Axis Wind Turbine

## Simbología.

Símbolo	: Description	: Unidad de medida
$\Theta_z$	: Ángulo zenit	: [ ° ]
$\gamma_{ph}$	: Azimut	: [ ° ]
$\delta_{sol}$	: Declinación solar	: [ Grad ]
$\eta_e$	: Eficiencia Eléctrica	: [ % ]
$\eta_m$	: Eficiencia Mecánica	: [ % ]
$\rho_{inf}$	: Índice de reflexión del suelo	: [ - ]
$\Phi$	: Latitud	: [ Grad ]
$\eta$	: Eficacia del panel	: [ % ]
$\alpha$	: Ángulo de inclinación de la pala	: [ ° ]
$\dot{m}$	: Flujo másico	: [ kg/h ]
$\theta$	: Ángulo de incidencia	: [ ° ]
$r$	: Radio del aerogenerador	: [ m ]
$v$	: Velocidad	: [ m/s ]
$\rho$	: Densidad	: [ kg/m <sup>3</sup> ]
$\beta$	: Inclinación del panel	: [ ° ]
$\lambda$	: Tip Speed Ratio	: [ - ]
$\gamma_s$	: Ángulo de proyección solar.	: [ ° ]

## Nomenclatura.

<b>Símbolo</b>	<b>Description</b>	<b>Unidad de medida</b>
$A$	: Área	: [ m <sup>2</sup> ]
$Alt$	: Altura	: [ m ]
$C_p$	: Coeficiente de potencia (o de rendimiento)	: [%]
$E_c$	: Energía cinética	: [ J ]
$G$	: Radiación solar en la superficie	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$G_b$	: Radiación directa	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$G_d$	: Radiación difusa	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$G_o$	: Radiación solar extraterrestre	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$G_{sc}$	: Factor de Radiación	: [ - ]
$G_T$	: Radiación solar sobre la superficie inclinada	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$K_t$	: Índice de claridad	: [ - ]
$L$	: Largo de la pala	: [ m ]
$n_{día}$	: Número de día correlativo	: [ - ]
$P$	: Presión Absoluta	: [ Pa ]
$P_d$	: Energía potencial del viento	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$P_t$	: Potencia teórica	: [ W ]
$P_{Total}$	: Producción total	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$P_u$	: Potencia Útil	: [ W ]
$P_p$	: Producción del panel	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$P_{p1}$	: Producción del panel de la pala 1	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$P_{p2}$	: Producción del panel de la pala 2	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$P_{p3}$	: Producción del panel de la pala 3	: [ W/m <sup>2</sup> ]
$R$	: Constante de gas específica	: [ J/K ]
$T$	: Temperatura ambiente en Kevin	: [ K ]
$w_s$	: Ángulo horario	: [ ° ]

# CAPÍTULO 1: Introducción

## 1.1 Contexto

Las energías son fundamentales para el desarrollo de la humanidad. Con ella funcionan los hospitales, se satisfacen las necesidades básicas, permite el transporte y permite el desarrollo continuo de la sociedad. Estudios indican que a mayor consumo eléctrico se obtiene un mayor Índice de Desarrollo Humano (IDH) [1]. El consumo energético en España el año 2022 fue de 250.516GWh, lo cual fue un 2.3% menos que el año anterior [2], el IDH de España corresponde a 0.905 lo cual lo ubica en el puesto 27 del mundo. Por su parte en Cataluña el consumo energético en el año 2022 fue de 44.976 GW h, lo cual es un 0,6% más con respecto al año 2021 [3] y su IDH es del 0.916.

En los tiempos modernos se busca que la energía sea generada mediante métodos que no utilicen componentes fósiles (carbón y/o gas natural), a este tipo de generación se le denomina energías verdes o energías renovables, los principales métodos de este tipo son: Solar Fotovoltaica, Solar Térmica, Eólica, Biomasa, Geotérmica, entre otras [4], Estas son captadas de fuentes naturales e inagotables (considerando que la vida del sol sea infinita), tienen una vital importancia pues su generación de gases de efecto invernadero es baja o nula directamente, además estas tuvieron un impulso gracias a la firma del acuerdo de París en el año 2015, el cual entró en vigor en el año 2020 [5]. Junto con lo anterior se estima que el precio sea más accesible pues el recurso fósil al ser finito su costo irá en aumento con el paso de los años.

A lo largo del presente informe se trabajará con 2 de las energías nombradas anteriormente, las cuales son:

- Energía Solar Fotovoltaica (ESF): Es aquella que se obtiene mediante el sol con el uso de paneles solares [6].



Figura1.1 : Ejemplo de captación SFS. (Extraído de [63])

- Energía Eólica (EEo): Este tipo de energía es la captada mediante generadores eólicos, estos tienen muchas clasificaciones, por cantidad de palas, tipo de palas, por la posición de la



góndola, sin embargo, la más relevante es la de tipo de eje, donde encontramos los de eje horizontal (HAWT) y los de eje vertical (VAWT).



Figura 1.2: Tipo de aerogeneradores. (Extraído de [19])

La forma de utilizar estas 2 captaciones será mediante un formato híbrido con un molino de eje vertical, donde los paneles solares serán colocados en las palas del VAWT.

El aspecto más importante junto a los cálculos y diseño del equipo, son las ODS que se logran cumplir con el proyecto.

Por su parte las 2 energías por separado logran cumplir los ODS 7 (Energía limpia y no contaminante), la 13 (Acción por el clima) y en conjunto de la forma planteada anteriormente el número 9 (Industria, innovación e infraestructuras). Todo esto será explicado de mejor manera y cabalidad a lo largo del informe [6].



Figura 1.3: ODS a tratar. (Extraído de [7])

## 1.2 Objetivo general.

Diseñar el prototipo de un sistema energético híbrido (eólico solar), calculando su producción energética.

## 1.3 Objetivos específicos.

- Diseñar el prototipo de un aerogenerador vertical el cual tenga integrado paneles solares.
- Calcular la producción de las áreas eólica y solar, de forma independiente.
- Evaluar la viabilidad del sistema según su producción energética.

## 1.4 Metodología de trabajo.

La metodología a utilizar está sujeta a los tiempos expuestos en la carta Gantt, la cual está anexada al presente documento.

### Actividad I: Investigación.

Recopilación de información en estudios y publicaciones (páginas, libros, noticias, etc.), análisis de lo recabado, en función de utilidad para el proyecto.

### Actividad II: Diseño preliminar.

Con la ayuda de programas de computadora SolidWorks diseñar el sistema híbrido el cual sea capaz de generar energía eólica y solar por separado.

### Actividad III: Cálculo.

En base a lo descubierto y los datos base se calculará la producción de energía en kW/h del sistema, en condiciones óptimas y en momentos específicos (en ausencia de viento), en conjunto se desarrollarán los cálculos de las sombras que emiten las palas entre ellas.

### Actividad IV: Evaluación y finalización.

Se generará un análisis de factibilidad, en el cual se expondrá si es propicio continuar ahondando el proyecto y de ser factible, se mencionará como continuar con la investigación, a modo de trabajo futuros.

## 1.5 Condiciones de diseño

Se requiere de un sistema, capaz de generar un mínimo de 50 [W] de energía con un viento de 4.5 [m/s], con palas de 1.8 [m] de altura, las cuales, en sus caras interna y externa, se deben colocar paneles fotovoltaicos, de esta forma generando un sistema de captación híbrida.

## 1.6 Hipótesis.

La fabricación e instalación de un sistema híbrido en el Pabellón Olímpico de Badalona, logrará dar energía suficiente, para el entrenamiento de una categoría del club.

## **CAPÍTULO 2: Marco Teórico**

### **2.1 Lugar a trabajar.**

El proyecto busca implementar un sistema híbrido para el Pabellón Olímpico de Badalona, ubicado a 10 km de Barcelona, en la comunidad de Cataluña España.

El Pabellón (estadio de baloncesto) presenta una dimensión de 150[m] x 100[m] y presenta una capacidad de 12.500 cupos para espectadores.

Diseñado por Esteve Bonell, Josep Maria Gil y Francesc Rius, se presenta como una hazaña arquitectónica, la cual busca deslumbrar a los ciudadanos mediante el tamaño y su forma, logrando un edificio sencillo y a su vez preciso [7].

### **2.2 Energía.**

La energía es aquello que la sociedad requiere para sobrevivir, todo proceso físico que se presente en la vida requiere de energía, ya sea por transferencia o transformación de la misma, lo que se sabe actualmente de la energía se rige por las leyes de la termodinámica, la primera de ellas expone “en un sistema aislado, no puede crearse ni destruirse, solo transformarse” [8]. Es por esto mismo que mediante diversos procesos es como la humanidad crea máquinas para la generación de energía eléctrica, para el uso cotidiano.

En los tiempos actuales se habla de generación de energía a la transformación de la misma esta puede ser de 3 formas.

- La generación no renovable, la cual se obtiene mediante algún recurso natural finito, el cual tarde o temprano se agotará. En el mundo, los más comunes son los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) y la energía nuclear, estos recursos son los que se utilizan como catalizadores para la generación de recursos [9]. Se puede afirmar que estos son utilizados desde el inicio de los tiempos, ya que en el origen se utilizaba madera para las hogueras.
- Las parcialmente renovables, éstas son aquellos que su tiempo de regeneración es rápido y en caso de no abusar de ellos, se pueden considerar indefinidos, un claro ejemplo de esto son los seres vivos, tanto planta como animales, un ejemplo más específico son los peces, si se pescara todos sin descuido terminarían por agotarse, sin embargo, si su captura es regulada estos alcanzan a reproducirse antes de ser aniquilados. [10], otros ejemplos son la tierra de cultivo, si se plantaran solo especies que contaminan la tierra, esta quedaría inservible para otras especies.

- La generación renovable o alternativa, esta es una derivada de las fuentes naturales, las cuales se regeneran con el tiempo y/o no se agotan, dentro de esta se puede encontrar la energía que entrega el sol, los vientos, las corrientes marinas, entre otras. [11]. Estas son aquellas que se deben de utilizar en mayor medida si se quiere continuar con la vida en el planeta, pues junto con ser extraídas de fuentes naturales, práctica o directamente no emiten gases contaminantes al ambiente al ser utilizadas, lo cual a la hora de generar la tan ansiada energía se le denomina un ganar ganar.

La pregunta que surge tras lo anteriormente descrito es:

¿Cuáles son las energías renovables existentes en la actualidad y cuáles son las tecnologías para la absorción de las mismas?

Las energías renovables se abordarán a lo largo del texto en función a lo utilizado y existente en España, pues es el territorio que se pretende abordar, en suma, se mostraran datos de Cataluña, ciudad donde se espera instalar el sistema híbrido. Es por ello que a continuación se presenta la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Tipos de energías renovables (Fuente: [14])

Energía	Recurso	Tecnología
Solar	Sol	Fotovoltaica
Eólica	Corrientes de Viento	Aerogeneradores
Biomasa	Materia orgánica	Gasificadores
Mareomotriz	Corrientes marinas	Molinos marinos
Geotérmica	Centro de la tierra	Generadores

Las energías expuestas en la tabla, son utilizadas en su mayoría para la producción presente en el continente europeo. A nivel Español la generación de energía para el año 2022 fue aproximadamente 276.320 [GW h] de ello el 59.2% fue producido por energías renovables, junto a lo anterior 42% se logró producir por fuentes limpias [14], lo cual indica que España está bien dirigida a cumplir los tratados de emisiones, siendo el fundamental a cumplir el acuerdo de París, el cual a grandes rasgos, pretende disminuir el calentamiento mundial a ser posible hasta 1.5 °C, respecto a los niveles previos a las mega industrias. [15]

Toda la producción se puede ver en la figura 2.1 y en los anexos se adjuntará una tabla con los porcentajes.

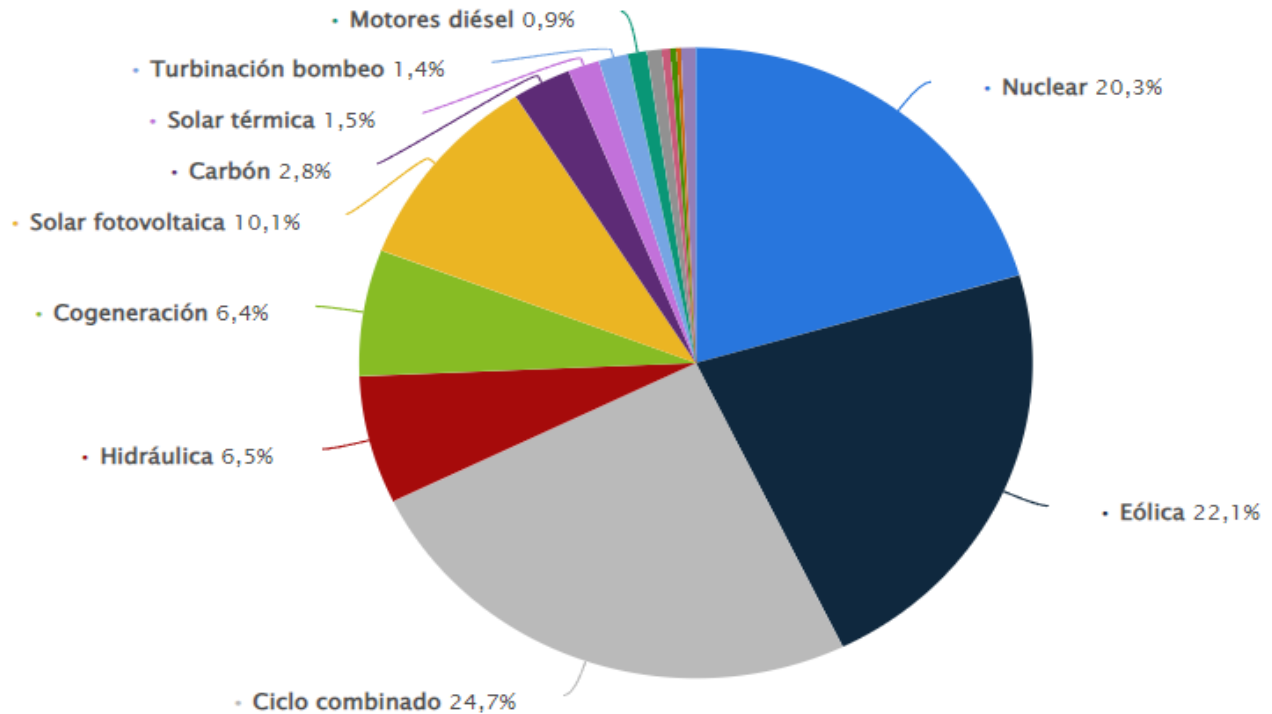


Figura2.1 : Gráfico de torta de la producción energética española. (Extraído de [14])

Como se puede apreciar en el gráfico anterior extraído de [14] la energía eólica ayuda al 22.1% de la generación española equivalente a 61066.76 [GWh/año] y por su parte la solar fotovoltaica es un 10.1% ó 27908.32 [GWh/año], logrando en combinado 88975.08 [GWh/año], aproximadamente  $\frac{1}{3}$  de toda la producción.

Mientras que la demanda española fue de 250421 [GWh/año] [16], lo que quiere decir que la nación es capaz de autoabastecerse energéticamente durante un año.

Cataluña tiene una producción propia de 44535.8 [GWh/año] en el periodo anual 2022 en donde el 15.6% son de carácter renovable del cual un 37.2% es del margen eólico y 12.8 solar fotovoltaico [17], esto se ve en la figura 2.2, se destaca que es la recreación de la encontrada en [17], esto se debe a que al intentar copiarlo no se leen bien los números, en suma, a que la información está en catalán, por ello, la figura original, más tablas con la información se podrá apreciar en los anexos.

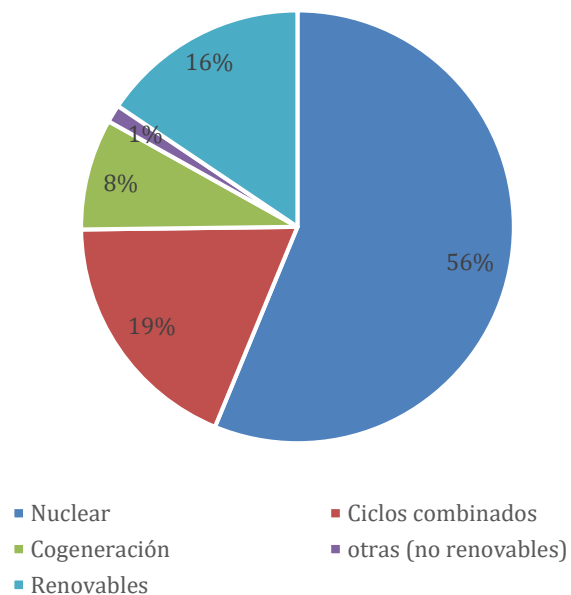


Figura 2.2: Gráfico de torta de la producción energética catalana.

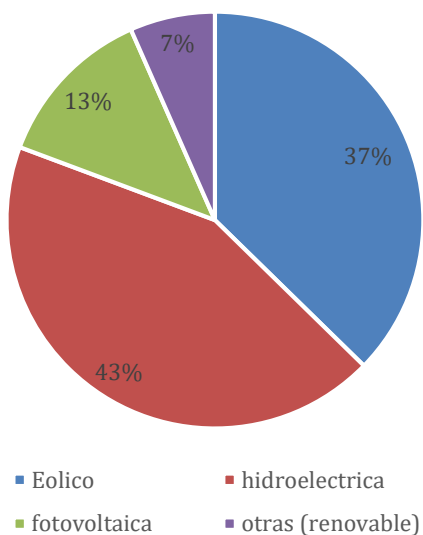


Figura 2.3: Gráfico de torta de la producción energética renovable catalana.

En los gráficos se destaca que la mayor producción de lo que conforma Cataluña, es la energía nuclear con un 56.2%, esto se debe a las 3 centrales nucleares presentes en la comunidad autónoma, las cuales son: Ascó I, Ascó II y Vandellós II.

Por su parte el consumo energético catalán fue de 44976 [GW/h] el 18% total de España, sin embargo, el territorio catalán fue capaz de autoabastecerse durante el año 2022 [18].

## 2.2 Energía Eólica.

Este tipo de energía es aquella que se extrae de las corrientes de viento, las cuales producen energía cinética. En un comienzo esta era utilizada mediante los molinos.

Este recurso es abundante, limpio y de aquel grupo que se denomina totalmente renovable, otro concepto a considerar de este tipo de captación energética, es que esta no emite CO<sub>2</sub> (exceptuando la creación de las partes de los aerogeneradores). La generación eólica presenta algunos inconvenientes, el principal de ellos es su intermitencia, al aprovechar las ventiscas y presentarse de forma discontinua. Dicha energía cumple la función de abastecer energéticamente viviendas aisladas y sistemas de telecomunicaciones [19]. Lo anterior, se puede apreciar en el continente asiático, donde se está optando por la fabricación de aerogeneradores a escalas industriales.

Un aerogenerador genera más energía que un sistema fotovoltaico, a su vez el costo de estos es una fracción que el conjunto de paneles, lo cual genera un mayor atractivo para la sociedad a la hora de invertir en un sistema eólico [20]. Sin embargo, esto depende del tamaño, no es posible decir que todo sistema eólico logre una producción mayor que un panel, ya que dependerá de su forma, tamaño y lugar donde se decida ubicar la estación energética.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, están los de eje horizontal (HAWT) dentro de los cuales, existen aquellos que tienen las palas por delante (Upwind), los cuales tienen las aspás directamente a la dirección del viento (con la góndola detrás) y los de palas atrás (Downwind) los cuales presentan la góndola por delante y luego las hélices. La diferencia entre estas se aprecia gráficamente en la siguiente figura:

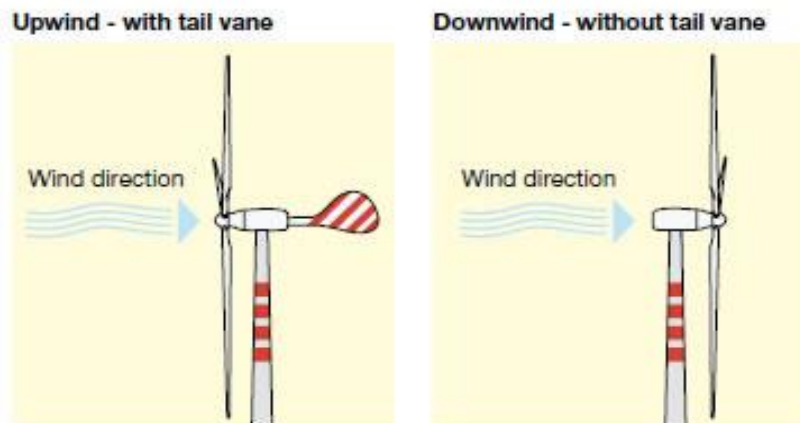


Figura 2.4: Diferencia gráfica de Upwind y Downwind. (Extraído de [52])

En contraparte a los HAWT existen los de eje vertical (VAWT) los cuales son utilizados en mayor cantidad en zonas urbanas, puesto que su tamaño es reducido y de simple instalación.

Este formato tiene 3 tipos que se encuentran en el mercado, el tipo Savonius, comúnmente presenta una forma de S, este se utiliza frente a corrientes de viento bajas (0 a 2 m/s) Windside el cual funciona de la misma forma que el anterior, sin embargo, sus hélices tienen un formato álabado. Finalmente se encuentran los de tipo Darrieus, que presenta 3 formatos, los cuales se ejemplifican en la siguiente figura:

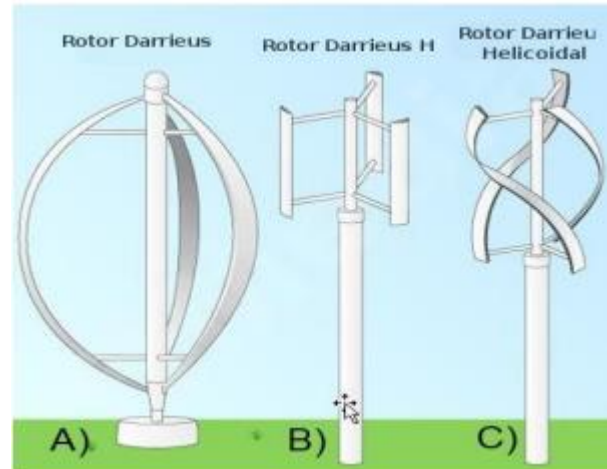


Figura 2.5: Tipos de aerogenerador Darrieus. (Extraído de [21])

El representado con la letra A es el primer tipo el cual acostumbra a tener 2 ó 3 palas en forma de C gigante, los otros 2 tipos (B y C) presentan palas para captar las corrientes del viento, la diferencia entre ellas, es que la segunda (C) presenta unas aspas álabeadas, esto se hace para aprovechar de mejor manera los vientos [21]. Dependiendo del lugar a instalar y los vientos de este, se debe seleccionar algún tipo, considerando las turbulencias de los vientos.

Los aerogeneradores del tipo Darrieus generan energía entre 2 a 8 [m/s] aproximadamente, sin embargo, el pico de energía se logra entre 4 y 6 [m/s] como muestran las figuras 4.2 y 4.4 las cuales se exponen más adelante en el presente informe.

Existe otra subdivisión, la que indica el lugar donde se instalan los aerogeneradores; por un lado, estarán aquellos que se edifican en tierra firme los cuales se denomina onshore y su contraparte los cuales se ubican en el mar, denominada offshore o torres flotantes. Debido a que esta última está alejada de la sociedad, pueden ser construcciones de mayor tamaño, es por ello que las construcciones offshore comúnmente logran una mayor generación energética [22]. Otro factor por el cual se está optando por el tipo offshore, es su posición estratégica, ya que, al ubicarse en mar abierto. Las corrientes de viento no sufren contaminación (turbulencias) producto de montañas, árboles o edificios. Independiente de la elección, éstos emiten ruido, lo cual molesta a la fauna.



La generación eólica es fundamental a nivel español, según los datos de la AEE (Asociación empresarial eólica) para el año 2022 la industria logró generar 61.069 [GWh] un 1% superior al año anterior, con una potencia instalada de 29.813 [MW], lo anterior a niveles de CO2 evitado equivale a 31,7 [M ton]. A nivel de empleos el área eólica genera más de 32.000 empleos, todo esto se puede apreciar de mejor manera en las figuras 2.6 y 2.7. Obtienen de la página de AEE [23].



Figura 2.6: Datos duros sobre generación eólica en España. (Extraído de [23])

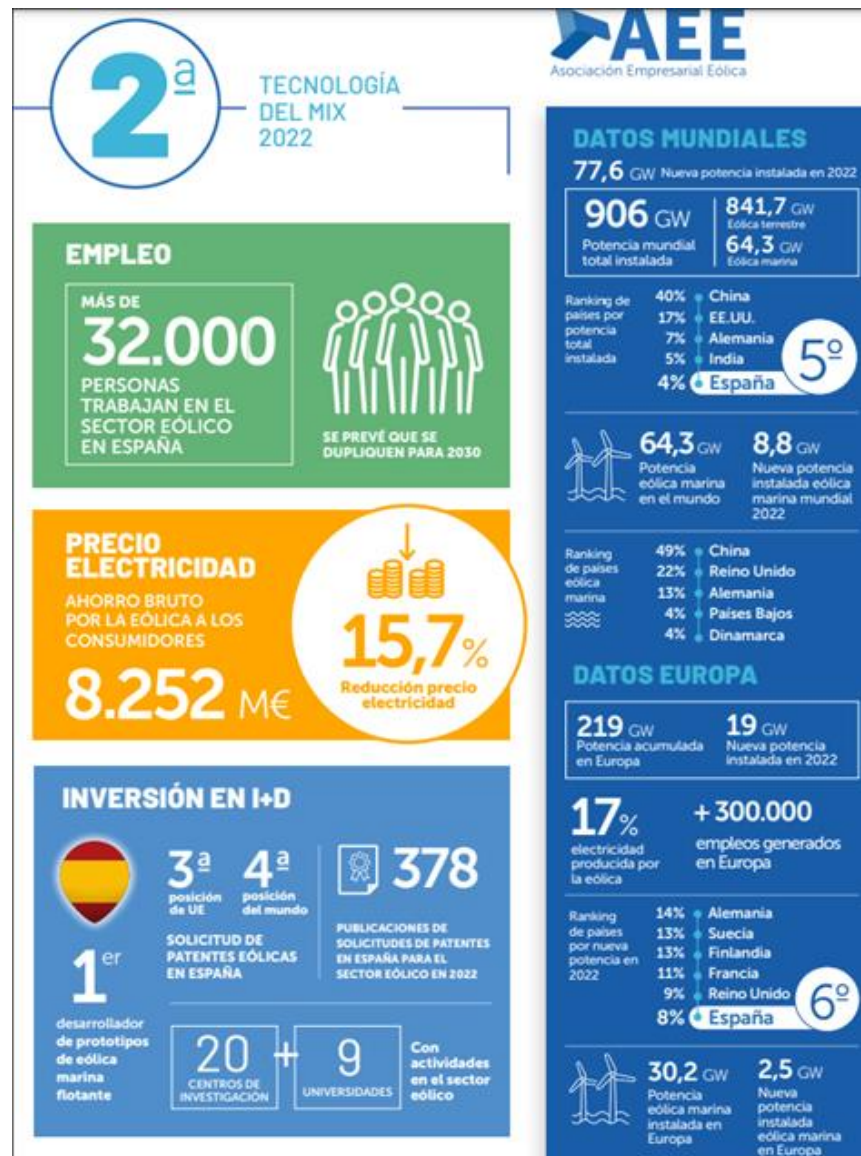


Figura 2.7: Datos duros sobre energía eólica en España. (Extraído de [23])

Como se puede apreciar en las 2 figuras, España logra reducir más de un 15% el costo de la energía del hogar gracias a este tipo de captación, cabe destacar que es la potencia mundial número 1 en inversiones para el desarrollo de aerogeneradores del tipo offshore (puestos en mar abierto).

Por su parte, en Cataluña, es tan solo el 5.8% de la totalidad de la región, esto pues para el año 2009 por falta de compromiso a nivel político en el área, todo se vio mermado y/o trasladado fuera del territorio catalán. Esto se verá modificado para bien, pues en el año 2019 con el decreto 16/2019 de las energías renovables deberá cambiar, ya que se espera que para el año 2030 el 50% del consumo energético sea renovable.

### 2.3 Energía Solar.

Para lograr entender la energía solar, se requiere comprender qué es el efecto fotoeléctrico, descubierto por Heinrich Rudolf Hertz, el fenómeno está presente cuando un metal recibe la radiación electromagnética (proveniente del sol). Los electrones presentes pueden saltar desde el mismo [24]. Al tener la posibilidad de que los electrones salten y, con ello se libere energía, se pueden desarrollar sistemas capaces de captar dicha energía.

A la producción lograda gracias al porcentaje captable de radiación emitida por el sol, se le denomina energía solar y esta puede ser de 2 tipos.

- Energía solar térmica, donde se hace una transformación energética para lograr calentar algún fluido, esto se hace gracias a la irradiación que genera el sol, la cual es captada por un sistema por el cual circula el fluido a calentar.
- Energía solar fotovoltaica (ESF), es aquella que mediante el uso de paneles fotovoltaicos genera electricidad, para esta se utiliza paneles solares o un conjunto de estos [25].

Para casos de profundización conceptual, nos abocaremos a la segunda de estas, la ESF, como se indica anteriormente utiliza paneles los cuales se encuentran subdivididos en múltiples celdas, estas se encargan de captar la radiación emitida por el sol, luego mediante cables y la ayuda de un convertidor se transforma a corriente eléctrica. El uso del convertidor es debido a que la captación de energía se genera en corriente continua y es necesario pasarla a alterna para el uso doméstico [26]. Sin embargo, el tema es mucho más profundo, para lograr entender cómo funcionan los sistemas de ESF, se puede iniciar de la base que existen diversos tipos de paneles.

En la actualidad existen 3 tipos de orden en las celdas, mono cristalina, donde la superficie es uniforme y actúa como un espejo ante la luz (es por ello que es simple de reconocer), el cual tiene una eficiencia estimada entre 18%-22%, poli cristalino, donde al mirarlo a la luz esta se observa imperfecciones en el cristal con eficiencia promedio entre 14%-17%, finalmente se presenta el amorfo, el cual como su nombre lo indica presenta una estructura libre de orden, este es el menos eficiente entre el 8%-12%, sin embargo, es el más flexible y liviano [27]. Estos números son aceptables, pero se debe considerar que con el tiempo se irán perfeccionando los sistemas, lo que modificará estos datos. Además, para los porcentajes se hablan de paneles de silicio.

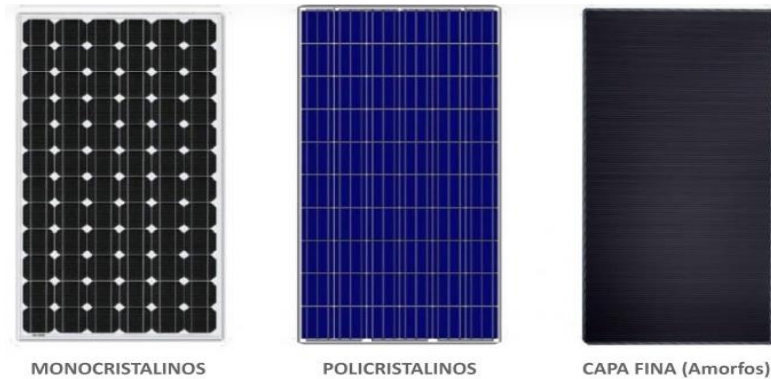


Figura 2.8: Tipos de paneles. (Extraído de [27])

Las eficiencias de los paneles fotovoltaicos dependen de diversos factores, su orientación de celdas como, al igual que los materiales que se utilizan para fabricarlas.

Algunos de los formatos de materiales son:

- Silicio: Este es el más común de todos, de este se obtienen los mencionados anteriormente.
- Cobre, Indio, Galio y selenio (CIGS): Una celda de estos, se espera que logre 33.1% de eficiencia [28].
- Teluro de Cadmio (CdTe): Este tipo de panel se utiliza para reemplazar el panel de silicio de capa fina, este en cuestión se aproxima a una eficiencia de 19% [29].
- Perovskitas: Es un panel que se está desarrollando, sin embargo, este solo se ha logrado tamaños pequeños, insuficientes para los que se necesitan en este proyecto.

Estos son algunos de los posibles paneles, los cuales tienen diferentes eficiencias, sin embargo, se debe considerar el costo de estos materiales y la vida útil de los mismos, no por un % mayor en la eficiencia, implica que sea la mejor opción.

Una vez instalado algún tipo de panel es necesario considerar el tipo de corriente que captan los paneles, la cual se logra en forma de corriente continua (CC) (o corriente directa), sin embargo, en los hogares y tendidos de las ciudades se utiliza corriente alterna (CA) como se expone en la figura 2.9 [30]. Si bien, es un boceto simple permite entender el sistema.

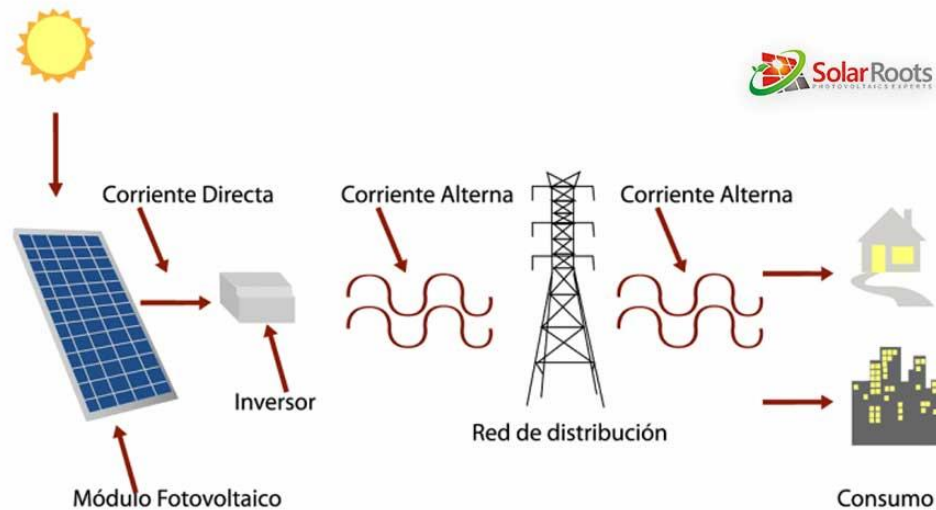


Figura 2.9: Paso a paso producción de ESF. (Extraído de [30])

Para la generación se requiere de un inversor. Dentro de este se encuentra un alternador. El cual es un mecanismo que transforma la energía mecánica en eléctrica mediante la inducción electromagnética, gracias al uso de imanes y bobinas. La corriente pasa a una bobina secundaria (ambas para este caso actúan similar a un imán), de esta forma se puede lograr la tensión requerida, cambiando el tamaño de esta segunda. En el caso de que en la primera bobina se deja pasar corriente continua (CC) de una batería, esto evita la corriente inducida en la segunda bobina, pues el campo magnético no cambia. Cambiando la dirección de la corriente rápida y continuamente se obtendrá como resultado un inversor. Para que todo esto ocurra de forma automática se utilizan transistores.

Con el proceso anterior es como se pasan de CC a CA para un voltaje y frecuencia requerida [62].

Como tal existen 2 tipos de inversores:

1. De instalación aislada, aquellos utilizados para el autoconsumo, los cuales terminan en una batería o cables cargadores.
2. De red, estos pasan la energía obtenida directamente a la red eléctrica.

Con la información anterior surge la duda ¿Cómo se presenta dicha energía en España y en Cataluña?

Para el caso de España se tiene una potencia instalada de 19.785 [MW] 29,4% superior al año anterior 2021 [32]. Lo cual demuestra cómo esta energía es una de las más utilizadas por la sociedad española. Lo cual es un gran avance para la humanidad al demostrarse que año a año existe un incremento en la confianza ante estos sistemas, ya sea para abaratar el costo de la luz de cada mes o con afán de almacenar energía para uso propio.

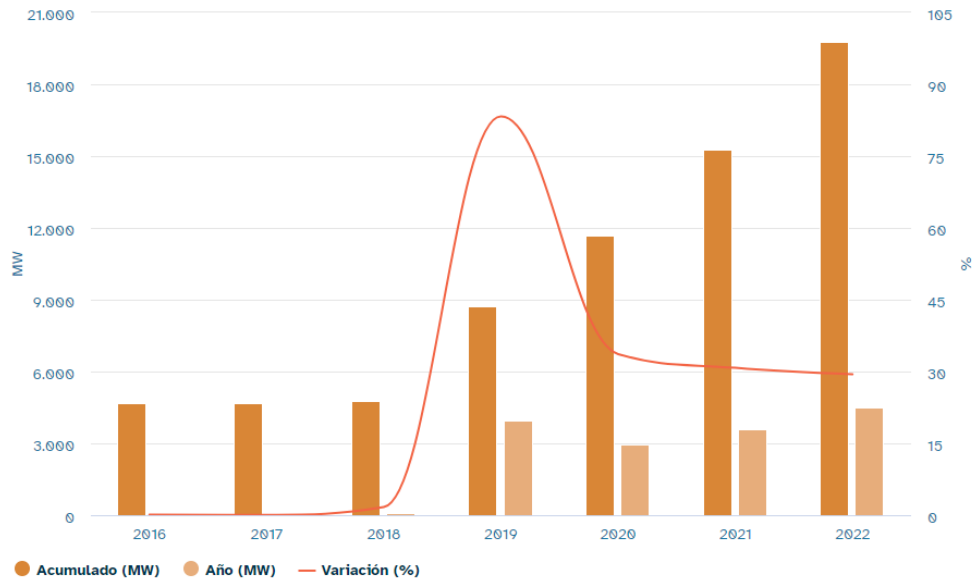


Figura 2.10: Evolución anual potencia instalada ESF. (Extraído de [32])

Por su parte los datos del 2022 se pueden apreciar a continuación.



Figura 2.11: Datos del año 2022 de ESF. (Extraído de [32])

Del total generado, la comunidad con mayor % de aporte es Extremadura con el 27% del total español, mientras que Barcelona tan solo genera el 1.5% [32], esto se debe a la fuerza que tiene la energía nuclear como se mencionó anteriormente. Cada comunidad por separado aportó los % que se exponen a continuación:

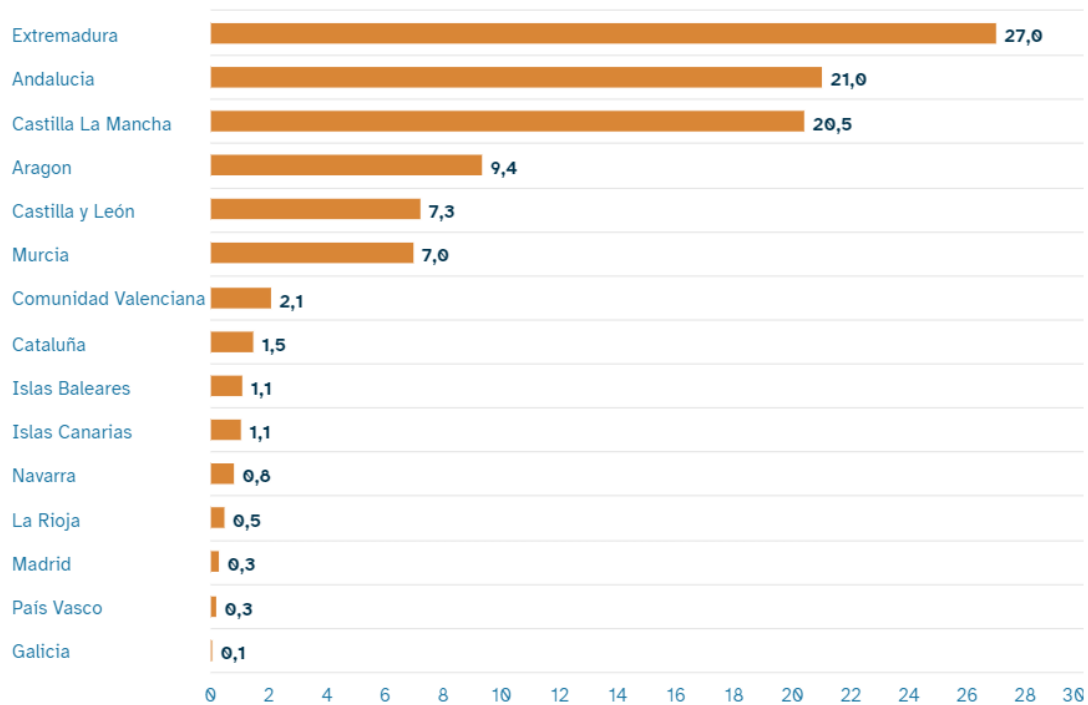


Figura 2.12: Porcentaje de aporte de cada comunidad autónoma. (Extraído de [32])

Por su parte la comunidad catalana para fines del año 2022 contaba con una potencia instalada de 295 [MW] visible en la figura 2.13, con ellos se logró el 1.5% mencionado.

Esto se debe a la misma razón que el sistema eólico no da el paso, pues los poderes políticos no aportaron de la forma correcta en el crecimiento de las energías verdes, sin embargo, y como se mencionó con el decreto 16/2019, se espera que estas opciones den un paso hacia adelante esperando para el 2050 que el 100% de la energía sea de origen renovable y libres de emisiones de CO<sub>2</sub> [33].

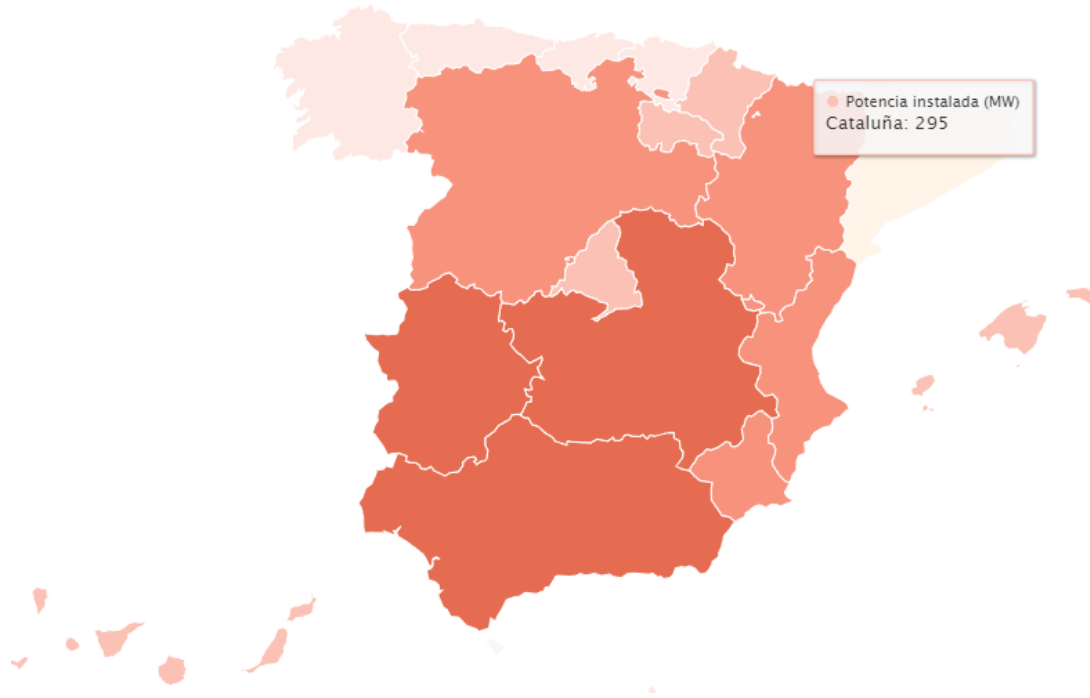


Figura 2.13: Potencia instalada en Cataluña (MW). (Extraído de [32])

Es vital mencionar que las figuras 2.10 - 2.13 se realizaron gracias a datos y mediciones realizadas por Esios red eléctrica. <https://www.esios.ree.es/es>.

Se debe tener en cuenta que, si bien la energía solar está en constante progreso y en aumento en el uso de la sociedad, se debe progresar en los métodos de reutilización o reciclaje de los paneles una vez estos cumplen su vida útil. Lo cual debe de ser alentado por el gobierno de la misma forma que alientan y muestran la información expuesta en [32] y [33].



## 2.4 Energía híbrida.

Se le denomina energía híbrida o por hibridación a aquella que genera a partir de la unión entre 2 o más formas, que comparten un mismo punto de conexión, en mayor medida estas están orientada a las de carácter renovable. La creación de estas plantas se puede generar de 2 formas, con una mejora incorporando una segunda forma de generar o bien, creando una planta con generación híbrida.

Las plantas híbridas más comunes son 4; en primer lugar y totalmente acorde a lo expuesto en la presente memoria están las plantas Eólico-Solares, junto con esta se encuentran las fotovoltaica-hidráulica, hidráulica-eólica y la termo solar - biomasa [34]. Independiente de cual se quiera tomar, estas se deben de alentar al constarse de ser formas de generación verde.

Para la fabricación de la primera de ellas, se pueden presentar 3 tipos generales:

1. Una planta solar con aerogeneradores (como conceptos independientes) donde la captación se logra por separado.
2. Un aerogenerador del formato HAWT con paneles en su torre, (como se muestra en la siguiente figura 2.14) esto es una idea que desarrolla actualmente el departamento de energía del grupo ACCIONA [35]



Figura 2.14: sistema híbrido eólico solar, del grupo ACCIONA. (Extraído de [35])

Este formato permitiría lograr que la puesta en marcha del aerogenerador, no consuma energía externa, sino que la misma energía solar sea la que permita el arranque. Lo cual permitiría que el 100% de lo generado a nivel eólico sea para abastecer casas o edificios.

3. Un aerogenerador del tipo VAWT con paneles en sus palas, como el que se menciona en el presente informe y del cual se mostrará su diseño en el capítulo 4.

El formato híbrido de captación - producción posee ciertas ventajas, entre algunas de ellas se encuentra [34]:

1. Un factor de capacidad mayor en el punto de acceso.
2. Posibilidad de captación cuando una de las formas se encuentre inactiva.
3. Optimización del espacio e infraestructura.
4. Agilidad en los lapsos de conexión.

Si bien estos son solo algunos de los pros, son sumamente importantes, pues el utilizar menos espacio, aportaría la posibilidad de colocar una mayor cantidad de aerogeneradores, y se podría lograr una producción cuasi continua, pues es poco probable no encontrarse con una de las 2 opciones de producción durante un día cotidiano.

## 2.5 ODS a trabajar y emisiones de CO2.

Es prácticamente imposible hablar de estos 2 temas por separado, pues los ODS, Objetivos de desarrollo sostenible, buscan la disminución de las emisiones de CO2 a nivel mundial.

Por su parte son 17 ODS, como se muestra a continuación:



Figura 2.15: Nombre de los 17 Objetivos de desarrollo sostenible. (Extraído de [7])

Los ODS que se tratarán de forma específica en el siguiente informe son los de número 7, 9 y 13 como se mencionó en el primer capítulo, estos 3 objetivos son más que el nombre, cada objetivo tiene diversas metas, y aristas a atacar (toda información fue extraída directamente de <https://www.stairwaytosdg.eu/es/>) La cual se presenta de forma detallada en el anexo D.

La finalidad fundamental del proyecto está estrictamente acorde a estos 3 objetivos, lograr que el Pabellón Olímpico sea lo más verde posible y que la comunidad opte por ideas verdes ya sea para los lugares públicos, como para los hogares de las mismas personas.

Es fundamental el poder concientizar a la población para que tome el peso de la situación y se comprometa con el caso.

Junto con lo anteriormente expuesto se remarca la contaminación por CO2 que emiten otros tipos de producciones, es por ello que se utiliza lo expuesto por OXFAM [36], en donde nos explica los 3 alcances.

Alcance 1: Las emisiones liberadas de forma directa por las fuentes controladoras de la empresa en sus procesos de negociación. A nivel empresarial en lo regulado y expuesto por OXFAM la finalización del año tuvo un aumento del 11% con respecto al año anterior, esto lo expone la siguiente tabla (extraída directamente del informe citado).

Tabla 2.2: Emisiones directas de las empresas estudiadas. (Fuente: [36])

EMPRESA	2022 Alcance 1 (tCO2e)	% sobre total muestra	evolución 2021 - 2022
IAG	21.155.000	22,7%	+94%
Repsol	15.700.000	16,9%	-19%
Naturgy	14.741.483	15,8%	+14%
Endesa	13.698.169	14,7%	+27%
Iberdrola	11.346.356	12,2%	-11%
FCC	6.359.764	6,8%	-4%
CEPSA	5.280.000	5,7%	-0,2%
Acerinox	872.253	0,9%	-10%
Mercadona	476.090	0,5%	-2%
DIA	400.159	0,4%	+0,3%
Resto de empresas	3.144.968	3%	-8%
<b>TOTAL 50 EMPRESAS</b>	<b>93.174.242</b>	<b>100%</b>	<b>+11%</b>

Cómo se logra apreciar en la tabla algunas empresas cumplen con lo esperado, sin embargo, otras compañías como es el caso de IAG y Endesa tienen emisiones tan elevadas que opacan el esfuerzo realizado por sus compañeras.

Alcance 2: Hace alusión a las emisiones realizadas indirectamente al tratar de energía comprada o adquirida para procesos de negocios. En este factor las 50 empresas lograron reducir un 9% el total en comparación al año anterior, lo cual se muestra la tabla 2.3 (la tabla contiene un error diciendo alcance 1, sin embargo, esta se trata de las emisiones del alcance 2).

Tabla 2.3: Emisiones por compra de energía. (Fuente: [36])

EMPRESA	2022 Alcance 1 (tCO <sub>2</sub> e)	% sobre total muestra	evolución 2021 - 2022
Iberdrola	1.879.381	17%	-13%
Acerinox	1.879.167	17%	-15%
Telefónica	1.002.189	9%	-17%
Red Eléctrica	727.214	6%	+12%
FCC	630.050	6%	+15%
Sacyr Vallermosto	472.738	4%	+24%
Inditex	451.430	4%	-17%
Repsol	400.000	4%	0%
Endesa	393.958	4%	-9%
Gestamp Automoción	364.596	3%	+2%
Resto de empresas	3.026.737	27%	-14%
<b>TOTAL 50 EMPRESAS</b>	<b>11.227.460</b>	<b>100%</b>	<b>-9%</b>

Alcance 3: Estas son las emisiones del total de la cadena de valor de las empresas, un ejemplo son las emisiones aguas arriba (en las fases de aprovisionamiento), aguas abajo (generado tras el uso de los clientes).

Del tipo 3 no se encuentra una tabla, sin embargo, se sabe que el 54% aumentó, el 28% logró disminuir las emisiones y un 18% no da el catastro de ese tipo de información.

Estos datos se entregan como números reales de lo que acontece actualmente en el país español. Las emisiones de CO2 se deben mantener lo más bajas posibles si se quiere optar por un mejor mundo, es por ello que el informe realizado por OXFAM, lo aborda desde los ODS n° 13 (mencionado con anterioridad), se reafirma que España es una de las naciones comprometidas por el cambio y parte del tratado de París.

Si bien, el proyecto en cuestión no busca en una primera medida trabajar con estas empresas de forma directa (instalando el sistema en ellas) busca dar una solución amigable a las emisiones realizadas por el Pabellón Olímpico de Badalona, dejándolo como ejemplo y propuesta de mejora para las empresas mencionadas en la toma de datos de OXFAM.

## CAPÍTULO 3: Estado del Arte

Para este capítulo, a diferencia al anterior, se abordarán las ideas de energía eólica y solar fotovoltaica como los 2 únicos conceptos a trabajar.

Con lo anterior se destaca que, si bien un estado del arte comenta los principales estudios realizados en la actualidad, para los 2 casos (eólico y solar) se menciona el hecho que, los actuales proyectos y/o investigaciones realizadas en el área apuntan a una mejora en la eficiencia de los sistemas. Por ello, se opta por explicar la evolución de los sistemas de captación energética y se da a conocer su historia.

### 3.1 Aerogeneradores.

Los aerogeneradores tienen sus comienzos en los molinos de vientos antiguos, los cuales, al rotar, accionaban un mecanismo que se utilizaba para moler el trigo, de esto se tiene registro por parte de los persas, los cuales eran de eje vertical [37], estos se pueden apreciar en la figura 3.1 de la misma página. Como idea era excelente, sin embargo, su construcción se ve de forma rústica, se podría mejorar si se colocaran telas o pieles de animales, para embolsar el viento y lograr que se aproveche mejor.

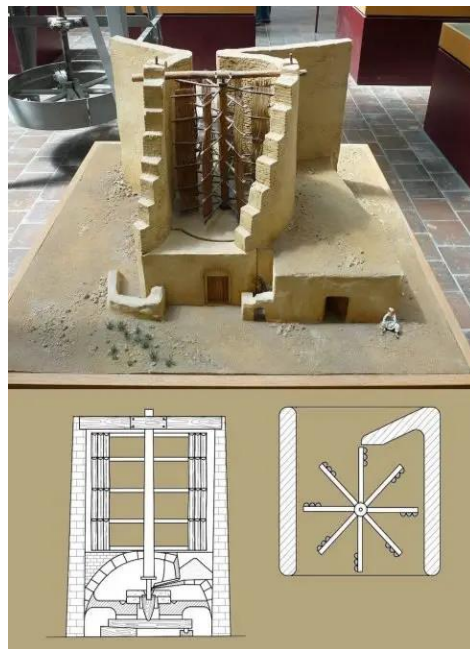


Figura3.1 : Molinos de viento persas. (Extraído de [37])

Posteriormente entre los siglos XVIII y XIX, a lo largo de Europa se instalaron los molinos de viento, replicando el sistema persa, sin embargo, estos se utilizaban para bombear agua [61], los molinos presentaban un eje vertical, estos son los típicos molinos que se ven en los dibujos o la portada de algunos libro del Quijote, estos fueron replicados para la fabricación de los aerogeneradores de tipo HAWT, los cuales en la actualidad buscan lograr mayor tamaño, con el fin de lograr una mayor generación energética.

No fue hasta el año 1922 cuando Sigurd J. Savonius, fabrica un aerogenerador en contraparte del sistema HAWT, Savonius creó uno de eje vertical, el cual lleva su nombre. Este tipo de sistema es capaz de generar energía a pesar de los vientos turbulentos, lo cual lo hace propicio para la instalación de estas turbinas en sectores urbanos.

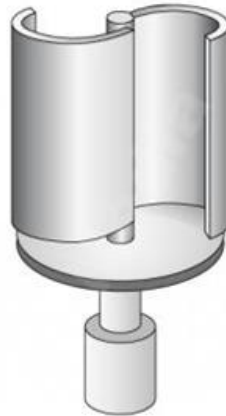


Figura 3.2: Ejemplo de un aerogenerador tipo Savonius. (Extraído de [53])

Para el año 1931, un francés de apellido Darrieus patentó su producto, un nuevo formato de tipo VAWT, sin embargo, fue hasta 1975 cuando se retomó este invento, el cual era capaz de generar de 1 a 60 [kW], por un costo menor en producción. [38], éste era de gran tamaño como se muestra en la siguiente figura. La producción era muy baja para el gran tamaño del sistema, sin embargo, presenta precedentes para las construcciones futuras.



Figura 3.3: Aerogenerador Darrieus. (Extraído de [52])

Con el tiempo los estudios de los aerogeneradores de eje vertical, buscan aumentar la producción, con menor dimensión.

Los VAWT actualmente, se utilizan en mayor medida como generación de energía para viviendas, donde se estudian principalmente, los ángulos de ataque y los  $C_d$ - $C_l$ , que son el tipo de viento que les llega, puesto que, en zonas urbanas, los vientos son turbulentos.

Los aerogeneradores más presentes en las ciudades son los de tipo H (modelo que se presenta en el proyecto), el cual se expone a continuación [38].

Este modelo es simple de fabricar y permite una instalación rápida, es por ello que es el más utilizado, si bien, no siempre tiene la misma forma, es el mismo sistema con modificaciones en función del lugar y viento.



Figura 3.4: Aerogenerador tipo H. (Extraído de [37])

En la actualidad, la progresión científica busca 4 objetivos claros, Mejorar la eficiencia, disminuir el tamaño, encontrar nuevos materiales para la creación de los aerogeneradores y mejorar los diversos sensores que contienen los captadores eólicos. Todo enfocado a mejorar ya sea la cantidad de energía producida o abaratar los costos a la hora de la puesta en marcha.



### 3.2 Paneles Fotovoltaicos.

La idea de generar energía mediante el sol, tiene inicio en el año 1838 gracias al físico francés Alexandre Becquerel, quien ideó el principio del efecto fotovoltaico, el cual se expone en la figura. El físico en cuestión tras estudiar y experimentar, logró dar con la idea que, mediante luz solar y con la participación de 2 electrodos (metálicos), se logra la generación de electricidad [39]. Esto se puede entender con el formato mencionado anteriormente de los electrones, mientras una placa se oxida, la otra se reduce.

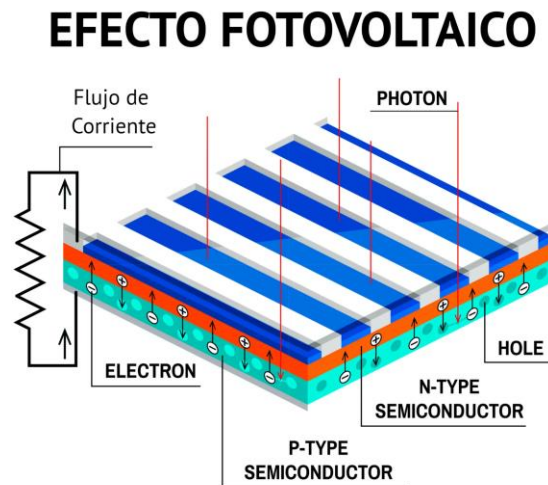


Figura 3.5: Efecto Fotovoltaico. (Extraído de [54])

Es en el año 1873 donde se descubre que el selenio presenta fotoconductividad, lo que dio paso a la celda fotovoltaica (en el futuro), esto por el Ing. eléctrico Willoughby Smith,

Para el año 1953 Dan trivich, realizó los primeros cálculos de eficiencia para celdas fotovoltaicas, con ellos en el próximo año (1954), con un 4% de eficiencia se logra fabricar la primera celda fotovoltaica. Con el paso del tiempo las celdas se incrementan conforme transcurren los años, hasta lo que se tiene en la actualidad.

Un año de suma importancia para la historia de los paneles solares es el 1985, en donde el grupo de la universidad de nueva Gales del sur, dirigido por Martin Green, se confecciona la primera celda compuesta por silicio, lo cual logra una eficiencia superior al 20%.

Posteriormente se comienzan a crear inventos que se puedan colocar con simpleza, claros ejemplos son las tejas de panel solar flexible (1998) y los paneles solares de bricolaje (2005), por dar un ejemplo [39], estos mediante su diseño inicia la idea de “camuflar” o incluir en la fachada sistemas energéticos. Lo cual no daña la imagen y permite que la cuenta de luz a final de mes sea menor en costo.



Figura 3.6: Ejemplo de las tejas flexibles de la actualidad. (Extraído de [55])



Figura 3.7: Paneles solares de bricolaje modernos. (Extraído de [55])

Para los tiempos modernos se busca que las celdas logren presentar una mayor eficiencia, en conjunto de ayudar al medioambiente.

Un claro ejemplo de esto es el invento en vías de desarrollo propuesto por Greenfluidics, el cual presenta un panel con algas en su interior, que no solo recolecta energía solar, sino que, purifica el aire, se estima que este tipo de tecnología ayude a la colonización del cuarto planeta de nuestro sistema solar (Marte), puesto que con su acción de algas se podría generar una atmósfera rica en oxígeno para el planeta rojo [40]. Esto puede ser una revolución total a la producción de paneles, si llegase a funcionar de la forma que se espera, pues permite aumentar el rendimiento y utiliza elementos abundantes en el planeta.

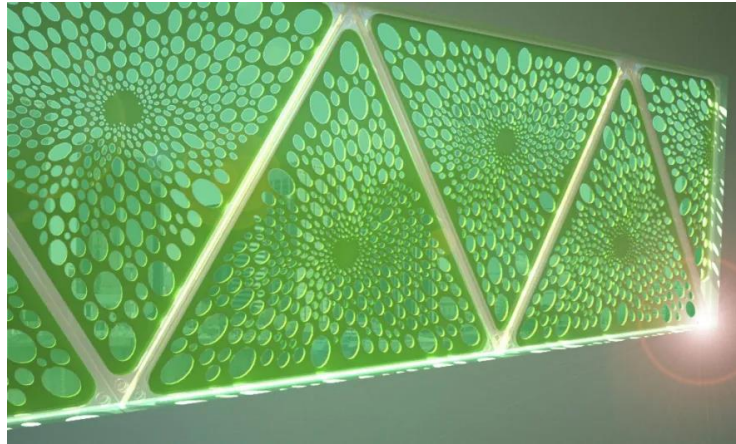


Figura 3.8: Bio panel con algas. (Extraído de [56])

Como se puede apreciar desde un comienzo se buscan 2 objetivos en el avance de los paneles, mejorar la eficiencia y la búsqueda de nuevos materiales para realizar el efecto fotoeléctrico, pasando por el silicio, telururo de cadmio y CIGS [41]. Lo mejor es probar con todos los posibles componentes, y luego priorizar costo rendimiento.

En la actualidad el objetivo principal es buscar métodos para reciclar o reutilizar los componentes como conjunto o de forma independiente, hasta el punto de generar leyes y/o reglamentos para los captadores solares [42].

Sería ideal que para el futuro el panel no solo permitiera lograr una alta producción, sino que, a su vez, estos tuvieran formas de ser reciclados o reutilizados, ya sea los elementos con los que son creados, como con la estructura que los cubre.

## CAPÍTULO 4: Fórmulas y Diseño preliminar.

Como ya se mencionó anteriormente y a grandes rasgos, el proyecto actual consta de un aerogenerador de eje vertical Darrieus de tipo H, el cual consta de 3 palas, en las que se presentan paneles solares.

Por su parte, lo fundamental es que el aerogenerador a una velocidad de 4.5 m/s logre una generación de 50 [W h]. Esta velocidad se toma pues se estima que la mayor producción de este tipo de aerogeneradores tenga su punto óptimo entre los 4 y 6 [m/s]

### 4.1 Fórmulas.

#### Eólico.

Para el desarrollo de este apartado se utilizarán lo propuesto en [43], [44] y [45] (se expondrá cuando se utiliza cada una de ellas), estas fórmulas se utilizan debido a que, son las más implicadas en cálculos para sistemas eólicos, sin embargo, antes de utilizarse en otro mecanismo, se recomienda investigar si existen nuevos avances en este campo.

La energía que genera un aerogenerador proviene de la energía cinética del viento [43].

$$\text{Energía cinética:} \quad E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 \text{ [J]} \quad (1)$$

Donde:

- $\dot{m}$ , es el flujo másico del fluido, el cual es aire para un aerogenerador
- $v$  es la velocidad del fluido en cuestión.

Al tratar de una generación que transcurre con el tiempo, se debe evaluar en función del mismo. Por ello se analiza (1) en función del tiempo (derivando) en la ec. (2) [43].

$$\frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} * \frac{d\dot{m}}{dt} * v^2 \quad (2)$$

De esta forma la energía se transforma a potencia, la cual tiene la simbología  $P_d$ , esta llevará por nombre energía potencial del viento, donde se espera que el viento mantenga una racha de corriente durante una hora.

$$P_d = \frac{1}{2} * \dot{m} * v^2 \text{ [Wh]} \quad (3)$$

Por su parte  $\dot{m}$  se puede ocupar utilizando la ec. de flujo másico, dejando  $\dot{m}$  de la siguiente forma:

$$\dot{m} = \rho * A * v \quad (4)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido.

Luego se reemplaza (4) en (3) [43] dando como resultado:

$$P_d = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \text{ [Wh]} \quad (5)$$

La densidad se puede obtener mediante el siguiente despeje:

$$\rho = \frac{P}{R * T}$$

Con :  $P$  es la presión absoluta [Pa]

$R$  es la constante de gas específica, para este caso  $287,06 \left[ \frac{J}{kg * K} \right]$

$T$  es la temperatura del ambiente en ese momento [K]

El área  $A$  para este caso es el área de barrido del aerogenerador, ésta se puede obtener de diversas formas y para casos prácticos se utilizará:

$$A = 2 * r * L \quad (6)$$

Donde:

- $r$  es el radio del rotor
- $L$  es el largo del álabe (o pala).

Junto a lo anterior se necesita una eficiencia mecánica y una eficiencia eléctrica para el presente aerogenerador, considerando los tiempos actuales podemos asumir una eficiencia mecánica ( $\eta_m = 0.95$ ) y una eléctrica de ( $\eta_e = 0.87$ )

Para la generación de un aerogenerador se debe calcular una potencia teórica, la cual se expone de manera concreta en la siguiente ecuación [43]:

$$P_t = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * \eta_m * \eta_e * C_p \quad (7)$$

Con lo anterior, se debe considerar el límite de Betz, este impone que para un aerogenerador ya sea HAWT o VANT, con la máxima cantidad de palas posibles (asumiendo un número infinito de palas), los aerogeneradores logra, generar el 59.3%, es por ello que a la ecuación  $P_t$  se debe multiplicar por el factor 0.593. , de esta manera se obtiene  $P_u$  (potencia útil) [43].

$$P_u = \frac{16}{27} * \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * \eta_m * \eta_e * C_p \quad (8)$$

### Explicación del límite de Betz.

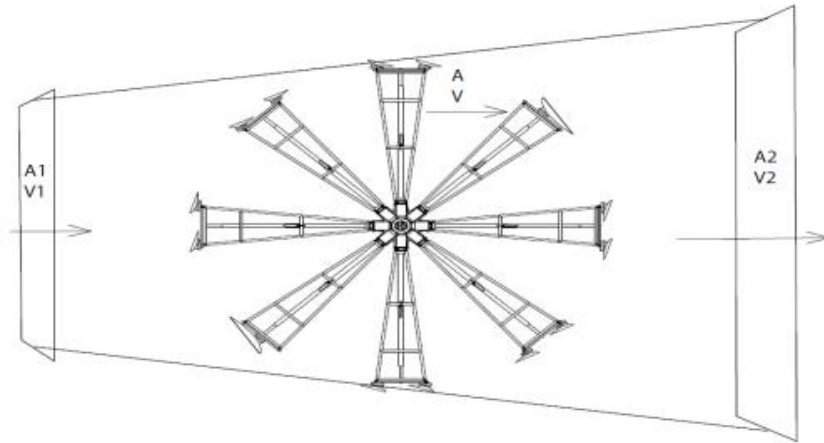


Figura4.1 : Demostración del límite de Betz. (Extraído de [57])

El límite se debe a la acción del viento, donde  $V_1$  es el viento inicial y  $V_2$  el viento final, donde  $V_2$  es menor que  $V_1$ , a su vez  $A_1$  representa el área de entrada del viento la cual es mayor que  $A_2$  que representa la salida del área del viento.

La ecuación demostrada en [44], se muestra a continuación.

$$P_{Energía} = \rho * A * v^2 * (v_1 - v_2)$$

$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$ , además se hace el reemplazo,  $V_2 = V_1 * b$ , dejando como resultado la ecuación que se expone a continuación [44]:

$$P = \frac{1}{4} * \rho * A * v_1^3 * (1 + b)(1 - b^2)$$

Posteriormente se deriva en función de  $V_1$  lo cual nos deja la ecuación  $P_u$  (8).

A la relación entre la velocidad de la punta de la pala y la velocidad del viento se le denomina como Tip Speed Ratio (TSR). La relación en cuestión determina la velocidad de rotación del aerogenerador, por ello, se liga el TSR al alternador que se utilice [64].

Considerando un alternador favorable para el sistema, permite que el TSR se aproxime de buena manera a la velocidad del viento. La relación de TSR igual a las corrientes de viento es el formato que se utilizará para los cálculos del informe.

Para obtener  $C_p$ , se utiliza el Tip Speed Ratio (TSR) y  $C_p$  el cual se tendrá en cuenta según los siguientes gráficos:

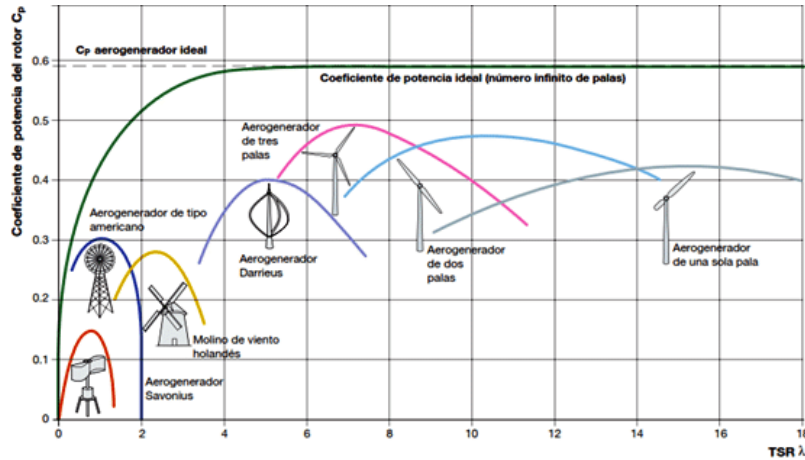


Figura 4.2:  $C_p$  v/s TSR. (Extraído de [57])

A lo anterior, se le adhiere lo expuesto a lo largo de otros trabajos, donde se demuestra que por razones de accionamiento con vientos menores de 2 [m/s] no se logra romper la inercia propia de los aerogeneradores de tipo H, además para este aerogenerador no se aceptan vientos superiores a 10 [m/s], esto pues que a mayor velocidad se tiene la opción de sobre revolucionar los ejes, lo cual podría dañar severamente el sistema. Se aclara que este número lo define el fabricante, ya que en lugares específicos donde los daños no sean negativos (lejos de los civiles) se pueden aceptar velocidades mayores las cuales lograron una mayor producción.

Para el aerogenerador que se realiza durante el presente trabajo se calcula su propio gráfico  $C_p$  vs TSR, para ello se tiene en consideración la siguiente ecuación [45], esta se utiliza por su capacidad de dar resultado de forma numérica al  $C_p$ , pues de otra forma se deben hacer pruebas con un sistema operativo:

$$C_p \max = 0.593 * \left[ \frac{\lambda * N^{0.67}}{1.48 * (N^{0.67} - 0.04) * \lambda + 0.0025 \lambda^2} - \frac{1.92 * \lambda^2 * N}{1 + 2 * N * \lambda} * \frac{C_d}{C_l} \right] \quad (9)$$

Con  $\lambda = \text{TSR}$ ,  $N$  el número de palas y  $\frac{C_d}{C_l}$  la inversa de  $\frac{C_l}{C_d}$ , donde  $C_l$  es el coeficiente aerodinámico de sustentación y  $C_d$  el coeficiente aerodinámico de resistencia al avance.

La ecuación anterior no contempla que se requiere de un viento inicial para romper la inercia del sistema y que este empiece a generar energía, dejando como resultado, una curva ilógica, la cual se expone en la siguiente figura.

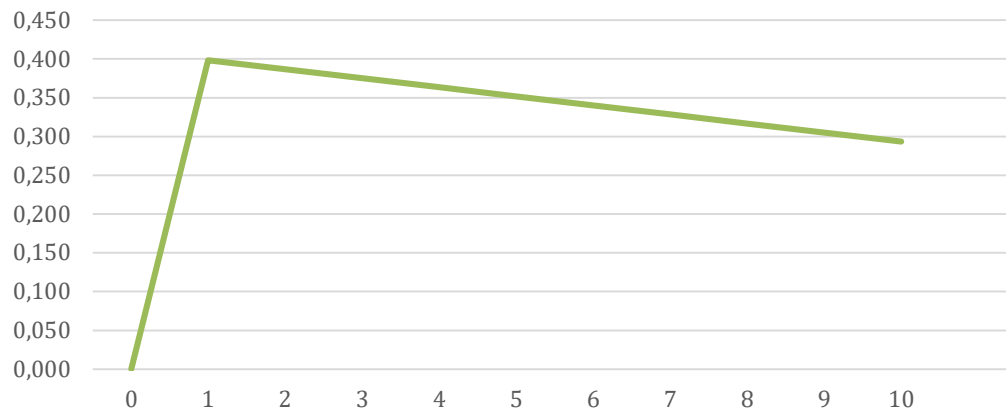


Figura 4.3: curva Cp vs TSR para el aerogenerador.

La consideración de  $N$  es igual a 3, y  $Cd/Ci$  equivalente a 50.1, esta elección es recomendada por los fabricantes del modelo NACA0018 donde indican que para vientos con un número de Reynolds inferior a 200000 (presentes en a la ciudad) y un ángulo de ataque de  $7^\circ$  (inclinación de las aspas frente al viento), el óptimo  $Cd/Ci$ , es el mencionado anteriormente (esto se expondrá en los anexos).

Como se mencionó con anterioridad es necesario hacer algunas modificaciones al  $C_p$ , se debe modificar los primeros datos para que inicie en 2 y finalice en 10 [m/s]. Se expone a continuación el  $C_p$  vs TSR, con las modificaciones, además de una curva de tendencia, la cual representa la fórmula para obtener el  $C_p$  por cada TSR (la tabla de los datos se podrá apreciar en el anexo C).

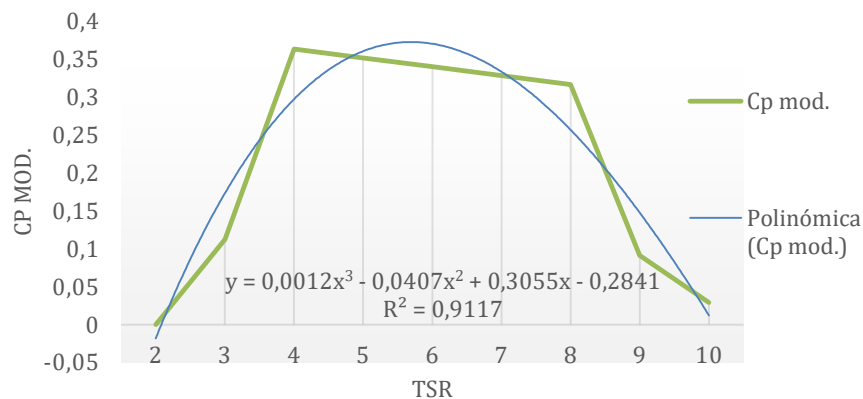


Figura 4.4: Curva Cp v/s TSR, modificada.



Para el caso del aerogenerador tipo H como el que se plantea en el informe se analizan datos de la NASA, y de algunos centros meteorológicos, los cuales muestran los vientos promedio en la ciudad de Badalona y específicamente en sectores cercanos del Pabellón Olímpico.

Como premisa del proyecto se espera que cada aerogenerador por sí mismo logre generar 50 Wh

A continuación, se presenta una tabla de resultados para  $P_u$ , la cual considera una densidad constante de 1.223, esta se logra considerando una presión constante de 101109 [Pa] y una temperatura de 15[°C]. Si bien, estos datos son experimentales y no se presentarán de forma constante en la ubicación señalada, la variación de la densidad es mínima considerando casos adversos.

Tabla 4.1: Muestra de generación según viento, TSR y  $C_p$ , sin modificar

Viento [m/s]	TSR	$C_p$	$P_u$ [Wh]
3.2	3.2	0.37	19.8
3.7	3.7	0.37	30.1
4.5	4.5	0.38	56.4
5.0	5.0	0.35	65.1
5.7	5.7	0.34	101.9
6.0	6.0	0.34	118.9
7.0	7.0	0.33	150.8
8.0	8.0	0.32	140.5

En el anexo “cálculos” se mostrarán los cálculos, de un año de generación, en el supuesto que el mismo aerogenerador expuesto entrará en vigencia desde el 1-11-2022, hasta 31-10-2023.

Para el aerogenerador se optó por utilizar el perfil NACA 0018, el cual se extrae de airforce tools, por su simetría, su simpleza y su presencia en el mercado, las 3 palas se presentan con una inclinación ( $\alpha$ ) de 7°, lo cual permite un  $N_{crit}$  de 9, un  $Cl/Cd$  de 50.1, lo cual se traduce a una resistencia para un Reynolds de 200000.

Dentro del anexo se exponen gráficas extraídas de la página mencionada para exponer cómo la sustentación, resistencia y ángulo de ataque, se relacionan entre sí.

## Panel Solar.

Los paneles a utilizar son del tipo cristalino amorfo, el cual es el que necesita mayor cantidad de  $[m^2]$  para una fabricación equivalente a los de silicio poli cristalino, según lo expuesto durante la clase de proyectos de ing. residencial y comercial [46]. Como deja ver la siguiente figura:

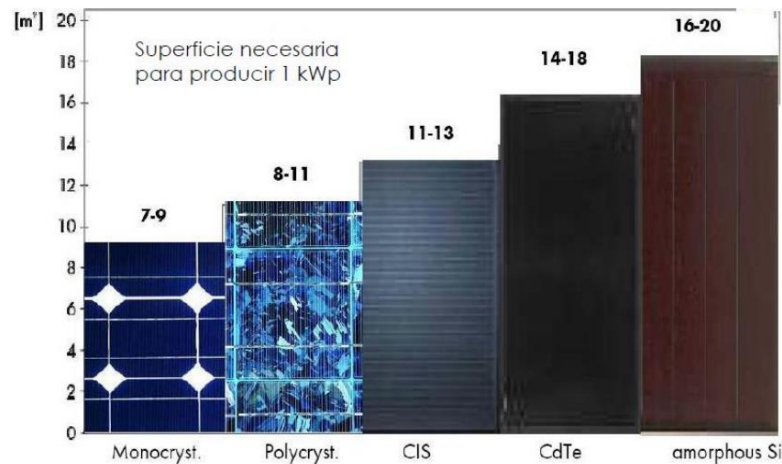


Figura 4.5: Proporción de producción de los paneles en  $m^2$ . (Extraído de [46])

Las ecuaciones a utilizar para un panel fotovoltaico, se aplican en su totalidad en el caso de presentar una inclinación, pues, en caso contrario (no presentar inclinación) uno de los términos no influye en la ecuación.

Todas las ecuaciones se extraen de [46], por las razones indicadas al inicio de este capítulo.

En primera medida se debe conocer la declinación solar  $\delta_{sol}$ , la cual es la inclinación de la tierra respecto a la línea del ecuador, las cuales son máximas y mínimas para los solsticios y 0 para los equinoccios.

$$\delta_{sol} = 23.45 * \text{seno} \left[ 360 * \left( \frac{284 + n_{día}}{365} \right) \right] \quad (10)$$

Donde  $n_{día}$  es el día del año.

Junto a este necesitamos el ángulo horario, ángulo zenit y ángulo de incidencia:

$$w_s = 15 * (Hr - 12) \quad (11)$$

- $w_s$  representa el ángulo horario.
- hora es la hora del día (1 a 24).

$$\text{Cos}(\Theta_z) = \text{Cos}(\varnothing) * \text{Cos}(\delta_{sol}) * \text{Cos}(w_s) + \text{Seno}(\varnothing) * \text{Seno}(\delta_{sol}) \quad (12)$$

- $\text{Cos}(\Theta_z)$ , corresponde al ángulo zenit.
- $\varnothing$  la latitud.

$$\begin{aligned} \text{Cos}(\Theta) = & \text{Seno}(\delta_{sol}) * \text{Seno}(\varnothing) * \text{Cos}(\beta) - \text{Seno}(\delta_{sol}) * \text{Cos}(\varnothing) * \text{Seno}(\beta) \\ & * \text{Cos}(\gamma_{ph}) + \text{Cos}(\delta_{sol}) * \text{Cos}(\varnothing) * \text{Cos}(\beta) * \text{Cos}(w_s) \\ & + \text{Cos}(\delta_{sol}) * \text{Seno}(\varnothing) * \text{Seno}(\beta) * \text{Cos}(\gamma_{ph}) * \text{Cos}(w_s) \\ & + \text{Cos}(\delta_{sol}) * \text{Seno}(\beta) * \text{Seno}(\gamma_{ph}) * \text{Seno}(w_s) \end{aligned} \quad (13)$$

- $\text{Cos}(\Theta)$ , ángulo de incidencia.
- $\gamma_{ph}$ , Azimut del panel.
- $\beta$ , inclinación del pael.

Para lograr simplificar los cálculos, se necesitan datos bases, estos son: radiación solar extraterrestre, índice de claridad, radiación directa y radiación difusa. Además, es recomendable conocer la relación que se da entre superficie inclinada v/s una horizontal.

Por su parte la relación mencionada se calcula como:  $R_b = \text{Cos}(\Theta) / \text{Cos}(\Theta_z)$ . La cual es ideal que de mayor a 1.

$$G_o = G_{sc} * (1 + 0.033 * \text{Cos}(\frac{360 * n_{dia}}{365})) * \text{Cos}(\Theta_z) \quad (14)$$

Donde:

- $G_o$ , es la rad. solar extraterrestre.
- $G_{sc}$ , es u factor (1366 W/m<sup>2</sup>)

$$K_t = \left( \frac{G}{G_o} \right) \quad (15)$$

Donde:

- $K_t$ , es el índice de claridad.
- $G$ , rad solar sobre superficie horizontal (se debe medir).

La radiación directa se calcula como  $G_b = G - G_d$ , con  $G_d$  como la rad, difusa.

La rad. difusa depende del índice de claridad, donde sí:

- $K_t \leq 0.22 \rightarrow G_d = (1 - 0.09 * K_t) * G$
- $0.22 < K_t \leq 0.8 \rightarrow \frac{G_d}{G} = [0.9511 - 0.1604 * K_t + 4.388 * K_t^2 - 16.638 * K_t^3 + 12.33 * K_t^4]$
- $K_t > 0.8 \rightarrow G_d = 0.165 * G$

Con todo lo anterior se puede determinar la radiación de una superficie inclinada como:

$$G_T = G_b * R_b + G_d * \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + G * \rho_{inf} * \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (16)$$

- Donde  $\rho_{inf}$ , es el índice de reflexión del suelo (se puede usar como 0.2)

Finalmente, la producción final se obtiene de la siguiente manera:

$$P_p = A_p * \eta * G_T \quad (17)$$

Donde:

- $A_p$ , es el área del panel.
- $\eta$ , es la eficiencia del panel.

## 4.2 Importancia de las sombras.

Como el aerogenerador es un sistema que rota sobre su eje, el propio aerogenerador producirá sombras sobre los álabes, por ello se hace un análisis de ellas.

En primer lugar, se debe analizar los horarios donde el eje y los álabes, proyectan sombras. Para ello se utiliza la ecuación (18). Esta se ejemplifica en la figura 5.2.

$$Sombra = \frac{Alt}{\tan(\gamma_s)} \quad (18)$$

Donde

- $Alt$ , representa la Altura del objeto que generara la sombra.
- $\gamma_s$ , el Ángulo que proyecta el sol al chocar con el elemento generador de la sombra.

Posteriormente, conociendo los horarios donde el eje y/o los álabes proyectan sombra, sobre los paneles puestos en las palas, para ello mediante el programa Auto CAD, se genera una vista aérea del

prototipo y se rota el sistema en intervalos de  $1^\circ$ , analizando en caso el eje produce sombra sobre alguna de las 3 palas durante las 24 horas, y se replica el formato, pero, en la segunda oportunidad con las palas.

### 4.3 Diseño preliminar.

Para el diseño del sistema se utiliza los requerimientos dictaminados por la UPC, estos son un sistema que logre generar un mínimo de 50 [Wh] cuando el viento esté dentro del margen de 4 a 5 [m/s], junto con lo anterior se pide un eje delgado y que el tamaño del largo de las palas de 1.8 [m] de alto.

Para el diseño se creó un boceto en la aplicación AutoCAD de Autodesk, luego un modelo preliminar utilizando el programa de Autodesk “Inventor”, posterior a ello por petición se utilizó el programa “Solidworks” con el cual se realizó un modelo más completo que el de inventor, donde se colocaron paneles en las palas.

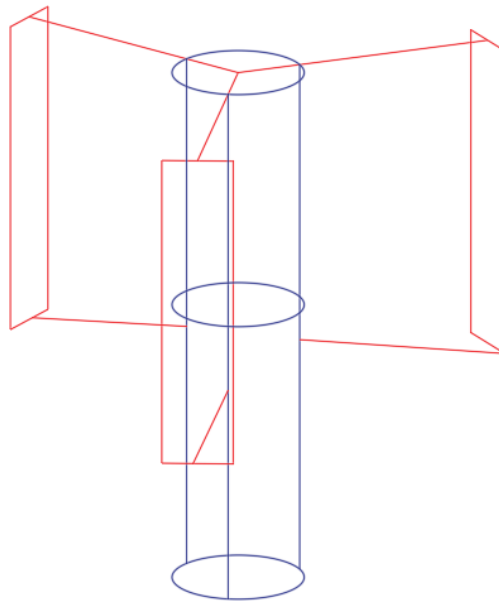


Figura 4.6: Primer boceto en AutoCad.

Esta primera figura fue diseñada durante una reunión de trabajo, donde se creó la primera versión del aerogenerador, esta se muestra por ser el origen de la idea.

Posteriormente, el diseño se realizó en la aplicación de escritorio “Inventor autodesk”, este se muestra en la figura 4.9, sin embargo, por conflicto en la unión presente entre las palas y eje, y se desechó y se creó el presente en la figura 4.10.

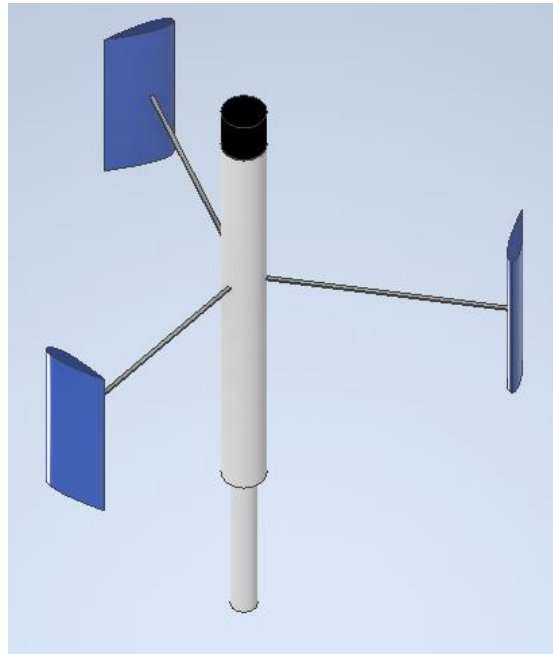


Figura 4.7: Primer Aerogenerador en inventor.

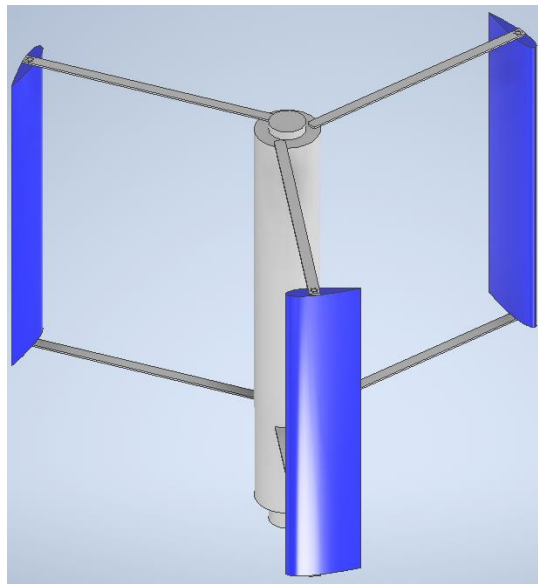


Figura 4.8: Diseño preliminar del Aerogenerador.

En ambos casos se pintaron las palas con la finalidad de ejemplificar los paneles solares.

A continuación, se muestran las partes fundamentales del diseño del aerogenerador, puesto que, como indica el nombre del proyecto se pide un diseño preliminar del cual extraer cálculos.

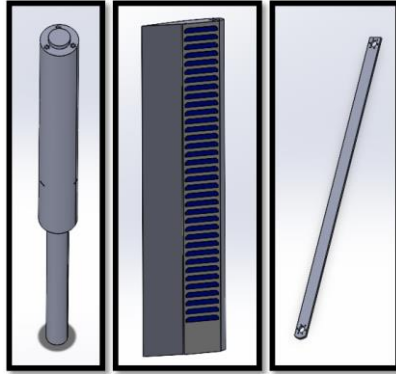


Figura 4.9: Partes fundamentales del aerogenerador.

Como muestra la figura 4.9, se presentan 3 piezas fundamentales, el eje, la pala y el sujetador eje pala.

Las dimensiones de cada pieza son las siguientes:

- a) Eje: Un largo total de 3.965 [m] el cual se divide en 2 secciones, 1 de 2.38 [m] y un cilindro ahuecado de diámetro exterior equivalente a 0.356 [m] con un hueco de 0.2 [m].

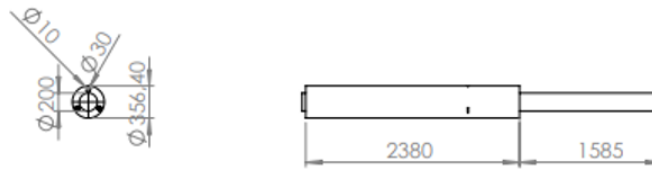


Figura 4.10: Boceto eje.

- b) Pala: Esta presenta la forma del álabe NACA 0018, de Airfoil tolos, con un largo de 1.8 [m], un ancho de 0.4 [m] y un espesor 0.07286 [m]. El punto a punto para su fabricación se presenta en los anexos.

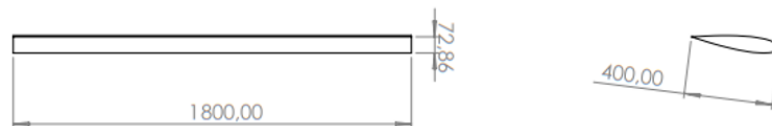


Figura 4.11: Boceto pala.

- c) Sujetador eje pala: Este consta de un largo de 1.4 [m], una terminación en semicírculo de 0.01181 [m], un espesor de 0.01 [m], en los extremos presenta orificios de 30 [mm] de diámetro para anclarse al eje y la pala, junto con 6 orificios de 5 [mm], que cumplen la finalidad de apernar este a los 2 extremos.



Figura 4.12: Boceto sujetador.

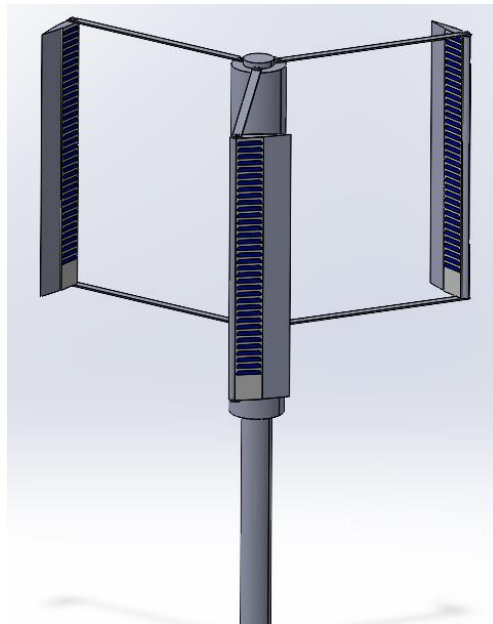


Figura 4.13: Aerogenerador ensamblado, diseñado en Solidworks.

En la figura 4.13 se puede apreciar el sistema híbrido en su totalidad, los paneles provienen de la empresa Grenn System, modelo KXSF N36-80. La tabla de especificaciones se muestra a continuación (traducida al español).



Tabla 4.2: Especificaciones panel KXSF N36-80.

Parámetro	Panel
Potencia nominal (PMPP)	80 [W]
Eficiencia inicial ( $\eta$ )	16.20%
Tolerancia de potencia de salida	0 ~ + 5 [W]
Potencia voltaje máximo (VMPP)	18.8 [V]
Corriente de potencia máxima (IMPP)	4.26 [A]
Circuito de voltaje abierto (VOC)	23.8 [V]
Corriente corta de circuito (ISC)	4.74 [A]
Clasificación máxima de fusibles en serie	10 [A]
Temperatura nominal (NOCT)	48 [°C]
Coefficiente de temperatura (PMPP)	-0.38 [%/°C]
Coefficiente de temperatura (VOC)	-0.28 [%/°C]
Rango de funcionamiento de la celda [°C]	~40~85 [°C]
Largo	1709 [mm]
Ancho	348 [mm]
Espesor máximo	20 [mm]
Tipo de celda	CIGS
Peso sin pegamento	1.2 [kg]
Peso con pegamento	1.6 [kg]
Peso sobre área sin pegamento	2.0 [kg/m <sup>2</sup> ]
Peso sobre área con pegamento	2.7 [kg/m <sup>2</sup> ]

Junto con lo anterior, Green system afirma que este tipo de panel puede enrollarse en sí mismo 360°, y que esto no afecta su eficiencia, siendo capaz de adaptarse a los tejados de casas, barcos o al eje de una luz de alumbrado público. Si bien, no se expone una imagen del panel en solitario, en formato boceto, donde se exponga las dimensiones mencionadas, se comparten imágenes las cuales muestran la capacidad del panel y los certificados profesionales de estos.

La elección de este panel se debe a las dimensiones del mismo, al contar con palas de 1.8 [m] de largo y 0.4 [m] de ancho, este panel se adapta perfecto a las dimensiones del sistema.



Figura 4.14: Panel solar a utilizar en el sistema. (Extraído de [47])

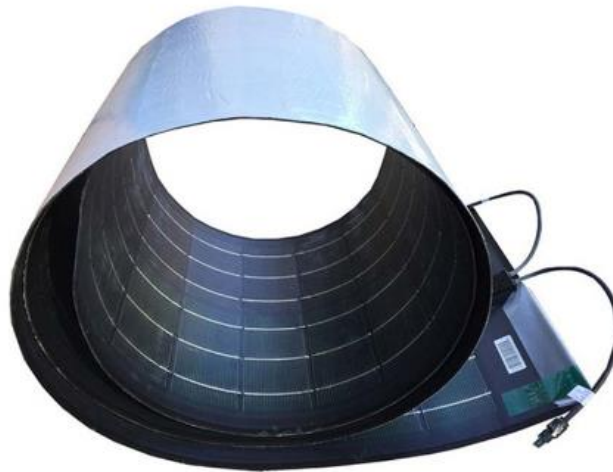


Figura 4.15: Muestra de la capacidad de flexibilidad del panel. (Extraído de [48])

## CAPÍTULO 5: Resultados.

### 5.1 Resultados del área eólica.

Para obtener una idea preliminar se debe obtener el área con el cual se trabajará, para ello se debe despejar  $A$  en función de la generación, considerando un valor para  $v$  apropiado en función del sistema, para la obtención del área en cuestión se despeja la ecuación (8), dejando como resultado, lo expuesto a continuación:

$$50 = 0.593 * \frac{1}{2} * 1.223 * A * 4.5^3 * 0.95 * 0.87 * 0.38$$

Se despeja  $A$  dejando

$$A = \frac{50 * 2}{1.223 * 4.5^3 * 0.95 * 0.87 * 0.38 * 0.593}$$

$$A = 4.82 [m^2]$$

Se utiliza (6), y se recuerda que por condiciones de trabajo el largo del álabe “L” debe ser 1.8 [m], puesto que los paneles encontrados presentan una altura de 1.709 [m] lo cual deja un margen para cableado de ser necesario.

De tal forma se despeja  $r$  en relación a (6), con  $L$  establecido.

$$4.82 = 2 * 1.8 * r \rightarrow r = 1.34[m]$$

Por temas de diseño se utilizará un  $r$  de 1.5[m]. Dejando un área final de 5.4 [m<sup>2</sup>], la cual será utilizada a partir de ahora para todos los futuros cálculos a realizar.

Para obtener los resultados se toman los datos recopilados por meteo.cat el cual pertenece al Palacio de la Generalitat en Cataluña, el cual entrega los datos diarios con un diferencial de tiempo de 30 minutos, el sistema km/h, estos se organizan en 12 tablas por medio del programa Excel (una para cada mes).

Se pasan estos a m/s y se introduce a la fórmula de  $C_p$  modificada expuesta en la Figura 4.6, con la condición que la velocidad del viento sea mayor a 2 [m/s] y menor que 10 [m/s], en el caso de no cumplir se suplanta el resultado por un 0.

Teniendo el viento en el sistema que solicita la fórmula y un  $C_p$  modificado para cada medición se calcula la producción considerando la ecuación (8).

En el anexo C, se mostrará el paso a paso para 5 horas de 5 días de producción.

A continuación, se expone una tabla con los diversos pasos, para algunas de las mediciones realizadas, con el fin de ejemplificar lo anteriormente señalado.

Tabla 5.1: Procedimiento de cálculo, producción del aerogenerador.

Viento [km/h]	Viento [m/s]	Cp modificado	Producción [Wh]
6.8	0	0	0
11.5	3.19	0.316	16.65
19.4	5.39	0.368	93.22
25.2	7.00	0.27	150.8
40.3	11.19	0	0

Con lo anterior claro se solicitan los resultados de 3 formas diferentes a nivel de producción eólica, con la finalidad de tener esta información para el futuro y ver si es más efectivo colocar el sistema expuesto o solo paneles solares, para ello las formas son:

- a.- Por temporadas (estaciones del año)
- b.- Producción con presencia de sol y sin presencia de este.
- c.- Producción anual total.

a.- Producción por temporadas: para esto se requiere tener conocimiento de las fechas de las temporadas:

Tabla 5.2: Estación y fechas de las mismas.

Estación	Tiempo de inicio a fin
Primavera	21 marzo - 21 junio
Verano	22 junio - 22 septiembre
Otoño	23 septiembre - 21 diciembre
Invierno	22 diciembre - 20 marzo

Producción:

Tabla 5.3: Producción por temporada.

Estación	Producción [ Wh / año ]
Primavera	39.850
Verano	42.435
Otoño	40.189
Invierno	60.292

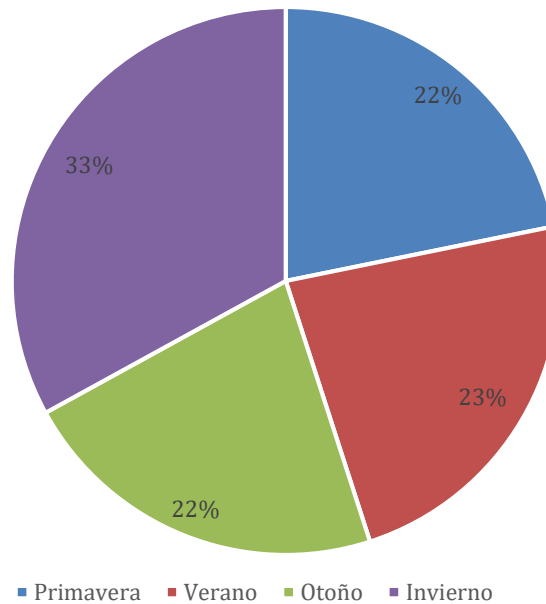


Figura 5.1: Gráfico de producción por temporada.

Como es de esperar la producción en invierno es la mayor del año con un 33% del total, esto se debe a que en esas épocas del año las rachas de viento son más fuertes, en conjunto a que son más prolongadas, logrando tener días completos de producción.

Para las otras tres temporadas se muestra una distribución porcentual semejante, lo cual es positivo, pues presentamos una producción similar continua y no en forma de rachas como es el caso de otras energías renovables las cuales tienen mayor producción en cierta fracción del año.

b.- Producción diurna y nocturna, para este caso se pidió la producción en los horarios donde el sol se encuentra presente y su contraparte donde éste no lo esté, cada mes es diferente para este caso,

por ello se considera que el sol está presente en el momento en que la radiación solar sea mayor a 0, en su contra parte las etapas sin sol serán la madrugada y las horas finales del día donde la radiación sea nula.

Producción:

Tabla 5.4: Producción por jornada.

Condición solar:	Producción [ Wh / año ]
Crepuscular	117.544
Nocturno	65.221

En este caso se nota una gran diferencia donde la producción con presencia del sol es equivalente al 64.3% en su contraparte la producción en los momentos que no está presente la radiación solar logra superar levemente 1/3 de la producción total.

c.- Producción total, para este caso se mostrará la producción total en [Wh / año] y [Wh / día].

Tabla 5.5: Producción total.

Producción	[ Wh / año ]	[ Wh / día ]
Cantidad	182.765	500

## 5.2 Resultados del área solar.

Para la toma de datos se utilizó la misma página meteo.cat y se realizó el promedio de los datos para que se presenten de forma horaria. En el anexo C, se mostrará el paso a paso para 5 días de producción, donde se irán utilizando las ecuaciones del capítulo anterior.

Para los paneles que se exponen en el sistema se tiene una posición con un ángulo de inclinación de  $89^\circ$  lo que irá variando es el Azimut, el cual irá variando con el sol, además cada vez que el sistema rote en su eje cambiará el ángulo de incidencia en los paneles y sufrirá modificaciones. Para observar esta variación se mostrará la producción de un panel a diferentes ángulos de Azimut de  $0^\circ$  a  $150^\circ$ , con una variación de  $10^\circ$ , entre cada medición.

Se recuerda que el Azimut varía con respecto a la posición del sol respecto a la rosa de los vientos, a continuación, se muestra un ejemplo con el fin de dar a explicar cómo se presenta el ángulo en cuestión.

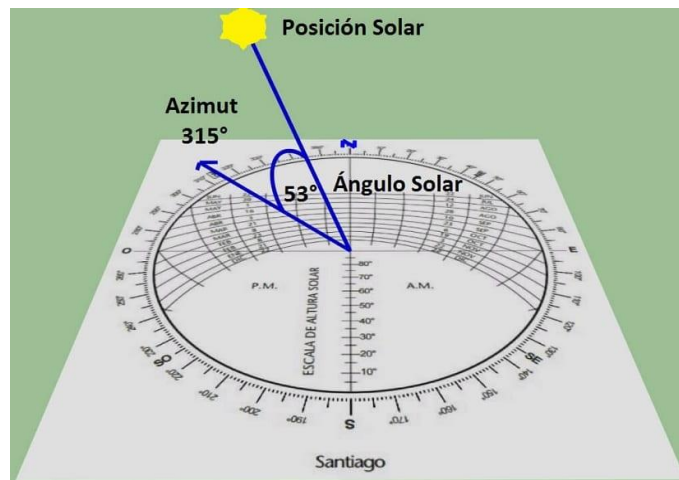


Figura 5.2: Ejemplo de la obtención del ángulo Azimut. (Extraído de [58])

Junto al Azimut, se tiene el ángulo solar, el cual se representa por  $w_s$ , que tiene una variación de  $15^\circ$  por cada hora. Este dato es muy importante, pues es con él que se verificará en qué momentos una pala o el eje, generan sombra en los paneles de los otros álabes.

Producción:

Tabla 5.6: Producción de una pala a diversos Azimut.

Ángulo Azimut	Producción [ Wh / año]	Producción aproximada de un día promedio [ Wh / día ]
0°	102.169	279.9
10°	102.954	282.1
20°	103.090	282.4
30°	102.587	281.1
40°	101.593	278.3
50°	100.046	274.1
60°	98.070	268.7
70°	95.821	262.5
80°	93.330	255.7
90°	90.340	247.5
100°	87.808	240.6
110°	85.112	233.2
120°	82.512	226.1
130°	80.161	219.6
140°	78.223	214.3
150°	76.596	209.9

Se estima que como mínimo a lo largo del día uno de los paneles recibirá radiación directa logrando la producción señalada, sin embargo, en diferentes momentos del día, el mismo sistema producirá sombras que limiten o eviten la producción de algún panel.

Para el análisis de las sombras mencionadas se utilizan los programas de Inventor Auto CAD, donde se genera un símil del aerogenerador donde se proyectan las sombras que generan en la obstrucción de las palas y el eje, con respecto a las palas restantes, por otra parte, con ayuda del programa Excel se ven las longitudes de las sombras proyectadas durante la madrugada, considerando la primera hora del día como aquella que el sol da a 0° sobre la superficie de las palas, posteriormente este sube 15° por hora (según literatura), además de estudiarse el ángulo exacto donde la sombra de las palas y del eje deja de afectar la radiación que llega a los paneles. Para lo anterior es importante saber que, la distancia de pala a pala es de 2.25 [m] y la del eje a cada pala es el radio de giro (1.5 [m]).

Se destaca el hecho que se considera a 90° cuando el sol marque las 12:00 y que los cálculos de la tarde en lo que a largo de sombra respecta se omiten, pues son equivalentes a la sombra expuesta durante la madrugada, pero en dirección opuesta.



Para el cálculo se utiliza la ecuación del seno, como se expone en la siguiente figura (considerando el punto amarillo, como el sol):

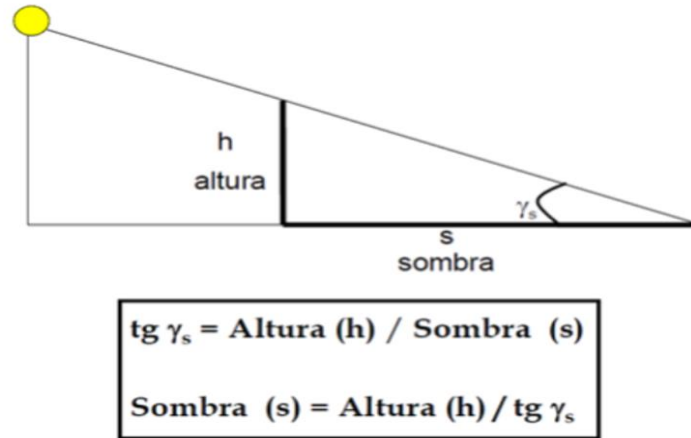


Figura 5.3: Ecuación para la obtención de la sombra. (Extraído de [58])

Siguiendo la fórmula presentada se exponen 2 tablas, la sombra creada por las palas y la creada por el eje, ambas con el caso crítico respectivo.

Se destaca que se expone una altura igual para las palas y el eje, pues es esa sección la que le dará sombra a las palas en cuestión.

Sombras proyectadas por el eje hacia las palas:

Tabla 5.7: Sombra que proyecta el eje.

Caso	Ángulo [°]	Sombra [ m ]
Caso 1	0°	
Caso 2	15°	6.72
Caso 3	30°	3.12
Caso 4	45°	1.80
Caso 5	60°	1.04
Caso 6	75°	0.48
Caso 7	90°	0
Caso Crítico	50.19°	1.50

Sombras proyectadas por una pala hacia las palas restantes:

Tabla 5.8: Sombra que proyecta una pala.

Caso	Ángulo [°]	Sombra [ m ]
Caso 1	0°	
Caso 2	15°	6.72
Caso 3	30°	3.12
Caso 4	45°	1.80
Caso 5	60°	1.04
Caso 6	75°	0.48
Caso 7	90°	0
Caso Crítico	38.65°	2.25

A continuación, se expondrán algunos de los casos de las sombras, se mencionará en cada uno de ellos la inclinación (ángulo) del sol. La escala que se utilizará es de 1:10 donde 1 [mm] es equivalente a 1 [cm]. (para el caso de la sombra que produce a 0° no se mostrará una línea tan prolongada.

Los ángulos expuestos representan la variación en grados de la pala 1 (puesta en rojo) con respecto al eje, las muestras se expondrán en conjunto de 3 casos.

Las líneas de color amarillo representan la sombra que proyecta el eje, por otro lado, la de color lila representa la sombra que proyecta la pala frontal, pues las otras palas si bien producen sombra esta no interfiere con otro panel.

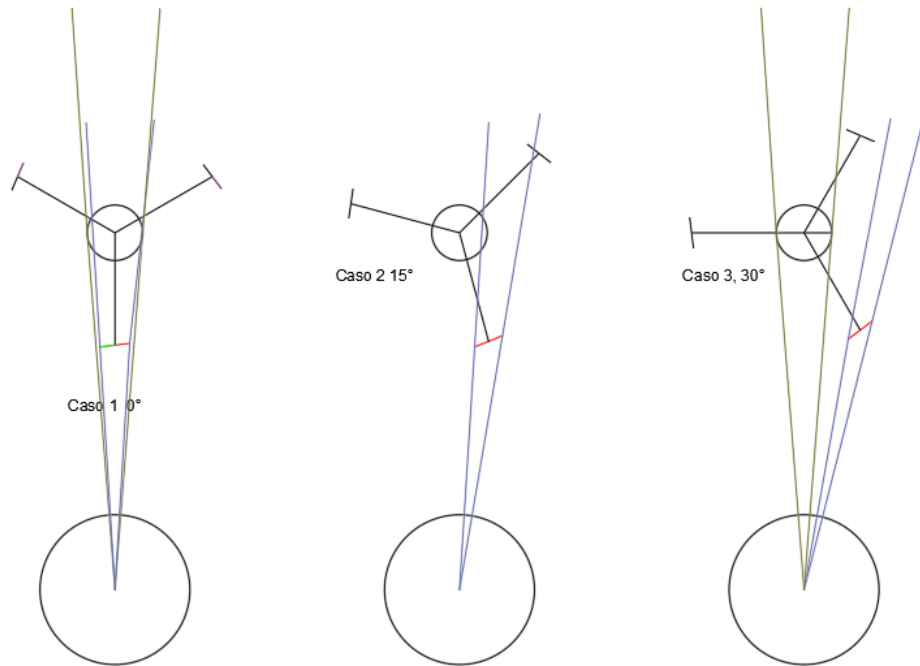


Figura 5.4: Sombra proyectada con el sol a  $0^\circ$ .

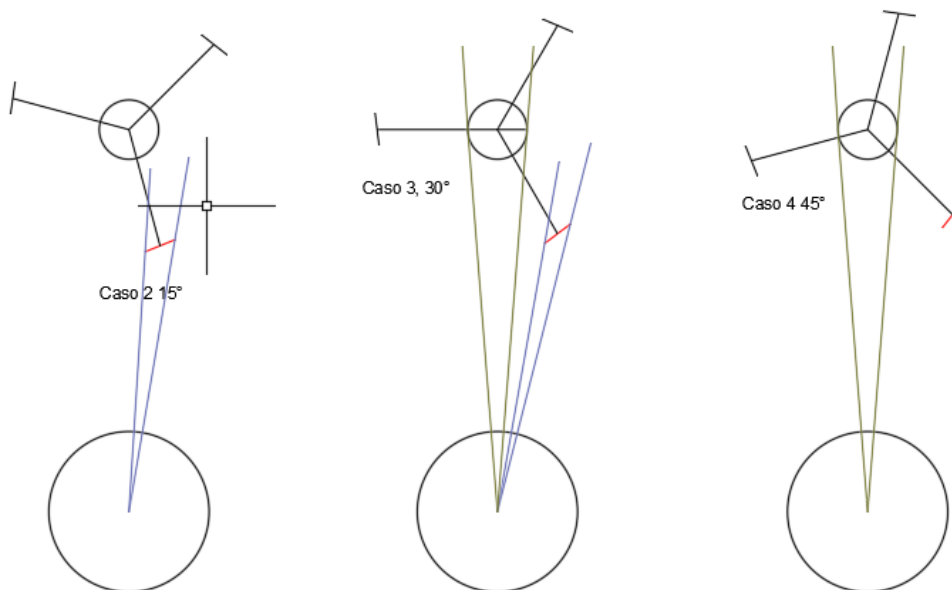


Figura 5.5: Sombra proyectada con el sol a  $60^\circ$ .

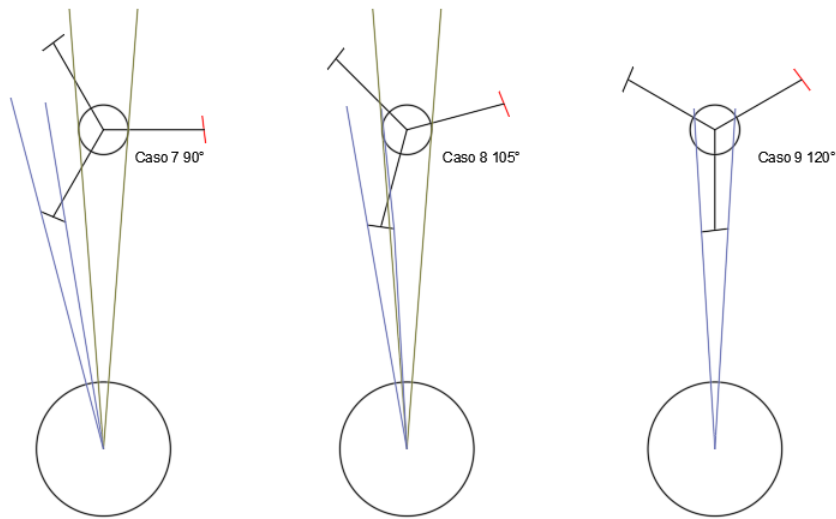


Figura 5.6: Sombra proyectada con el sol a  $45^\circ$ .

Si bien, el sistema estará en constante movimiento, se le considera un punto inicial; el cual se presenta cuando la pala 1 muestra un ángulo de  $0^\circ$  (que un panel apunta directamente por donde sale el sol). Las palas se presentan con un desfase de  $120^\circ$ , es por ello que, al transcurrir una rotación de los  $120^\circ$  respecto al eje, el sistema hace una postura equivalente a cuando se encuentra a  $0^\circ$ , por ello se puede considerar que la “segunda” o “tercera” pala tomará el rol de la pala 1 tras una rotación de  $120^\circ$  y  $240^\circ$ , respectivamente.

Las sombras posteriores a las 12:00 se presentan de forma diferente a las matutinas. Antes de la hora mencionada, las sombras solo tapan a una de las palas, sin embargo, por la tarde con las condiciones señaladas se modifican los momentos donde se tapan las otras palas.

Las figuras anteriores muestran casos por la mañana. A continuación, se exponen los rangos donde producen los paneles que reciben una radiación de forma directa, para ello se exponen 2 casos:

- Caso 1: Donde las 3 palas tengan un panel que recibe radiación de forma directa. En este caso se expone que la producción de las palas es 3 de 3.
- Caso 2: Donde una de las palas sufre del efecto sombra (por el eje u otra pala). Para este suceso se expone que la producción de las palas es 2 de 3.

Como se mencionó, son 3 palas con 2 paneles, lo cual da un total de 6 paneles, sin embargo, para el cálculo se desprecian los paneles que no reciben radiación de forma directa, dejando los 3 paneles mencionados en los casos 1 y 2, entendiendo que estos, si logran una producción gracias a radiación por rebote o indirecta, la cual se desprecia para el cálculo total.

Tabla 5.9: Rangos de Ángulo y horarios de sol por la mañana.

Caso	Azimut	$w_s$	Producción de palas
Caso 1	[0° - 16°]	Independiente de la hora del día.	3 de 3
Caso 2	[17° - 28°]	[00:00-08:00]	2 de 3
Caso 3	[29° - 41°]	Independiente de la hora del día.	3 de 3
Caso 4	[42° - 85°]	[00:00-10:00]	2 de 3
Caso 5	[84° - 94°]	Independiente de la hora del día.	3 de 3
Caso 6	[95° - 106°]	[00:00-08:00]	2 de 3
Caso 7	[107° - 120°]	Independiente de la hora del día.	3 de 3

Tabla 5.10: Rangos de Ángulo y horarios de sol por la tarde.

Caso	Azimut	$w_s$	Producción de palas
Caso 1	[0° - 26°]	[14:00-00:00]	2 de 3
Caso 2	[27° - 34°]	Independiente de la hora del día.	3 de 3
Caso 3	[35° - 46°]	[16:00-00:00]	2 de 3
Caso 4	[47° - 76°]	Independiente de la hora del día.	3 de 3
Caso 5	[77° - 88°]	[16:00-00:00]	2 de 3
Caso 6	[89° - 101°]	Independiente de la hora del día.	3 de 3
Caso 7	[102° - 120°]	[14:00-00:00]	2 de 3

Si bien, se aboga por la idea de que no existirá falla mecánica, esta puede llegar a ocurrir. Si tal falla existiera, pueden ocurrir 3 casos.

- Caso A: El aerogenerador queda en una posición. Donde reciba radiación directa las 3 palas durante todo el día, esto ocurriría si el aerogenerador quedara en una posición de 90° respecto a la posición original.
- Caso B: El aerogenerador queda en una posición donde se ve afectado desde los primeros rayos solares hasta las 8:00 am y posteriormente en las tardes exista un bloqueo a partir de las 14:00 hasta el final del día. Un ejemplo de este caso es si quedara el sistema a 105°.

- Caso C: El sistema se frena y deja de funcionar en una posición de  $45^\circ$  en esta situación al igual que en la anterior, 2 de las 3 palas obtienen radiación directa, sin embargo, en este caso, es el eje quien bloquea a los paneles por la mañana, por ello, la sombra matutina se da hasta las 10:00, y la sombra de la tarde; la cual ocurre por un álabe, se produce a partir de las 16:00 horas.

Para representar estos 3 casos, se eligen 2 días, el de mayor y el de menor producción anual, dejando los siguientes resultados, con el respectivo porcentaje de producción, con respecto al caso óptimo.

Día de máxima producción (08-04-2023):

Tabla 5.11: Producción del mejor día del año, para los casos (A, B y C).

Caso	Azimut	Producción total [Wh]	Porcentaje [%]
Caso A	$90^\circ$	1.042	100
Caso B	$105^\circ$	931	89
Caso C	$45^\circ$	906	87

Tabla 5.12: Producción del peor día del año, para los casos (A, B y C).

Caso	Azimut	Producción total [Wk]	Porcentaje [%]
Caso A	$90^\circ$	115	100
Caso B	$105^\circ$	108	94
Caso C	$45^\circ$	95	83

De estas tablas se puede apreciar que de los casos B y C (desfavorables), el B es el mejor de ellos (en producción), este ocurre cuando la pala bloquea por la mañana y el eje por la tarde. Esto se puede deber al hecho que el sol las 3 primeras horas de la mañana, permite mayor producción que las 3 últimas horas del día.

Aun quedando en una posición desfavorable la producción total no baja del 83%, lo cual implica que en el peor de los casos la producción del área solar es de 218.302 [W /año].

### 5.3 Resultados híbridos.

La producción combinada de los sistemas, es imposible de predecir a un nivel exacto, esto pues el viento moverá el aerogenerador y no se puede predecir en qué posición quedarán las palas. Lo cual no quiere decir que no se pueda dar un resultado estimado. Si se asume que el aerogenerador se mueve grado a grado, existen 360 casos posibles, de los cuales se puede apreciar que el suceso más probable de la madrugada (y tarde) es aquel donde 2 de los 6 paneles logran la producción en su totalidad y los otros 4, o bien son tapados o producen por radiación de rebote (la cual se mencionó que será despreciada). Durante el rango horario de las 10 am hasta antes de las 14:30 aproximadamente, la sombra tanto del eje, como de las palas no tapa los paneles presentes en ellas, siendo este rango horario, el de mayor radiación. De esta manera, considerando lo anterior, se puede estimar una producción de 3 paneles a lo largo del día logrando un resultado satisfactorio.

Para la producción del conjunto se sumarán el aerogenerador el cual se expone como  $P_u$ , un panel a  $0^\circ$  representado por  $P_{p1}$  uno a  $120^\circ$  ( $P_{p2}$ ) y un último a  $-120^\circ$  ( $P_{p3}$ ).

$$P_{total} = P_u + P_{p1} + P_{p2} + P_{p3} [Wh/año]$$

$$P_{total} = 182.765 + 102.169 + 82.512 + 78.334$$

$$P_{total} = 445.780 [Wh/año]$$

Para demostrar de mejor manera la producción del sistema híbrido en su totalidad, se exponen los resultados mes a mes, en la siguiente tabla.

Tabla 5.13: Producción mensual del sistema y energías por separado.

Mes	Producción Eólica [Wh/mes]	Producción Solar [Wh/mes]	Producción Sistema [Wh/mes]
Noviembre (2022)	14.415	12.675	27.090
Diciembre (2022)	11.850	10.289	22.139
Enero (2023)	24.220	13.471	37.691
Febrero (2023)	19.514	16.054	35.568
Marzo (2023)	18.038	24.923	42.961
Abril (2023)	15.551	28.445	43.996
Mayo (2023)	10.439	26.300	36.739
Junio (2023)	11.105	27.789	38.893
Julio (2023)	13.832	30.224	44.056
Agosto (2023)	14.062	28.544	42.606
Septiembre (2023)	12.787	24.720	37.508
Octubre (2023)	16.954	19.580	36.533

Se puede apreciar que la producción eólica es menor que la solar exceptuando los meses de invierno. En el primer mes del 2023 la producción eólica es significativamente mayor a la solar.

Por una parte, el resultado es satisfactorio, esto se debe a que la intención inicial es la producción de un mínimo de 50 [W h] cuando el área eólica logre una producción óptima, esta cantidad se podría producir aun con el sistema estático. En segundo lugar, el sistema solar logra una mayor producción a nivel anual, aun considerando que los paneles no están colocados en una posición óptima para la captación, pero, con el beneficio de lograr una producción durante todas las horas que el sol se encuentre presente.

Un buen análisis para continuar, es realizar cálculos de cuanto lograrían producir paneles estáticos colocados en la parte superior del edificio con la inclinación y ángulo óptimos para esa zona geográfica.

Para conocer la posible producción de los paneles cada hora y en los 360° del aerogenerador (respecto al sol) se fabricó una planilla en Excel “*Produccion paneles en palas*” donde se pueden modificar la fecha, hora y el ángulo de incidencia pala 1 (P1).

La cual será anexada en la entrega de la memoria.



## CAPÍTULO 6: Análisis de viabilidad.

### 6.1 Costos:

Para la producción de un aerogenerador este se puede dividir en partes.

- Palas: Para las palas se requiere de fibra de vidrio (la cual se vende por *kg*) y resina (que se vende por kg).
- Sujetadores: Requieren lo mismo que las palas.
- Eje: Este debe ser de acero inoxidable (el cual se vende por kg).
- Generador.
- Rotor.

Para la producción solar, se requiere:

- Inversor.
- Paneles.

Tabla 6.1: Costos por partes.

Elementos requeridos	Parte del sistema.	Costo en pesos chilenos.	Cantidad requerida.
Fibra de vidrio	Palas y sujetadores	2.981	10
Resina	Palas	10.621	2
Acero inoxidable	Eje	28.490	1
Generador	Generador	202.000	1
Rotor	Generador	84.900	2
Inversor	Generador	31.754	1
Paneles	Solar	55.000	6

Finalmente, el costo total asciende a 813.096, a este valor se le suma un 8% en costos de envío, dejando un valor de 878.144 pesos chilenos.

Este valor se debe pasar a la moneda local donde se encuentra el Pabellón Olímpico de Badalona, dejando un coste de 851 euros a fecha del 03-04-2024.

## **6.2 Venta:**

En España el servicio de electricidad tiene un costo medio de 0,145 euros por kWh.

El sistema híbrido logra una generación de 445,78 kWh que representa 64,63 euros anuales. Lo cual indica que al año 14 el sistema genera ganancias. Este tiene una vida útil de 20 años, lo cual reporta una ganancia final de 387,78 euros.

Las ganancias no son satisfactorias, por ello se puede evaluar la idea de incrementar el tamaño de las palas, puesto que estas son lo más económico materiales de fabricación, y en la ecuación la producción (8) aumenta proporcionalmente al incremento del área de las palas. Esto permitirá colocar paneles de mayor tamaño, lo cual lograría una mayor generación energética.

## **6.3 Sigüientes investigaciones:**

- Se recomienda continuar con una investigación en el área eléctrica, donde se pueda determinar cuál es la mejor forma de almacenar la energía con las condiciones españolas, junto con encontrar una opción razonable para la elección de inversores, dependiendo de la cantidad de sistemas a colocar.
- Se recomienda realizar un diseño completo del sistema, donde se tengan en cuenta el sistema de engranajes para la generación de energía. Se puede probar con engranes de escala 1:1 como inicio y luego realizar iteraciones para encontrar el mejor par para el sistema en cuestión. Tras ello realizar pruebas de fabricación a escala, con la finalidad de saber si el sistema cumple con lo mencionado o se requiere de alguna modificación en el diseño.
- En lo que respecta al sistema en cuestión, se recomienda la creación del sistema completo, con las 2 propuestas anteriores cubiertas, para de esta forma, llevar a cabo un análisis crítico con la puesta en marcha del sistema, el cual debe ser sometido a sistemas de control.
- Para una comparación se puede realizar un aerogenerador del tipo HAWT, colocando paneles en el eje y evaluar las producciones de estos 2 sistemas y llevarlo a una tabla comparativa.

## **CAPÍTULO 7: Conclusión.**

Las energías verdes son el presente y el futuro para la humanidad, es por ello que como sociedad debemos tomar conciencia, darles más visibilidad y propender a un desarrollo superior en el futuro próximo, con la meta de lograr lo pactado en el tratado de París (producción energética verde igual al 100% de las energías utilizadas, para el año 2030). La energía verde en España y en Cataluña, está creciendo exponencialmente y todo aporte a este proceso ayuda a lograr el objetivo de un planeta libre de CO<sub>2</sub>.

El sistema híbrido calculado logrará aportar a una transformación ecológica del Pabellón Olímpico de Badalona, y apoyará a su necesidad energética, sin embargo, como se menciona, no se puede saber la producción exacta del sistema, debido a la imposibilidad de predecir el viento.

El diseño preliminar expuesto cumple los requisitos solicitados (condiciones de trabajo), con eso cubierto al desarrollar el cálculo con apoyo de los datos entregados por el centro meteorológico, se muestra que la producción total corresponde a 445.780 [Wh/año] lo cual equivale a una producción como sistema híbrido de 50 [Wh].

Por su parte el área eólica logra 41% de la producción total (182.765[Wh/año]), mientras que el área solar logra el restante 59% (263.015[Wh/año]). Considerando que la variación climática entre un año y otro no es tan abrupta, la inversión se recupera a un plazo muy largo y deja una ganancia mínima para el pabellón, todo esto a falta de la parte eléctrica que se debe desarrollar antes de seleccionar o descartar en su totalidad la implementación del sistema. En conjunto a lo anterior, se debe hacer un análisis de caso donde, se estudie la instalación de más de un aerogenerador, esto para comprobar si la presencia de varios sistemas mejora la producción debido a los aires turbulentos.

La investigación de las sombras se debe mejorar analizando en que momentos produce el panel completo, una parte del mismo o directamente no produce, pues como se explicó para el caso de este estudio en cualquier ángulo donde le diera un poco de sombra a uno de ellos se descarta la producción total de este. Esto en la práctica es incorrecto, sin embargo, para casos de análisis preliminares como la presente memoria, se toma como un error aceptable, ello demuestra que la producción del área solar puede ser mayor que la expuesta en la hoja de cálculos (adjunta) realizada en Excel.

Considerando que la producción solar es un 18% superior a la eólica y que la instalación de los paneles es más sencilla que la de un aerogenerador, se recomienda como opción la instalación de paneles solares a lo largo del tejado del POB o modificar el diseño del aerogenerador, aumentando el área de las palas, con la finalidad de una captación eólica superior y permitiendo colocar paneles de mayores dimensiones incrementando la producción energética en ambos sistemas.

## Referencias

- [1] T. e I. para el D. Observatorio de la Energía, “Relación entre el Índice de Desarrollo Humano y el consumo eléctrico por persona,” Jul. 19, 2016.
- [2] *España - Consumo de electricidad*. (n.d.). Datosmacro.com. Retrieved October 2, 2023, from <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo/espana>
- [3] De emisiones, E. C. P. 29 904 G. de E. L., & De nuestro país, la M. C. (n.d.). *Cataluña, la región que más energía produce sin emisiones de gases de efecto invernadero*. Ree.Es. Retrieved October 2, 2023.
- [4] Euroinnova Business School. (2021, May 4). *La importancia de las energías renovables*. Euroinnova Business School. <https://www.euroinnova.cl/blog/la-importancia-de-las-energias-renovables>
- [5] Biokima, D. (2018, June 7). *La importancia del uso de las energías renovables*. Distribuciones Biokima España S.L. <https://biokima.com/la-importancia-de-las-energias-renovables/>
- [6] *¿Qué son los ODS?* (n.d.). mma.gob.cl. Retrieved October 13, 2023, from <https://ods.mma.gob.cl/que-son-los-ods/>
- [7] *Pabellón Olímpico de Badalona - Gina Barcelona Architects*. (2019, 13 diciembre). Gina Barcelona Architects. <https://www.ginabarcelona.com/proyectos/olympic-pavilion-in-badalona/?lang=es#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20edificio,dimensiones%20de%20150m%20x%20100m>.
- [8] Leskow, E. C. (2021, 30 septiembre). *Leyes de la Termodinámica: características y ejemplos*. Enciclopedia Humanidades. <https://humanidades.com/leyes-de-la-termodinamica/#:~:text=Al%20suministrar%20una%20cantidad%20determinada,%3A%20%CE%94U%20%3D%20Q%20%E2%80%93%20W>.
- [9] Quiroa, M. (2019, octubre 9). *Energía no renovable*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/energia-no-renovable.html>
- [10] *Los recursos potencialmente renovables naturales por Silvia R. 4ºD*. (s/f). Prezi.com. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://prezi.com/p/9mlnne03uxdt/los-recursos-potencialmente-renovables-naturales-por-silvia-r-4od/>
- [11] (S/f). Recuperado el 24 de enero de 2024, de <http://alhttps://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables>
- [14] *Producción eléctrica en España por tipo en 2022*. (s/f). Statista. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://es.statista.com/estadisticas/993747/porcentaje-de-la-produccion-de-energia-electrica-por-fuentes-energeticas-en-espana/>
- [15] *El Acuerdo de París*. (s/f). Unfccc.int. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>

- [16] *Evolución demanda*. (s/f). Sistemaelectrico-ree.es. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/demanda/evolucion-demanda>
- [17] *Balance de energía eléctrica de Cataluña*. (s/f). Instituto Catalán de Energía. Recuperado el 24 de enero de 2024, de [https://icaen.gencat.cat/es/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc\\_energia/index.html](https://icaen.gencat.cat/es/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energia/index.html)
- [18] De emisiones, E. C. P. 29 904 G. de E. L., & De nuestro país, la M. C. (s/f). *Cataluña, la región que más energía produce sin emisiones de gases de efecto invernadero*. Ree.es. Recuperado el 24 de enero de 2024, de [https://www.ree.es/sites/default/files/07\\_SALA\\_PRENSA/Documentos/2023/NP\\_Cataluna.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/07_SALA_PRENSA/Documentos/2023/NP_Cataluna.pdf)
- [19] Arguellez, L. M. O. J., & Perfil, V. T. mi. (s/f). *ENERGIA EOLICA*. Blogspot.com. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <http://luisajessica.blogspot.com/2009/11/marco-teorico.html>
- [20]. *Marco Teorico*. (s/f). Scribd. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://es.scribd.com/document/462039470/MARCO-TEORICO>
- [21] Mendoza-Cerón, N., & Rodríguez-Castillo. (s/f). *Diseño de un rotor eólico tipo Darrieus helicoidal*. Ecorfan.org. Recuperado el 24 de enero de 2024, de [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ingenieria\\_Mecanica/vol1num2/ECORFAN\\_Revista%20de%20Ingenier%C3%ADa\\_Mec%C3%A1nica\\_V1\\_N2\\_5.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ingenieria_Mecanica/vol1num2/ECORFAN_Revista%20de%20Ingenier%C3%ADa_Mec%C3%A1nica_V1_N2_5.pdf)
- [22] *Energía eólica marina - ¿Qué es y qué ventajas tiene?* (2023, septiembre 11). REPSOL. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/windfloat/index.cshtml>
- [23] *Inicio - Asociación Empresarial Eólica*. (2021, marzo 25). Asociación Empresarial Eólica. <https://aeeolica.org/>
- [24] *Efecto fotoeléctrico (artículo)*. (s/f). Khan Academy. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/photoelectric-effect>
- [25] *Marco Teorico Energia Solar FV*. (s/f). Scribd. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://es.scribd.com/document/301298890/Marco-Teorico-Energia-Solar-FV>
- [26] *Inversor solar: ¿Qué es y para qué sirve?* - Solcor. (2021, abril 13). Solcor Chile. <https://solcorchile.com/inversor-solar/>
- [27] *Tipos de paneles solares y cómo funciona cada uno*. (2023, septiembre 11). REPSOL. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/tipos-de-placas-solares/index.cshtml>
- [28] *Celda solar tandem CIGS, con mayor eficiencia de energía eléctrica*. (2018, octubre 4). Edu.co. <https://www.manizales.unal.edu.co/manizales/news/celda-solar-tandem-cigs-con-mayor->

- eficiencia-de-energia-electrica/?tx\_news\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\_news\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=26c2d8bb62241700465af5a92aec98ff
- [29] Sanz, M. (2021, julio 21). *El CdTe: La elección fotovoltaica inteligente que sustituye al silicio*. NextCity Labs. <https://nextcitylabs.com/global/es/el-cdte-la-eleccion-fotovoltaica-inteligente-que-sustituye-al-silicio/>
- [30] Solar Roots. (2020, octubre 23). Cómo funciona la energía solar? Instalación de placas solares. *Solar Roots*. <https://solarrootspr.com/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- [31] (S/f). Solarplak.es. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://solarplak.es/energia/que-es-y-como-funciona-un-inversor-de-corriente/>
- [32] *Solar fotovoltaica (Sol)(Potencia)*. (s/f). Sistemaelectrico-ree.es. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-de-energias-renovables/sol/potencia-instalada/solar-fotovoltaica-solpotencia>
- [33] Solar, E. F. C. (2023, febrero 16). *Crecimiento de la energía fotovoltaica en Cataluña en 2023*. Expertos en energía solar fotovoltaica y paneles solares | EFC SOLAR; EFC SOLAR | Instalación de placas solares y energía solar. <https://www.efcsolar.com/energia-solar-fotovoltaica/crecimiento-de-la-energia-fotovoltaica-en-cataluna-en-2023/>
- [34] Corporativa, I. (2020, junio 5). *Energía eléctrica por hibridación: cuando la unión de las renovables hace la fuerza*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-hibrida>
- [35] ACCIONA, pionera en la hibridación de paneles solares con torres eólicas. (2019, mayo 24). smartlighting. <https://smart-lighting.es/accion-a-pionera-la-hibridacion-paneles-solares-torres-eolicas/>
- [36] De las grandes empresas españolas, E. L. E. A. (s/f). *Sin prisa ante la emergencia climática*. Hubspot.net. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/426027/Oxfam-Website/oi-informes/sin-prisa-crisis-climatica.pdf>
- [37] *Los Molinos De Viento Persas De 1000 Años, Que Pueden Dejar De Funcionar Por Falta De Relevó*. (2022, abril 21). EcoInventos; David. <https://ecoinventos.com/molinos-de-viento-persas-de-nashtifan/>
- [38] Antezana Nuñez, Juan., *Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical*. (2004).
- [39] Buñuel, S. R. (2023, diciembre 11). Historia Del Panel Solar: ¿cómo Nació Y Cuál Ha Sido Su Evolución? - Solfy.net. *Solfy.net*. <https://solfy.net/placas-solares/historia-del-panel-solar/>
- [40] *Desarrollan biopanel solar con algas que purifica el aire*. (s/f). Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://news.solliclima.com/noticias/energia-solar/desarrollan-biopanel-solar-con-algas-que-purifica-el-aire>

- [41] Kwok, S. (2021, octubre 10). *¿Qué son los paneles solares de telururo de cadmio (CdTe)? ¿Cómo se comparan con otros paneles?* Solarbuy.com. <https://es.solarbuy.com/solar-101/cdte-cadmium-telluride-solar-panels/>
- [42] *Paneles Solares: Reciclaje como una alternativa amigable con el medioambiente cuando se acaba su vida útil.* (2021, mayo 31). Santotomas.cl. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://enlinea.santotomas.cl/investigacion/paneles-solares-reciclaje-como-una-alternativa-amigable-con-el-medioambiente-cuando-se-acaba-su-vida-util/215858/>
- [43] Cristóbal, J., & Nuñez, A. (2012). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical.* Wwww.uv.es. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Aerogen-vertical.pdf>
- [44] de la Ingeniería, T. P. O. al G. de M. en C. (2012). *METODOLOGÍA PARA CÁLCULO DE CURVA DE POTENCIA DE TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL.* Repositorio.uc.cl. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://repositorio.uc.cl/server/api/core/bitstreams/ac034344-876f-4ff4-9f42-18d60b68ee22/content>
- [45] Fraire, D. J. (2020, octubre 29). *DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL PARA USO URBANO DE 3 KW.* Edu.ar. Recuperado el 24 de enero de 2024, de [https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/4609/Dise%C3%B1o%20de%20un%20aerogenerador%20de%20eje%20vertical%20para%20uso%20urbano%20de%203kw\\_Fraire.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/4609/Dise%C3%B1o%20de%20un%20aerogenerador%20de%20eje%20vertical%20para%20uso%20urbano%20de%203kw_Fraire.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [46] Andres Escalona Inzunza. (2022) *capito 3 proyectos fotovoltaicos.*
- [47] *Cigs Película Delgada Amorfa Flexible 50w 60w 80w 100w 120w 130w 160w 200 W 200 W 250w 300w 350w 380w 400w 430w 450w 500w Solar Panel - Buy Customize Cigs Thin Film Flexible Solar Panel 75w 510w Rollable Solar Panel,High Efficiency Cigs Flexible Solar Panel Rollable 100w 120w 300w Flexible Solar Panel,Cigs Flexible Solar Panel 500w 490w 480w Thin Film Flexible Solar Panels Product on Alibaba.com.* (s/f). Alibaba.com. Recuperado el 24 de enero de 2024, de [https://spanish.alibaba.com/p-detail/cigs-1600888035218.html?spm=a2700.shop\\_plgr.41413.39.62d278ba2e4a0u](https://spanish.alibaba.com/p-detail/cigs-1600888035218.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.39.62d278ba2e4a0u)
- [48] *75W 80W cigs flexible solar panel - green system.* (s/f). 企业. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://www.pvgreensystem.com/product/75w-80w-cigs-flexible-solar-panel/>
- [49] *Turbina Generador eólico eje vertical 300w 12v.* (s/f). Starkee. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://www.starkee.cl/inicio/362-turbina-generador-eolico-eje-vertical-300w-12v.html>
- [50] *SMARAAD SH 1KW 2kw 3kw 5kw 10kw 15kw 20kw 30kw 50KW Wind Turbine-Wuxi Smaraad New Energy Technology Co., Ltd.* (s/f). Smaraad.com. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://en.smaraad.com/ProDetail.aspx?ProId=33>

- [51] (S/f). Galaxywindturbine.com. Recuperado el 24 de enero de 2024, de <https://galaxywindturbine.com/product/en/100W200W300W500W800W1KW2KW3KW5KW10KWOffgridGridVerticalAxisHWindTurbinePowerGenerationSystem.html>
- [52] Agriculture, G. S. F. (2015, 23 julio). *What's up with wind turbines?* Governor's School for Agriculture. <https://govschoolagriculture.com/2015/07/24/whats-up-with-wind-turbines/>
- [53] Unknown. (s. f.). *Tipos de aerogeneradores.* <https://energiaeolica1101.blogspot.com/2015/03/tipos-de-aerogeneradores.html>
- [54] Sebastian, E., & Sebastian, E. (2022, 7 noviembre). *Efecto fotovoltaico en un panel solar.* Eliseo Sebastian - Energía Solar. <https://eliseosebastian.com/efecto-fotovoltaico-en-un-panel-solar/>
- [55] Nuevo, D. (2023, 5 octubre). *Las tejas solares: invisibles y más eficientes.* esenergia. <https://esenergia.es/tejas-solares/>
- [56] Gomez, T. (2023, 25 mayo). Mexicano crea paneles solares de algas que generan energía y oxígeno. *Cerebro Digital.* <https://cerebrodigital.net/mexicano-crea-paneles-solares-de-algas-que-generan-energia-y-oxigeno/>
- [57] de la Ingeniería, T. P. O. al G. de M. en C. (s/f). *METODOLOGÍA PARA CÁLCULO DE CURVA DE POTENCIA DE TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL.* Repositorio.uc.cl. Recuperado el 26 de enero de 2024, de <https://repositorio.uc.cl/server/api/core/bitstreams/ac034344-876f-4ff4-9f42-18d60b68ee22/content>
- [58] Portillo, G. (2019, 20 febrero). Azimut. *Meteorología en Red.* <https://www.meteorologiaenred.com/Azimut.html>
- [59] *Balance de energía eléctrica de Cataluña.* (s. f.). Instituto Catalán de Energía. [https://icaen.gencat.cat/es/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc\\_energia/index.html#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20bruta%20de%20energ%C3%ADa,2%25%20de%20la%20producci%C3%B3n%20total.](https://icaen.gencat.cat/es/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energia/index.html#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20bruta%20de%20energ%C3%ADa,2%25%20de%20la%20producci%C3%B3n%20total.)
- [60] *NACA 0018 (NACA0018-IL).* (s. f.). <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0018-il>
- [61] De la Plaza, I. M. (2023, 13 junio). *Energía eólica del origen a la II Guerra Mundial / OpenMind.* OpenMind. <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/historia-energia-eolica-origen-ii-guerra-mundial/#:~:text=El%20desarrollo%20pionero%20de%20la,5%20kW%20y%2025%20kW.>
- [62] *Cómo funciona un inversor: esquema y funcionamiento.* (s. f.). MPPTSOLAR. <https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>



[63] *Energía solar: qué es, características y ventajas principales*. (2023, September 11). REPSOL. [https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshhtml?gclid=Cj0KCQjw1OmoBhDXARIsAAAYGSGL7t26MQ7ddoB6ELqO\\_TuhtFPsJP5it6BewpiJ7fCH9R3JVDbO8dIaApfQEALw\\_wcB](https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshhtml?gclid=Cj0KCQjw1OmoBhDXARIsAAAYGSGL7t26MQ7ddoB6ELqO_TuhtFPsJP5it6BewpiJ7fCH9R3JVDbO8dIaApfQEALw_wcB)

[64] Darling, D. (s. f.). *tip speed ratio*. [https://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE\\_tip\\_speed\\_ratio.html](https://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_tip_speed_ratio.html)

## Anexo A: Tablas y gráficos energéticos de España y Barcelona.

Tabla A.1: Producción energética en España.

Forma de generación	%	GW h
Ciclo combinado	24,7	68.251
Eólica	22,1	61.067
Nuclear	20,3	56.093
Hidráulica	6,5	17.961
Cogeneración	6,4	17.685
Solar fotovoltaica	10,1	27.908
Carbón	2,8	7.737
Solar térmica	1,5	4.145
Turbinación de bombeo	1,4	3.869
Motores diésel	0,9	2.487
Residuos no renovables	0,7	1.934
Turbina de vapor	0,4	1.105
Turbina de gas	0,2	553
Residuos renovables	0,3	829
Otras renovables	1,7	4.697
Total	100	276.320

Esta tabla entrega los datos detallados de la figura 2.1.

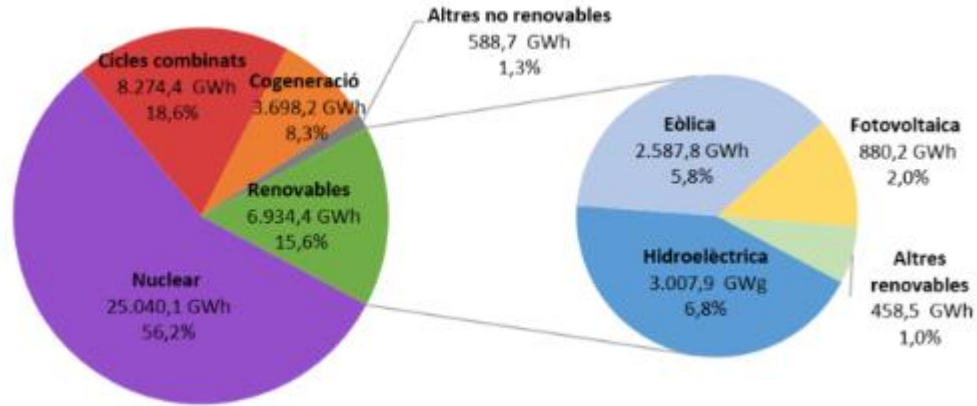


Figura A.1 Gráficos producción energética Barcelona. (Extraído de [59])

Tabla A.2: Producción de energía en Barcelona.

Forma de generación	%	GW h
Nuclear	56.2	20.040
Ciclos combinados	18.6	8.274
Renovables	15.6	6.934
Cogeneración	8.3	3.698
Otras no renovables	1.3	589

A continuación, se presenta la tabla de la producción de las energías verdes, que corresponden al 15.6%, los porcentajes totales suman esa cantidad.

Tabla A.3: Producción de energía verde en Barcelona.

Forma de generación	%	GW h
Hidroeléctrica	6.8	3.008
Eólica	5.8	2.588
Fotovoltaica	2.0	880
Otras renovables	1.0	458
Total	15.6	6.934

## Anexo B: Información específica de la pala NACA 0018.

Tabla B.1: Coordenadas figura 2D NACA 0018.

NACA 0018	
1.0000	0.00189
0.9500	0.01210
0.9000	0.02172
0.8000	0.03935
0.7000	0.05496
0.6000	0.06845
0.5000	0.07941
0.4000	0.08705
0.3000	0.09003
0.2500	0.08912
0.2000	0.08606
0.1500	0.08018
0.1000	0.07024
0.0750	0.06300
0.0500	0.05332
0.0250	0.03922
0.0125	0.02841
0.0000	0.00000
0.0125	-0.02841
0.0250	-0.03922
0.0500	-0.05332
0.0750	-0.06300
0.1000	-0.07024
0.1500	-0.08018
0.2000	-0.08606
0.2500	-0.08912
0.3000	-0.09003
0.4000	-0.08705
0.5000	-0.07941
0.6000	-0.06845
0.7000	-0.05496
0.8000	-0.03935
0.9000	-0.02172
0.9500	-0.01210
1.0000	-0.00189

Si se desea fabricar el diseño en 2D de la pala NACA 0018, se pueden ingresar los siguientes puntos a un programa de dibujo, como se expone en la tabla B.1.

A continuación, se expondrán las gráficas que entrelazan los coeficientes aerodinámicos  $C_l$ ,  $C_d$ ,  $C_m$  y el ángulo de inclinación de la pala Alfa, estos son extraídos directamente de la página Airfoil tools.

Donde:

- $C_l$ : Coeficiente de sustentación.
- $C_d$ : Coeficiente de resistencia.
- $C_m$ : Coeficiente de momento.

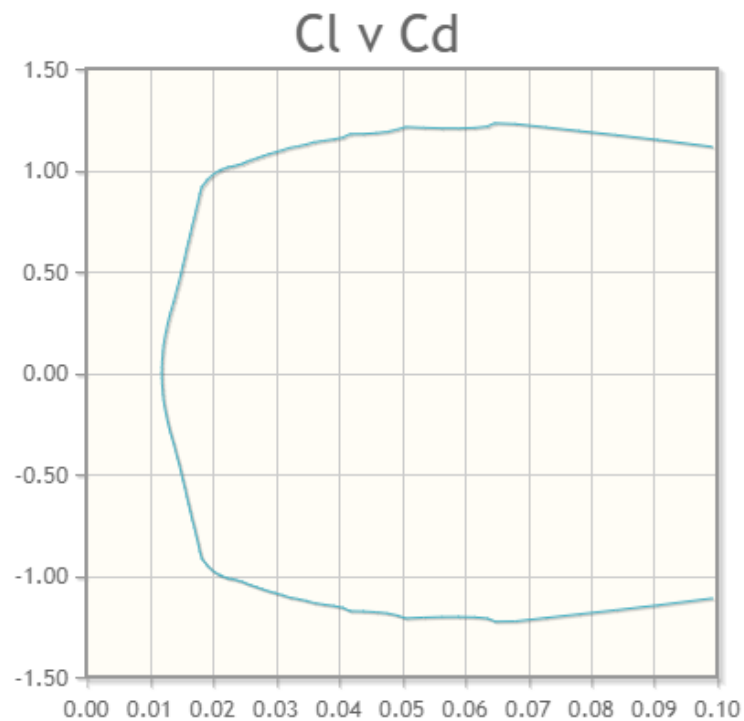


Figura B.1: Coeficiente de sustentación v/s Coeficiente de resistencia. (Extraído de [60])

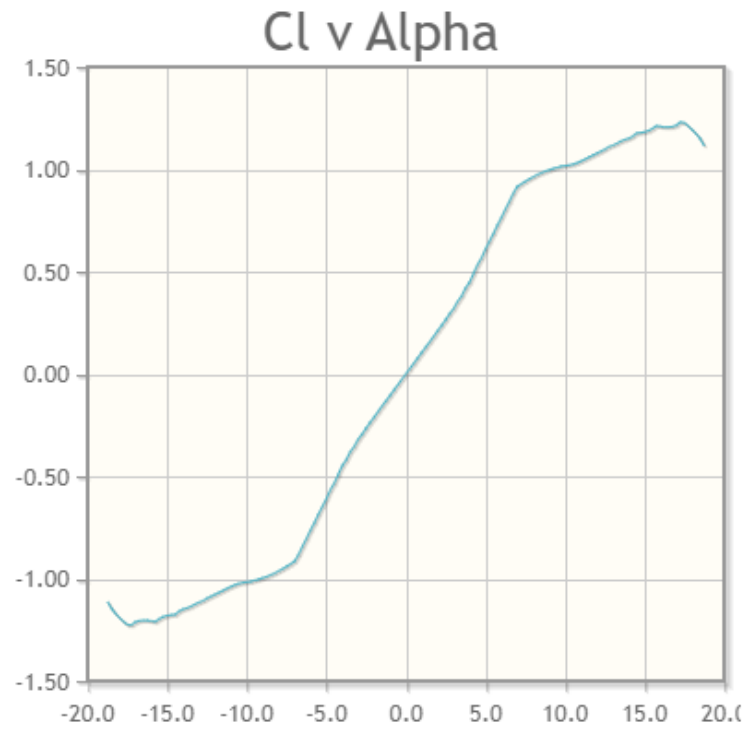


Figura B.2: Coeficiente de sustentación v/s ángulo alfa. (Extraído de [60])

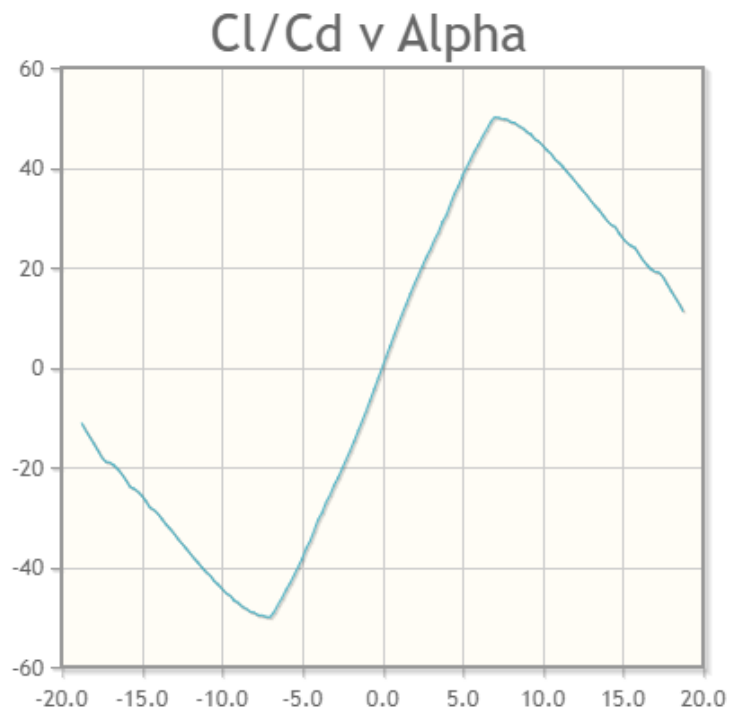


Figura B.3: Razón Coef. de sustentación/Coef. de resistencia v/s ángulo alfa. (Extraído de [60])

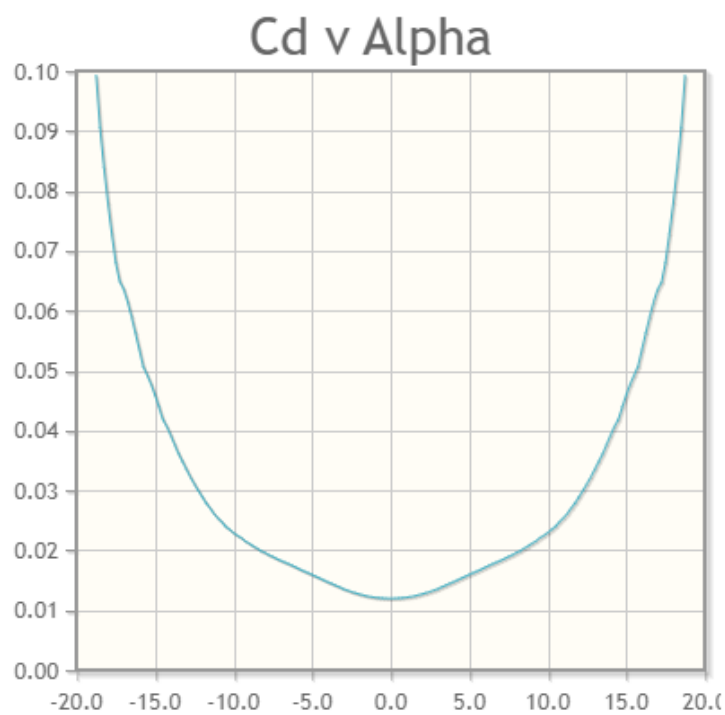


Figura B.4: Coeficiente de resistencia v/s ángulo alfa. (Extraído de [60])

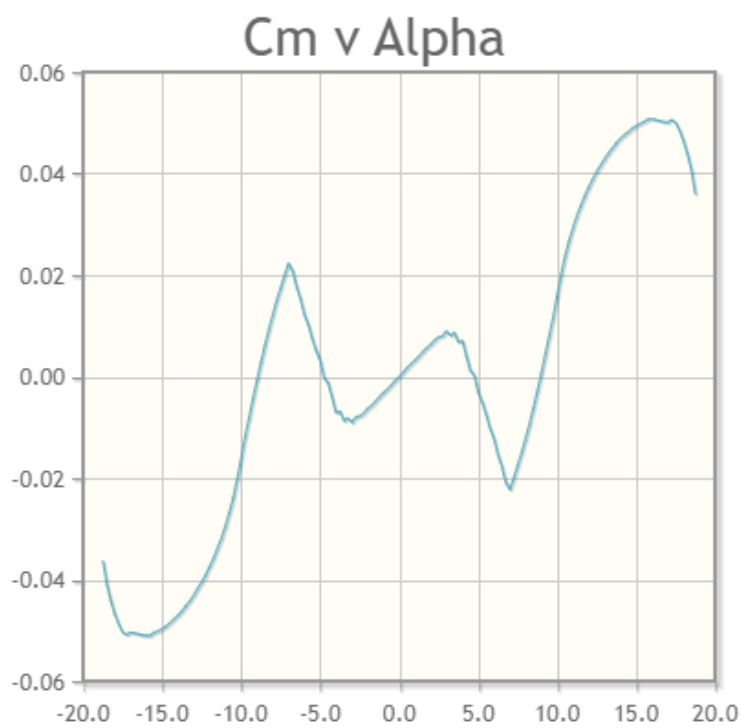


Figura B.5: Coeficiente de momento v/s ángulo alfa. (Extraído de [60])

## Anexo C: Tablas de cálculos.

### C.1: Cálculos aerogeneradores.

Para la obtención del  $C_p$  se utilizaron los siguientes datos.

Tabla C.1: Cálculos obtención  $C_p$ .

TSR	$C_p$ sin modificar	$C_p$ modificado.
0	0,000	0
1	0,398	0
2	0,387	0
3	0,375	0,113
4	0,364	0,364
5	0,352	0,352
6	0,340	0,340
7	0,328	0,328
8	0,317	0,317
9	0,305	0,092
10	0,293	0,029

Para demostrar los cálculos del viento se expone el seguimiento a los datos de las 5 primeras horas de los 5 primeros días del mes de noviembre del año 2022.

Tabla C.2: Viento en km/h.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
00:00 - 00:30	6,8	6,1	10,8	15,5	25,9
00:30 - 01:00	7,9	6,1	9	10,1	21,6
01:00 - 01:30	8,6	6,1	10,1	14,4	16,9
01:30 - 02:00	6,8	6,1	9	11,9	19,1
02:00 - 02:30	6,5	2,5	10,4	7,6	20,9
02:30 - 03:00	9,4	5,4	10,1	10,8	22
03:00 - 03:30	10,1	3,2	8,6	10,1	20,5
03:30 - 04:00	10,1	5	10,8	10,8	25,6
04:00 - 04:30	9	7,2	9,7	8,6	27
04:30 - 05:00	8,3	5,8	9,4	3,6	20,5



Tabla C.3: Viento en m/s.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
00:00 - 00:30	0	0	3,000	4,306	7,194
00:30 - 01:00	2,194	0	2,500	2,806	6,000
01:00 - 01:30	2,389	0	2,806	4,000	4,694
01:30 - 02:00	0	0	2,500	3,306	5,306
02:00 - 02:30	0	0	2,889	2,111	5,806
02:30 - 03:00	2,611	0	2,806	3,000	6,111
03:00 - 03:30	2,806	0	2,389	2,806	5,694
03:30 - 04:00	2,806	0	3,000	3,000	7,111
04:00 - 04:30	2,500	2,000	2,694	2,389	7,500
04:30 - 05:00	2,306	0	2,611	0	5,694

A todo resultado que diera menor a 2.0 m/s se le condiciona marcar 0, esto pues con un viento menor a ese valor, el aerogenerador no genera, pues el viento no tiene la suficiente fuerza.

Tabla C.4: Cálculo Cp modificado.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
00:00 - 00:30	0	0	0,2985	0,373	0,254
00:30 - 01:00	0,203	0	0,244	0,279	0,343
01:00 - 01:30	0,230	0	0,279	0,364	0,377
01:30 - 02:00	0	0	0,244	0,324	0,370
02:00 - 02:30	0	0	0,288	0,191	0,353
02:30 - 03:00	0,257	0	0,279	0,299	0,337
03:00 - 03:30	0,279	0	0,230	0,279	0,357
03:30 - 04:00	0,279	0	0,299	0,299	0,262
04:00 - 04:30	0,244	0,174	0,267	0,230	0,224
04:30 - 05:00	0,219	0	0,257	0	0,357

Para la obtención de este valor se utilizó la fórmula de  $R^2$  la cual tiene una asertividad del 91%, la cual tiene la siguiente fórmula considerando  $x$  como el viento en [m/s]:

$$C_p = 0.0012x^3 - 0.0407x^2 + 0.3055x - 0.2841$$

Tabla C.5: Cálculo de la producción eólica  $P_u$ .

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
00:00 - 00:30	0,000	0,000	13,044	48,123	153,097
00:30 - 01:00	3,472	0,000	6,171	9,977	119,872
01:00 - 01:30	5,070	0,000	9,977	37,652	63,167
01:30 - 02:00	0,000	0,000	6,171	18,962	89,504
02:00 - 02:30	0,000	0,000	11,227	2,905	111,642
02:30 - 03:00	7,418	0,000	9,977	13,044	124,381
03:00 - 03:30	9,977	0,000	5,070	9,977	106,799
03:30 - 04:00	9,977	0,000	13,044	13,044	152,327
04:00 - 04:30	6,171	2,249	8,455	5,070	152,956
04:30 - 05:00	4,336	0,000	7,418	0,000	106,799

Para este cálculo se tomaron algunos valores como constantes. A continuación, se muestra una tabla con ellos y sus cantidades.

Tabla C.6: Datos que se consideraron constantes.

Datos	Valor
Betz	0.593
Densidad del aire	1.223
Área	5.4
Fiabilidad mecánica	0.95
Fiabilidad eléctrica	0.87

## C.2: Cálculos paneles fotovoltaicos.

Para los cálculos del área fotovoltaica al igual que con los aerogeneradores se mostrarán los 5 primeros días, sin embargo, a diferencia de los anteriores se expondrán los resultados durante el día de producción.

Tabla C.7: Radiación en la superficie.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	15,5	12,5	7	14	19
07:00 - 08:00	141,5	133,5	54,5	148	145
08:00 - 09:00	298,5	296	143	318	288,5
09:00 - 10:00	438	409,5	199	459	459,5
10:00 - 11:00	530,5	512,5	383,5	546,5	544
11:00 - 12:00	566	527,5	266	580	577,5
12:00 - 13:00	538	503	184	552	553
13:00 - 14:00	461,5	410	81,5	477,5	470,5
14:00 - 15:00	338	235,5	87	343,5	335
15:00 - 16:00	162	60	120	172	166
16:00 - 17:00	25	10	25	25	22,5

Tabla C.8: Declinación solar.

Día	305	306	307	308	309
$\delta_{sol}$ (Declinación solar)	-15,363	-15,666	-15,964	-16,257	-16,546

Para la obtención del ángulo solar se utiliza la ecuación (11), no se adjunta por su simpleza y extensión en los resultados.

Tabla C.9: Ángulo zenit.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	0,015	0,011	0,007	0,004	0,000
07:00 - 08:00	0,190	0,186	0,182	0,179	0,175
08:00 - 09:00	0,341	0,337	0,333	0,329	0,325
09:00 - 10:00	0,456	0,452	0,448	0,444	0,440
10:00 - 11:00	0,529	0,525	0,520	0,516	0,512
11:00 - 12:00	0,554	0,550	0,545	0,541	0,537
12:00 - 13:00	0,529	0,525	0,520	0,516	0,512
13:00 - 14:00	0,456	0,452	0,448	0,444	0,440
14:00 - 15:00	0,341	0,337	0,333	0,329	0,325
15:00 - 16:00	0,190	0,186	0,182	0,179	0,175
16:00 - 17:00	0,015	0,011	0,007	0,004	0,000

Tabla C.10: Ángulo de incidencia.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	0,364	0,367	0,371	0,374	0,378
07:00 - 08:00	0,519	0,523	0,526	0,529	0,532
08:00 - 09:00	0,653	0,656	0,659	0,662	0,665
09:00 - 10:00	0,756	0,759	0,762	0,764	0,767
10:00 - 11:00	0,820	0,823	0,826	0,829	0,831
11:00 - 12:00	0,842	0,845	0,848	0,850	0,853
12:00 - 13:00	0,820	0,823	0,826	0,829	0,831
13:00 - 14:00	0,756	0,759	0,762	0,764	0,767
14:00 - 15:00	0,653	0,656	0,659	0,662	0,665
15:00 - 16:00	0,519	0,523	0,526	0,529	0,532
16:00 - 17:00	0,364	0,367	0,371	0,374	0,378

Tabla C.11: Relación Rb.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
07:00 - 08:00	2,733	2,808	2,885	2,963	3,044
08:00 - 09:00	1,917	1,949	1,982	2,015	2,048
09:00 - 10:00	1,656	1,678	1,700	1,722	1,745
10:00 - 11:00	1,550	1,568	1,587	1,605	1,624
11:00 - 12:00	1,520	1,538	1,555	1,572	1,590
12:00 - 13:00	1,550	1,568	1,587	1,605	1,624
13:00 - 14:00	1,656	1,678	1,700	1,722	1,745
14:00 - 15:00	1,917	1,949	1,982	2,015	2,048
15:00 - 16:00	2,733	2,808	2,885	2,963	3,044
16:00 - 17:00	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Para este caso, tanto la primera como la última luz del día genera que Rb sea un numero fuera de la lógica, por ello y con recomendación del profesor se toman como 4.

Tabla C.12: Relación solar extraterrestre.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	1366,3	1366,3	1366,2	1366,1	1366,0
07:00 - 08:00	1370,4	1370,4	1370,5	1370,5	1370,5
08:00 - 09:00	1373,9	1374,0	1374,1	1374,2	1374,3
09:00 - 10:00	1376,5	1376,7	1376,9	1377,1	1377,3
10:00 - 11:00	1378,2	1378,5	1378,7	1378,9	1379,2
11:00 - 12:00	1378,8	1379,1	1379,3	1379,6	1379,8
12:00 - 13:00	1378,2	1378,5	1378,7	1378,9	1379,2
13:00 - 14:00	1376,5	1376,7	1376,9	1377,1	1377,3
14:00 - 15:00	1373,9	1374,0	1374,1	1374,2	1374,3
15:00 - 16:00	1370,4	1370,4	1370,5	1370,5	1370,5
16:00 - 17:00	1366,3	1366,3	1366,2	1366,1	1366,0

Tabla C.13: Índice de claridad Kt.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	0,01134	0,00915	0,00512	0,01025	0,01391
07:00 - 08:00	0,10326	0,09742	0,03977	0,10799	0,10580
08:00 - 09:00	0,21727	0,21543	0,10407	0,23140	0,20992
09:00 - 10:00	0,31819	0,29744	0,14452	0,33330	0,33362
10:00 - 11:00	0,38492	0,37179	0,27816	0,39632	0,39444
11:00 - 12:00	0,41050	0,38251	0,19285	0,42043	0,41854
12:00 - 13:00	0,39036	0,36490	0,13346	0,40031	0,40097
13:00 - 14:00	0,33526	0,29780	0,05919	0,34674	0,34161
14:00 - 15:00	0,24602	0,17140	0,06331	0,24996	0,24375
15:00 - 16:00	0,11821	0,04378	0,08756	0,12550	0,12112
16:00 - 17:00	0,01830	0,00732	0,01830	0,01830	0,01647

Tabla C.14: Radiación difusa.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	15,48	12,49	7,00	13,99	18,98
07:00 - 08:00	140,19	132,33	54,30	146,56	143,62
08:00 - 09:00	292,66	290,26	141,66	311,05	283,05
09:00 - 10:00	409,41	389,14	196,41	422,84	423,16
10:00 - 11:00	456,92	450,25	368,82	461,92	461,28
11:00 - 12:00	466,32	456,06	261,38	468,69	468,43
12:00 - 13:00	459,32	446,19	181,79	463,34	463,63
13:00 - 14:00	424,27	389,52	81,07	433,41	429,57
14:00 - 15:00	329,43	231,87	86,50	334,38	326,72
15:00 - 16:00	160,28	59,76	119,05	170,06	164,19
16:00 - 17:00	24,96	9,99	24,96	24,96	22,47

Tabla C.15: Radiación directa.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	0,0158	0,0103	0,0032	0,0129	0,0238
07:00 - 08:00	1,3150	1,1704	0,1951	1,4384	1,3807
08:00 - 09:00	5,8369	5,7390	1,3393	6,9510	5,4505
09:00 - 10:00	28,5926	20,3594	2,5884	36,1612	36,3409
10:00 - 11:00	73,5830	62,2472	14,6779	84,5811	82,7189
11:00 - 12:00	99,6817	71,4446	4,6168	111,3137	109,0693
12:00 - 13:00	78,6809	56,8115	2,2101	88,6625	89,3652
13:00 - 14:00	37,2270	20,4839	0,4342	44,0866	40,9270
14:00 - 15:00	8,5697	3,6328	0,4957	9,1169	8,2806
15:00 - 16:00	1,7236	0,2364	0,9457	1,9428	1,8096
16:00 - 17:00	0,0412	0,0066	0,0412	0,0412	0,0334

Tabla C.16: Radiación solar en la superficie inclinada.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	9,463	7,623	4,260	8,543	11,616
07:00 - 08:00	88,813	83,723	33,544	93,364	91,512
08:00 - 09:00	189,402	187,933	88,771	203,491	183,506
09:00 - 10:00	298,650	272,360	123,873	322,489	323,823
10:00 - 11:00	398,620	377,035	248,600	424,450	422,413
11:00 - 12:00	444,383	393,691	166,287	470,443	468,430
12:00 - 13:00	408,481	365,509	114,067	432,263	435,285
13:00 - 14:00	322,817	272,809	49,986	343,337	336,168
14:00 - 15:00	217,225	148,177	53,538	222,231	216,089
15:00 - 16:00	102,165	36,962	75,085	109,169	105,346
16:00 - 17:00	15,318	6,093	15,318	15,318	13,774

Tabla C.17: Producción.

Hora	01-11-2022	02-11-2022	03-11-2022	04-11-2022	05-11-2022
06:00 - 07:00	0,912	0,734	0,410	0,823	1,119
07:00 - 08:00	8,557	8,066	3,232	8,995	8,817
08:00 - 09:00	18,248	18,107	8,553	19,606	17,680
09:00 - 10:00	28,774	26,241	11,935	31,071	31,199
10:00 - 11:00	38,406	36,326	23,952	40,894	40,698
11:00 - 12:00	42,815	37,931	16,021	45,326	45,132
12:00 - 13:00	39,356	35,216	10,990	41,647	41,938
13:00 - 14:00	31,102	26,284	4,816	33,079	32,389
14:00 - 15:00	20,929	14,276	5,158	21,411	20,819
15:00 - 16:00	9,843	3,561	7,234	10,518	10,150
16:00 - 17:00	1,476	0,587	1,476	1,476	1,327

Para poder ver los valores anuales tanto del aérea eólica, como la solar se recomienda ver el Excel adjunto.



## Anexo D: Especificaciones de los ODS.

ODS n° 7: Energía asequible y no contaminante: El objetivo es “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos/as”, y así de esta manera dejar de lado las energías provenientes de combustibles fósiles, petróleo, carbón y gas, los cuales dañan de manera continua la capa de ozono, dando paso de esta forma a las formas de producción verdes.

Las metas trazadas son para el año 2030, son:

1. *Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.*
2. *Aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.*
3. *Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.*
  - a. *Aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.*
  - b. *Ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.*

ODS n° 9: Industria, innovación e infraestructura: Cuyo objetivo fundamental es “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación, de esta manera logrando que las inversiones económicas apunten a un fin sostenible, donde estas no pongan en riesgo el hábitat de las especies y a su vez ayuden a solventar las necesidades básicas humanas.

Las metas de dicho objetivo son:

1. *Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.*
2. *Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados.*

3. *Aumentar el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas, particularmente en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluidos créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados.*
4. *De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.*
5. *Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo.*
  - a. *Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los países africanos, los países menos adelantados, los países en desarrollo sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo.*
  - b. *Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.*
  - c. *Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados de aquí a 2020.*

ODS n° 13: Acción por el clima: buscando “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”, esforzándose por evitar la contaminación producto de los gases invernaderos, dando paso a una vida más sostenible y con conocimiento de causa en el consumo energético.

Por su parte las metas son:

1. *Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.*
2. *Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.*
3. *Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.*
  - a. *Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de*

*medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible.*

- b. Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.*