

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO
PROGRAMA INSTITUCIONAL LIC. EN INGENIERÍA EN
ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD

SIMULACIÓN DE RECURSO EÓLICO EN
UNA TURBINA COMETA MEDIANTE EL
SOFTWARE ANSYS-FLUENT



QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN ING. EN ENERGÍA Y
SUSTENTABILIDAD
OCTUBRE DE 2022
MORELIA MICHOACÁN

ASESOR DE TESIS: M.C. TIZOC LÓPEZ LÓPEZ

TESIS PRESENTADA POR: VANIA ELIZABETH GONZÁLEZ
RUÍZ

Resumen

En este trabajo se expone la alternativa de una nueva forma para obtener energía de forma limpia, sin contaminación, sin emisiones de carbono y sobre todo con una mayor eficiencia a la que ya conocemos en la energía limpia, de una forma sostenible en relación con los proyectos de energía eólica. Con el objetivo de analizar la forma de potenciar el desarrollo de la energía limpia mediante la generación eólica sin perder la capacidad de abastecer la demanda energética que se requiere.

Además de conocer cómo la energía limpia va creciendo al igual que la demanda de energía, el planeta está en constante cambio y cada vez surge más la necesidad de la energía, implementando sistemas que sean amigables con el ambiente se puede obtener un balance entre la energía requerida y el cuidado al ambiente que nos rodea.

Con ayuda de la herramienta Ansys la simulación de la turbina cometa puede mostrar el avance con la energía eólica, va en crecimiento, mejorando su diseño y su capacidad de generación, en este trabajo se realiza una nueva vista a la obtención de energía en un sistema eólico que ya fue probado en barcos y ahora en tierra, la capacidad de llegar a grandes alturas y aprovechar el viento con mayor fuerza en zonas donde otro tipo de energía no puede ser implementada, además de mostrar cómo su diseño resulta económico, amigable con el medio ambiente y de fácil mantenimiento. Al mostrar cómo la simulación sirve para implementar los diseños y conocer los resultados más cercanos a lo que se obtendría en la realidad con un prototipo o un diseño real, podemos conocer la variación, en qué momento se obtiene más energía, etc.

Abstract

This paper presents the alternative of a new way to obtain energy in a clean way, without pollution, without carbon emissions and above all with a higher efficiency than the one we already know in clean energy, in a sustainable way in relation to wind energy projects. With the aim of analyzing how to enhance the development of clean energy through wind power generation without losing the ability to supply the energy demand required.

In addition to knowing how clean energy is growing as well as the demand for energy, the planet is constantly changing and the need for energy is increasing, implementing systems that are environmentally friendly can obtain a balance between the energy required and care for the environment around us.

With the help of the Ansys tool, the simulation of the kite turbine can show the progress with which wind energy is growing, improving its design and its generation capacity, in this work a new view of obtaining energy in a wind system that was already tested on ships and now on land, the ability to reach great heights and harness the wind with greater force in areas where other types of energy can not be implemented, besides showing how its design is economical, environmentally friendly and easy to maintain. By showing how the simulation is used to implement the designs and to know the results closer to what would be obtained in reality with a prototype or a real design, we can know the variation, at what moment more energy is obtained, etc.

Palabras clave: Energía eólica, cometa, sistema, desarrollo sostenible, SkySails, Kite power.

INDICE

Capitulo I. Introducción

1.1 Antecedentes	1
1.2 Eólica.....	3
1.3 Navegación.....	6
1.4 Objetivo.....	9

Capitulo II. Generación eólica

2.1 Introducción general sobre generación.....	10
2.1.1 Generación hidráulica.....	11
2.1.2 Generación geométrica.....	15
2.1.3 Generación fotovoltaica.....	18
2.1.4 Generación biomasa.....	22
2.1.5 Generación eólica.....	26
2.1.5.1 VAWT.....	31
2.1.5.2 HAWT.....	34
2.1.5.3 Turbina cometa.....	37

Capitulo III. Simulación de recursos eólicos en turbina cometa

3.1 Introducción general sobre simulación.....	63
3.2 Esquema propuesto.....	64
3.2.1 Software Ansys y Cinema 4D.....	65
3.2.1.1 Creadores.....	65
3.2.1.2 Características.....	66
3.3 NACA modelo.....	67
3.4 Geometría de turbina cometa en el software Ansys.....	69
3.4.1 Análisis eólico de turbina cometa en Ansys.....	73

Capitulo IV. Pruebas a turbina cometa mediante el software Ansys y Cinema 4D

4.1 Pruebas a la turbina cometa mediante el software Ansys.....	77
4.2 Pruebas con recursos eólicos fijos.....	86
4.3 Pruebas con recursos eólicos variables.....	91

Capitulo V Conclusiones

Conclusiones.....	96
Bibliografía.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.0 Cometa tridimensional antigua.....	pg.1
Figura 1.1 Geometría de un molino griego.....	pg.2
Figura 1.2 Cometa Benjamin Franklin.....	pg.2
Figura 1.3 Turbina con rotor de 17 metros.....	pg.3
Figura 1.4 Aspas de molino.....	pg.4
Figura 1.5 Tipos de cometas.....	pg.5
Figura 1.6 Barco egipcio impulsado por remos.....	pg.7
Figura 1.7 Nave fenicia.....	pg.7
Figura 1.8 La galera romana.....	pg.8
Figura 1.9 Partes del velero.....	pg.8
Figura 2.0 Caída de agua en Bretaña.....	pg.11
Figura 2.1 Esquema general de una planta de generación hidráulica.....	pg.12
Figura 2.2 Funcionamiento de una planta mini hidráulica.....	pg.12
Figura 2.3 Ejemplos de presa de gravedad y de bóveda.....	pg.13
Figura 2.4 Diagrama de una central geotérmica.....	pg.15
Figura 2.5 Central geotérmica.....	pg.16
Figura 2.6 Yacimiento de agua.....	pg.17
Figura 2.7 Tipos de placas fotovoltaicas.....	pg.19
Figura 2.8 Funcionamiento de un panel solar.....	pg.19
Figura 2.9 Esquema de instalación fotovoltaica aislada.....	pg.20
Figura 2.10 Ejemplos de la energía solar.....	pg.21
Figura 2.11 Ejemplos de combustión.....	pg.22
Figura 2.12 Ejemplos de pirolisis.....	pg.23
Figura 2.13 Tipos de biomasa.....	pg.23
Figura 2.14 Producción de biomasa.....	pg.24
Figura 2.15 Producción de biocombustible.....	pg.25
Figura 2.16 Primeros molinos.....	pg.26
Figura 2.17 Componentes de una turbina eólica.....	pg.28
Figura 2.18 Componentes de la turbina eólica.....	pg.29

Figura 2.19 Componentes externos.....	pg.30
Figura 2.20 Molino de eje vertical.....	pg.31
Figura 2.21 Aerogenerador vertical.....	pg.32
Figura 2.22 Rotor Savonius.....	pg.32
Figura 2.23 Turbina hueca.....	pg.33
Figura 2.24 Molinos de eje horizontal.....	pg.34
Figura 2.25 Aerogenerador convencional horizontal.....	pg.35
Figura 2.26 Principio de movimiento del aerogenerador.....	pg.36
Figura 2.27 Turbina Hawt básica y turbina Vawt	pg.36
Figura 2.28 Sistema cometa.....	pg.37
Figura 2.29 Crecimiento del consumo energético en el 2019.....	pg.38
Figura 2.30 Cometa a 25 metros de altura.....	pg.39
Figura 2.31 Zonas de incidencia del viento.....	pg.40
Figura 2.32 turbina en vuelo.....	pg.41
Figura 2.33 Altura alcanzada por la turbina cometa en comparación.....	pg.41
Figura 2.34 Deslizamiento en forma de 8.....	pg.42
Figura 2.35 Compuestos de la cometa SkySails.....	pg.43
Figura 2.36 Diferencia de turbina en obtención de energía.....	pg.43
Figura 2.37 Sistema KiteGen.....	pg.44
Figura 2.38 Lanzamiento de cargas SkySails.....	pg.45
Figura 2.39 Mecanismo de lanzamiento en el barco cometa.....	pg.45
Figura 2.40 Cometa con unidad de dirección.....	pg.46
Figura 2.41 Diseño de mástil rotatorio en tierra.....	pg.46
Figura 2.42 Sistema de bridas simplificadas en 2D.....	pg.47
Figura 2.43 Modulo de control.....	pg.48
Figura 2.44 Anclaje durante el vuelo.....	pg.48
Figura 2.44 Sistema SkySails.....	pg.51
Figura 2.46 Diseño de parque cometa.....	pg.51
Figura 2.47 Prototipo funcional.....	pg.52
Figura 2.48 Sistema de orbita abierta.....	pg.53

Figura 2.49	Orbita en forma de 8.....	pg.53
Figura 2.50	Orbita de la cometa.....	pg.54
Figura 2.51	Ciclo de bombeo completo.....	pg.55
Figura 2.52	Estación terrestre completa.....	pg.56
Figura 2.53	Cometa elevada.....	pg.57
Figura 2.54	Impacto en el ambiente.....	pg.58
Figura 2.55	Fuerza del viento en las turbinas.....	pg.58
Figura 2.56	Altura de la turbina.....	pg.59
Figura 2.57	Parque de cometas generadoras.....	pg.60
Figura 2.58	Primer cometa de wipika classic.....	pg.60
Figura 2.59	Funcionamiento básico del diseño cometa kite	pg.61
Figura 2.60	Caballote o caja de la turbina.....	pg.61
Figura 2.61	Proceso de elevación en la cometa.....	pg.62
Figura 3.0	Logo de cinema 4D.....	pg.65
Figura 3.1	Logo de ansys.....	pg.66
Figura 3.2	Ejemplos de perfil aerodinámico cometa ansys.....	pg.68
Figura 3.3	Línea de mayor esfuerzo.....	pg.68
Figura 3.4	Ejemplo de cometa elevada e inflada.....	pg.69
Figura 3.5	Ejemplo de perfil aerodinámico y de la cometa ya elevada.....	pg.69
Figura 3.6	Diseño aerogenerador.....	pg.70
Figura 3.7	Al insertar una fuerza definida por un vector.....	pg.70
Figura 3.8	Dimensión de la cometa.....	pg.71
Figura 3.9	Sistema en tierra.....	pg.71
Figura 3.10	Ancho de la cometa.....	pg.72
Figura 3.11	Cables o alabes de la cometa en ansys.....	pg.72
Figura 3.12	Información de la cometa.....	pg.73
Figura 3.13	Interacción del viento con la cometa.....	pg.73
Figura 3.14	Punto principal de esfuerzo.....	pg.74
Figura 3.15	Ejemplo de energía en la base.....	pg.74
Figura 3.16	Herramientas de Ansys en ejecución.....	pg.75

Figura 3.17 Mallado o mesh.....	pg.75
Figura 3.18 Fuerza 1 en la cometa.....	pg.76
Figura 3.19 Fuerza 2 en la cometa.....	pg.76
Figura 4.0 Primer diseño de la turbina basado en la parte que compone la cometa...	pg.77
Figura 4.1 Parámetro de la turbina siguiendo un eje.....	pg.78
Figura 4.2 Parámetros.....	pg.78
Figura 4.3 Ángulos de la cometa.....	pg.79
Figura 4.4 Turbina en movimiento.....	pg.79
Figura 4.5 Vista del diseño cometa.....	pg.80
Figura 4.6 Especificaciones de los materiales en structural ansys.....	pg.81
Figura 4.7 Tipo de material y sus especificaciones.....	pg.81
Figura 4.8 Perfil de la cometa en vuelo.....	pg.82
Figura 4.9 Cometa en interacción con el viento.....	pg.82
Figura 4.10 Diseño simple de la parte superior de la cometa.....	pg.83
Figura 4.11 Cometa en vuelo.....	pg.83
Figura 4.12 Cometa en rotación.....	pg.84
Figura 4.13 Al insertar una fuerza x.....	pg.84
Figura 4.14 Entrada del viento.....	pg.85
Figura 4.15 Viento en la superficie interna y externa de la cometa.....	pg.85
Figura 4.16 Cometa en ciclo de generación	pg.86
Figura 4.17 Elevación constante de la cometa.....	pg.87
Figura 4.18 Rotación de la cometa.....	pg.87
Figura 4.19 Punto max y min.....	pg.88
Figura 4.20 Grafica de amplitud y fracaso en ansys.....	pg.88
Figura 4.21 Grafica de ciclos.....	pg.89
Figura 4.22 Mallado simple.....	pg.89
Figura 4.23 Valores de la cometa.....	pg.90
Figura 4.24 Generación eólica con la cometa.....	pg.90
Figura 4.25 Tensión de la cuerda.....	pg.91
Figura 4.26 Asignando valor al módulo de young's.....	pg.92

Figura 4.27 Graficas de los parámetros y curvas obtenidas en ansys.....	pg.92
Figura 4.28 Valor del aire en la cometa.....	pg.93
Figura 4.29 Mesh mas fino.....	pg.93
Figura 4.30 Esfuerzo en la cometa.....	pg.94
Figura 4.31 Empuje del viento.....	pg.94
Figura 4.32 Fuerza A y fuerza B.....	pg.95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.0 Tipo de turbinas y sus diferencias.....	pg.14
Tabla 2.0 Ventajas y desventajas de la energía eólica.....	pg.21
Tabla 3.0 Velocidad de viento.....	pg.49

Glosario de nomenclatura

Anslys-fluent: Herramienta de simulación con un software que ha sido ampliamente validado, fluent puede crear modelos físicos.

Energía eólica: La energía que se transforma en electricidad con la fuerza del viento.

Energía limpia: Sistema de producción de energía que excluye cualquier tipo de contaminación.

Turbina cometa: Generador eólico en forma de cometa, con fin de generar energía eléctrica.

Kite power systems (KPS): Sistema cometa de energía.

Skaysails: sistema de velas en el cielo.

NASA: La administración Nacional de aeronáutica y el espacio.

Trayectoria: línea descrita o recorrido que sigue alguien o algo al desplazamiento de un punto a otro.

Dron: Pequeño vehículo Aero no tripulado, utilizado en el ámbito militar.

Twing tec: Tecnología gemela.

Ampyx Power: Potencia de amplitud

Aleatorio: que depende del azar o de la suerte.

Electricidad: Forma de energía que produce efectos luminosos, mecánicos, caloríficos, químicos y que se debe a la separación o movimiento.

Onshore: Define sistema en tierra.

Vawt : Turbina eólica de eje vertical, aerogenerador de eje vertical.

Savonius: Turbina eólica de eje vertical.

Darrieus: Tipo de aerogenerador de eje vertical utilizado para generar electricidad.

Hawt: Tipo de turbinas eólicas de eje horizontal.

Flap : En aeronáutica, alerón que al abatirse aumenta la capacidad de sustentación de ala del avión.

WWEA: Es una organización internacional sin fines de lucro que abarca la industria de la energía eólica en todo el mundo.

CFE: Comisión federal de electricidad

IIE: Instituto de investigación eléctrica.

Orbita: Curva que describe un cuerpo alrededor de otro en el espacio.

Flygen : Diseño para vuelos. Groundgen: Que significa conectado a tierra.

Perfil aerodinámico: Forma del área transversal de un elemento.

Agradecimientos

Agradezco a mi abuela materna Rosa María por siempre motivarme a seguir con mis metas, por calmarme cuando me estresaba y me quería rendir o sentía que no lo iba a lograr , su gran apoyo emocional cuando lo necesite pero sobre todo su gran amor y comprensión que me vomitaba a seguir y lograrlo siempre, también agradezco a mi padrino Alberto por sus consejos , por motivarme , por decir siempre lo orgulloso que estaba de tener una ingeniera en la familia y que ahora es un hecho, por esa voz en mi cabeza que decía “no te rindas” a mis papas por todos estos años de cuidados , a mi mama por todas las ocasiones que se levantó a las 5:00 am durante todos estos años de estudio, a mi papa por el apoyo y esfuerzo que realizo.

Agradezco a mis profesores que me ayudaron y me enseñaron durante la carrera, a mi asesor Tizoc Lopez por la paciencia en este trabajo, a mis compañeros que se convirtieron en mis amigos, me motivaban y me acompañaban en este proceso de estudio y aprendizaje, a Ricardo Arreola por acompañarme y explicarme cuando lo necesitaba, su apoyo al realizar mi tesis y su paciencia cuando el estrés me ganaba, por siempre alentarme con sus palabras “tu puedes ya falta menos”.

CAPITULO I.- Introducción

1.1 Antecedentes

La cometa fue utilizada desde el año 202 (a.c.) en la dinastía Han con fines militares, cómo una forma para distraer al ejercito enemigo, haciendo volar las cometas por encima de las ciudades para sorprenderlos y distraerlos.

Las cometas nacieron en la antigua china sobre el año 1200 (a.c.) se utilizaban como método de señalización o código militar (Creative, 2018), mediante la combinación de colores y formas, así podían enviar mensajes a otras instalaciones o personas militares. En **Hammurabi** usaba molinos de viento para irrigación en el año 2000 (a.c.).

La idea de utilizar una cometa como método de empuje tiene sus inicios entre los siglos XII, XIII y XIV en Asia, donde en distintas zonas de la China, Polinesia y la India utilizaban cometas de tracción para poder desplazar sus embarcaciones durante sus necesidades de pesca y transporte.

En el siglo XVIII las cometas ya se utilizaban para medir y probar fenómenos meteorológicos como se muestra en la Figura 1.0.

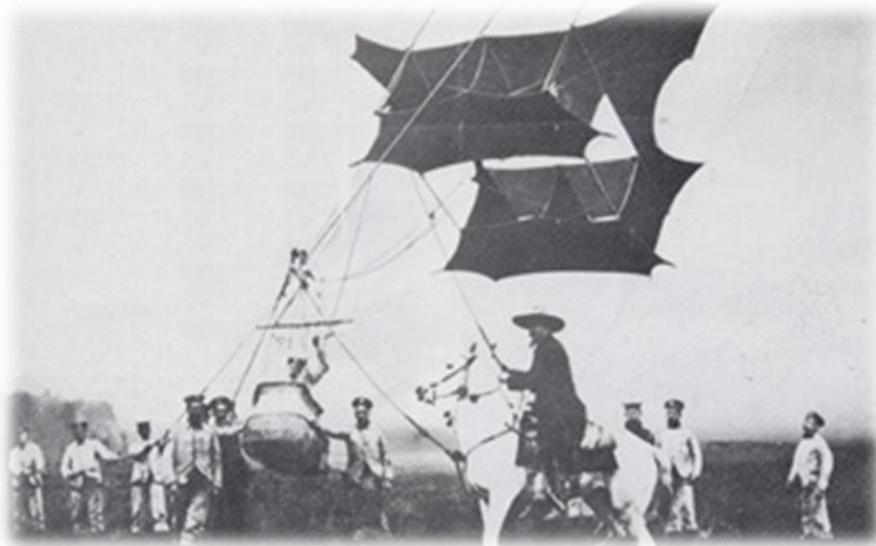


Figura 1.0. Cometa tridimensional antigua.

Fuente: Historia de las cometas, La casa de las cometas 2018.

Durante el siglo XIV los holandeses tomaron el liderazgo en el mejoramiento de los molinos y comenzaron a utilizarlos extensivamente para drenar las regiones pantanosas del delta del rio Rin. A fines del siglo XV se construyeron los primeros molinos de viento para elaboración de aceites, papel y procesar la madera en aserraderos

A comienzos del siglo XVI se empezaron a utilizar para el drenaje de polders, empleándose máquinas de hasta 37 kw cada una. A mediados del siglo XIX cerca de 9000 molinos operaban en Holanda con diferentes propósitos.

En Dinamarca a finalizar el siglo XIX cerca de 3000 molinos como el de la Figura 1.1 eran utilizados con fines industriales y cerca de 30000 en casa y granjas con fines de aprovechar y mejorar la cosecha.

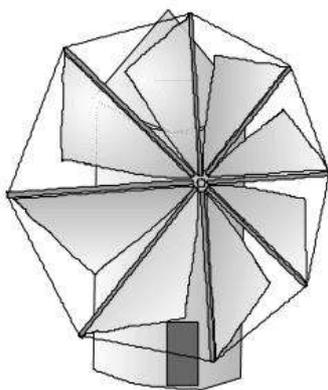


Figura 1.1. Geometría de un molino griego.

Fuente: Antiguos molinos de viento de granja modelo 3D.

A principios del siglo XIX, el británico *George Peacock* inventó un sistema de tracción con cometas para carros y embarcaciones. *George Peacock* estudió las fuerzas de tracción que ejercen cometas (Un carro unido a dos cometas puede alcanzar los 35 km/hora), y es con la ayuda de cuatro cuerdas con las que se van dirigiendo la cometa, variando el ángulo longitudinal y lateral de las mismas en función del viento. En el siglo XI (d.c.) los molinos de viento eran extensivamente utilizados en el Medio Oriente y debido a las cruzadas fueron introducidos en Europa. En la primera década del siglo XX, *Alexander Graham Bell* experimentó con cometas para desarrollar una máquina voladora que pudiera ser tripulada.

La historia de las cometas se conjuga con experimentos que científicos como *Benjamin Franklin* utilizaron para sus investigaciones. En 1752, *Benjamin Franklin*, utilizó una cometa para investigar las nubes y los rayos, inventando el pararrayos. En un día de tormenta, *Benjamin Franklin* hizo volar una cometa con estructura de metal, con una llave metálica atada mediante un hilo de seda en su extremo. Pudo comprobar que las nubes están cargadas eléctricamente y que los rayos son la resultante de tal carga que se muestra en la Figura 1.2.



Figura 1.2 Cometa Benjamin Franklin.

Fuentes: Benjamin Frankilin , Historie 2017.

La cometa es un aerodino es decir una máquina voladora más pesada que el aire, con una estructura plana o tridimensional. Su principio de funcionamiento se basa en que un cuerpo rota cuando está inmerso en una corriente de aire, además de ser arrastrado por la misma, y experimenta una fuerza de sustentación vertical hacia arriba.

1.2 Eólica

El uso del viento como fuente de energía se remonta a la antigüedad, se cree que en Babilonia hace 3500 años ya era empleada la energía eólica mediante molinos de viento para la fabricación de harina y para la extracción de agua.

En 1887 el escocés *James Blyth* construyó la primera instalación destinada a generar electricidad, poco tiempo después el meteorólogo danés *Poul La Cour* daba las bases para una turbina de alta velocidad con pocas palas que giraban con gran rapidez.

En 1888 Brush construyó lo que se cree es la primer turbina eólica para generación eléctrica, tenía un diámetro de rotor de 17 metros y 144 palas fabricadas en madera de cedro como se muestra en la Figura 1.3, mejorada en los años siguientes por Poul La Cour, descubrió que las turbinas eólicas de giro rápido con pocas palas de rotor, la turbina funcionó durante 20 años operando como cargador de baterías.



Figura 1.3 Turbina con rotor de 17 metros.

Fuentes: Historia del molino del viento, L.M. 2017.

En 1907 construyó una de 3,393 celdas que, arrastrada con un barco de vapor, se elevó 50 metros del nivel del suelo. Los molinos de viento parecen haberse originado en Persia hace unos 2000 años. Estos primeros molinos eran de eje horizontal y movían un par de piedras redondas sin emplear engranes.

Después en 1920 el físico alemán *Albert Betz* demostró que un aerogenerador solo puede transformar energía útil como es la del viento, para esto el aire debe frenarse de manera uniforme sobre toda la superficie del rotor hasta aproximadamente un tercio de su velocidad original.

En 1977 nació la idea de *kitesurf* como lo conocemos actualmente, *Gijsbertus Adrianus* realizó la primera patente que constaba de un sistema de navegación compuesto por una cometa estilo parapente y una tabla de surf. Aunque esta patente no tuvo mucho éxito comercialmente, *Gijsbertus Adrianus* se podría considerar el primer *kitesurfista*.

En 1979 se construyeron dos aerogeneradores Nibe de 630 kW, uno con regulación por cambio de paso de pala y el otro de regulación por pérdida aerodinámica

En 1980 *Miles Lloyd* demostró que la velocidad relativa del aire y la fuerza de arrastre de la cometa, se podría incrementar haciendo volar la cometa en dirección perpendicular a la dirección del viento. Con posterioridad en las islas griegas del mediterráneo se desarrollaron molinos de viento de eje horizontal, cuya principal característica fue el uso de velas triangulares a modo de palas, aún son utilizadas en las islas griegas de Mikos en la Figura 1.4 se observa cómo funcionaba para moler granos.

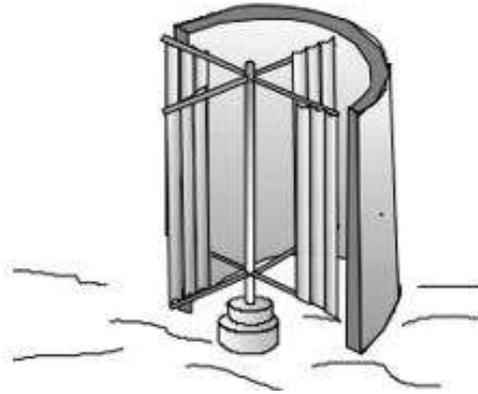


Figura 1.4. Aspas de molino.

Fuente: Construcción de un generador eléctrico, L.C. 2011.

En el 2001 *M.Diehl* estudio modelos predictivos de control no lineal de la trayectoria de las cometas. Las marcas históricas de la cometa:

- Altura: más de 9,740m en 1979.
- Duración de vuelo 180 hrs con 17 min.
- Longitud: 1034 m.
- Número de cometas simultáneas: 11 284 en 1990.

Las cometas pueden variar en tipo, esto dependiendo del carácter del ala:

- Monoplano
- Ala rígida
- Biplano
- Multiplano
- Cometa ordinaria
- Pava (forma de cruz)
- Barril (forma de hexágono)

En el 2006 se instaló un sistema de cometa buque de carga, *MS Beluga Skysails* con 132 metros de longitud, la cometa tenía un ordenador que controlaba como podía reducir el consumo de combustible hasta un 20%. También surgió la fotografía aérea, este sistema era utilizado antes de la aparición de los aerostatos y los aviones, el cual era sencillo, solo se colocaba en la cometa una cámara con sistema remoto, la cual en el aire tomaba fotografías.

En 2013 Google X, compró *Makani Power*, la empresa que estaba trabajando en el proyecto de las cometas de energía, Google se ha propuesto ha cambiar este escenario y acelerar el cambio hacia la energía eólica limpia, renovable y económica con el

proyecto *Makani*: cometas mucho más eficientes energéticamente que los aerogeneradores convencionales, que incorporan materiales y electrónica de muy poco peso, con software inteligente y un costo de producción más bajo.

En el 2017 en Reino Unido *Kite Power Systems* (KPS) y como significa literalmente cometa, en concreto son dos las cometas que entrarían en juego en esta propuesta que a través del vuelo circular a alta velocidad suple la rotación de las aspas de una turbina convencional. Las fuerzas generadas con este tipo de vuelo pasarían a un generador al que están sujetas ambas cometas (Green compani, 2017).

Después en el 2018 *Gonzalo Sánchez Arriaga*, el investigador *Ramón y Cajal* del departamento de Bioingeniería e Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Carlos III de Madrid continuaron con el proyecto del Reino Unido de *Kite Power Systems*. En donde se combinan disciplinas clásicas de la ingeniería eléctrica y la aeronáutica, como el diseño de máquinas eléctricas, la aeroelasticidad o el control, con otras más recientes y no convencionales relacionadas con los drones y la dinámica de cable.

En el 2019 la cometa desarrollada por *SkySails*, una empresa alemana, es una estructura parecida a un paracaídas rectangular atada a un cable de 800 metros de longitud (Stewart, 2019). En Dinamarca, Alemania, Suecia, el Reino Unido y los EE.UU., las compañías de energía dirigieron su atención a la construcción de grandes aerogeneradores.

Otras aplicaciones de las cometas se muestra en la Figura 1.5, cuando tenían fines publicitarios, para elevar carteles y anuncios, como elemento de tracción de barcos, para transportar los cables-guías para la construcción de puentes, al igual como elemento de experimentación de los primeros aviones.

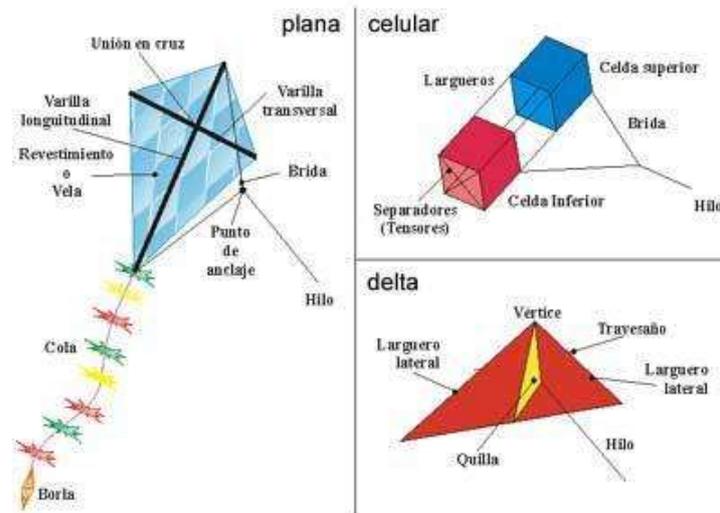


Figura 1.5 Tipos de cometas.

Fuente: El significado de una cometa, Universia.

TwingTec una empresa suiza utiliza un prototipo que se eleva como un dron por el aire, impulsado por propulsores que funcionan eléctricamente y que están en el extremo de sus alas con una distancia de punta a punta combinada de tres metros. KPS está desarrollando un producto de 500 kw de fácil transporte que estará disponible comercialmente en 2025, el objetivo de este sistema son zonas en las que los aerogeneradores estándar no sirven,

los sistemas KPS si funcionaran en ese tipo de zonas. Otro sistema con lanzamiento inicial es el diseñado por *Ampyx Power*, una compañía holandesa, sus prototipos que también tienen una distancia de 5.5 metros, son lanzados al aire con una catapulta, pese a que al igual que los de *TwingTec*, también tienen propulsores que permiten que el descenso y el aterrizaje estén controlados una vez que haya terminado su tiempo de servicio.

1.3 Navegación

También es importante tomar en cuenta la parte de la navegación ya que el diseño de la cometa eólica tiene su origen en la navegación con velas, durante más de 5000 años la navegación oceánica ha hecho uso de la energía eólica para mejorar su navegación e impulso, el transporte marítimo en términos energéticos y a velocidad potencialmente efectiva, el modo de transporte más eficiente en cuanto a mercancía, siendo diez veces más eficiente que el transporte por carretera o por ferrocarriles. Se estima que alrededor del 90% de la carga internacional se transporta en barcos, eso lo convierte en el medio de transporte más empleado en el comercio.

La energía eólica ha sido aprovechada como fuerza motriz en la navegación y para generar energía mecánica en molinos de granos y bombas de agua desde tiempos muy remotos. Ha sido sólo desde el siglo pasado que se comenzó a aprovechar para generar energía eléctrica.

Los egipcios navegaban el Río Nilo con embarcaciones de vela 3000 años a.c. La utilización de la energía eólica se remonta al año 4500(a.c.) cuando se aprovechaba por los antiguos egipcios en la navegación a vela. Una de las características del viento es el hecho de tener un carácter aleatorio e impredecible.

La navegación ha tenido un importante papel en la historia, desde las primitivas barcas egipcias, los clipers construidos en Inglaterra y EE.UU., son una embarcación a vela con origen en el siglo XIX de forma alargada y estrecha, con 3 o más mástiles que se caracterizó por su gran velocidad, para las antiguas civilizaciones el mar era una fuente de alimento y transporte de mercancía.

Existen dibujos egipcios de 5000 años de antigüedad que muestran naves con velas utilizadas para trasladarse por el Nilo, hasta el siglo XIX cuando se introduce las máquinas de vapor (Prats, 2007).

Entre los grandes veleros esta la Santa Maria de *C. Colon*, así como galeones que hacían la ruta de las indias entre los siglos XVI y XVII o la corbeta descubierta, con la que Alejandro Malaspina emprendió su viaje político-científico alrededor del mundo, todos estos navíos llegaron a su máximo desarrollo a finales del siglo XIX. La fuerza del viento como método de propulsión marina mediante velas ha estado introducida desde comienzos del siglo XIX y fue la principal técnica de impulso empleada.

La construcción de la botadura del barco de cometas "*Gna*". Aunque el barco de cometas "*Gna*" de 1908 tiene ya más de 100 años, la idea de lanzar cometas meteorológicas sigue siendo magnífica.

En la época mesolítica fue un gran desarrollo para las grandes civilizaciones de la antigüedad cuando aparecieron las primeras embarcaciones hace más de 5000 años, uno

de los rasgos característicos de muchos de los barcos en esa época era la presencia de varias filas de remos para mayor impulso como se muestra en la Figura 1.6.



Figura 1.6 Barco egipcio impulsado por remos.

Fuente: Los primeros navegantes de la historia, AQUAE.

Algunos de los expertos navegantes fueron los fenicios, que impulsaron el intercambio mercantil en el mediterráneo durante el primer milenio (a.c.) en total navegaron 4600 kilómetros a lo largo de 50 días, haciendo escala en diversos puertos como se observa en la Figura 1.7.

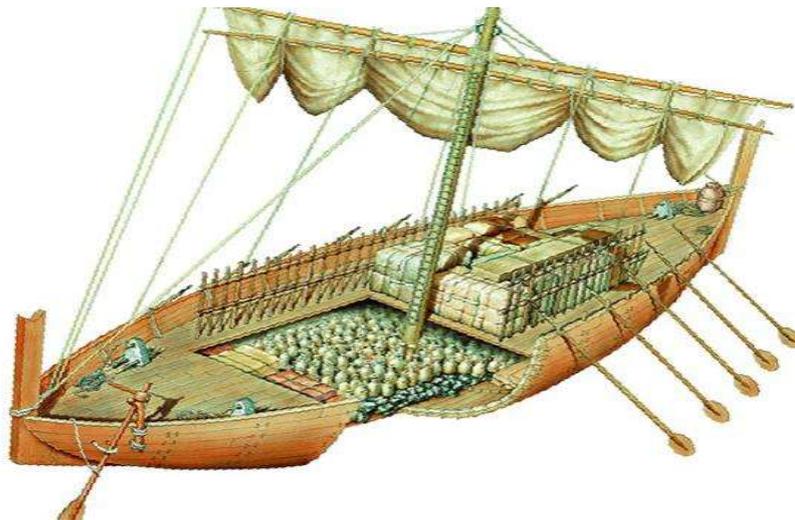


Figura 1.7 Nave fenicia.

Fuente: Los primeros navegantes de la historia, AQUAE.

Aunque **Roma** inventó las galeras, fue potencia marítima y contó con una gran flota de navíos, incorporados durante el siglo III (a.c.) Como muestra la Figura 1.8 la galera romana estaba combinada por remos y velas, aunque el viento soplaba de frente se basaba en la fuerza de los remos.

Probablemente en un principio se armaban barcas de madera atada con lianas, luego canoas, piraguas que son embarcaciones de velas poco caladas, estrechas y más alargada que una canoa, y conforme el tiempo fueron embarcaciones más sofisticadas, al principio impulsadas por remos y después por velas que muestra la ventaja del uso de velas en la navegación.

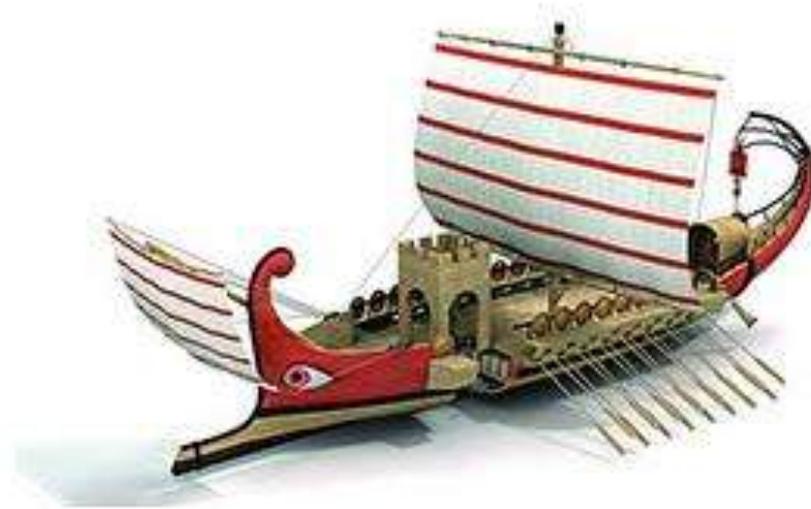


Figura 1.8 La galera romana.

Fuente: Los primeros navegantes de la historia, AQUAE

Al introducirse la máquina de vapor, la navegación con velas pasó solo a las actividades deportivas y algunas actividades comerciales en pueblos costeros, pero actualmente debido al incremento de la contaminación y el aumento de los precios, se ha incrementado el uso de energía eólica como medio para ahorrar combustible aprovechando la fuerza del viento para impulsar a una velocidad constante, los pequeños veleros iniciaron el aprovechamiento de las partes de la vela que se muestran en la Figura 1.9.

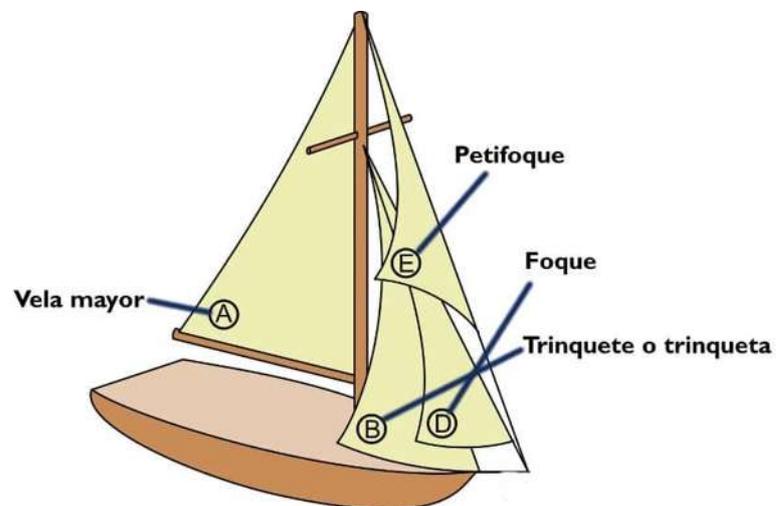


Figura 1.9 Partes del velero.

Fuente: Nomenclatura náutica y partes de un barco, Nautica.

A lo largo de la historia el viento se ha aprovechado mediante el uso de máquinas o aeromotores capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación, esto para accionar de forma directa o mediante máquinas para producir energía eléctrica (Aque, 2019).

1.4 Objetivo

Desarrollar el diseño de una turbina cometa que conforma un sistema de generación eólica, con el propósito de ampliar la generación y obtención de energía eólica con menos contaminación visual y auditiva, utilizando herramientas de simulación y creando un diseño a escala, sin dejar de lado la obtención de generación eléctrica necesaria para abastecer la demanda energética, mediante el uso del software Ansys-fluent para mostrar la eficiencia de la cometa turbina.

Objetivo específico

Analizar la utilidad de la turbina cometa para lograr un mayor enfoque en este tipo de turbina en la energía eólica, usando el software para lograr que se puedan observar las grandes ventajas que conlleva la implementación de la energía eólica, sin la contaminación visual y mayor altura, mostrar que el diseño de la turbina la hace perfecta para la obtención de la energía cinética del viento, ya que a alturas mayores la fuerza del viento es mayor. Demostrar que una gran cometa unida por cables puede producir suficiente electricidad mediante la fuerza cinética de una forma efectiva y sustentable. La implementación de la turbina en espacios donde no se puede colocar una turbina eólica que cuenta con una torre, en las zonas que tienen mayores corrientes de viento, mostrar cómo esta turbina no solo genera energía sino que también es apta para zonas donde otras energías limpias no pueden ser implementadas, sin causar daños visuales o auditivos al entorno. Su diseño simple puede ser replicado a escalas mayores, usando el diseño de Ansys como base para un diseño real.

Hipótesis

A pesar de ser un tipo de generación alternativa, no cuenta con un modelo ya establecido o conocido como las plantas eólicas, esto debido a que la energía cinética del viento es aleatoria y poco predecible, por lo tanto, a través de una simulación en el software Ansys, se puede representar y considerar las variaciones, las ventajas y desventajas que pueden existir y encontrar en este tipo de turbina. Creando un diseño de turbina que funcione en tierra y no únicamente en barcos, se puede obtener energía de forma eficiente y constante.

Justificación

La tendencia hacia la generación de energía limpia como la energía eólica, no solo va en aumento si no que está llegando a convertirse en una necesidad para el planeta, la implementación de energía eólica en este caso la turbina cometa, tiene ventajas ambientales, sustentables y económicas. En la generación de energía limpia se busca modificarla de forma que sea fácil de transportar sin olvidar la eficiencia requerida, lo que hace a la turbina cometa una opción viable y efectiva, pero aún no se explota esta forma de obtención de energía, por eso, este trabajo busca aplicar la turbina cometa para comprobar su efectividad, sus ventajas y su sustentabilidad, utilizando el software se puede observar la eficiencia de la cometa en un ambiente constante y uno inestable. Considerando la cometa como una opción de energía limpia y poco implementado por lo reciente de su descubrimiento, la simulación de Ansys ayudara a que la turbina cometa pueda avanzar en el campo de la obtención de energía limpia, dejando de lado las pesadas estructuras.

CAPITULO II.- Generación Eléctrica

2.1 Introducción general sobre generación

La electricidad se produce mediante la interacción de cargas positivas y negativas, es una de las fuentes más esenciales en la vida cotidiana, la electricidad nos rodea, está en las herramientas del día a día y se ha convertido en algo necesario para la humanidad, tanto como para el ámbito físico, luminoso, mecánico y térmico. La generación de energía es una de las funciones que tienen fuentes sustentables como la biomasa, geotermia, solar, hidráulica, eólica entre otras. Para tener un sistema eléctrico para la generación de electricidad se necesita un conjunto de elementos que puedan operar en forma, para satisfacer la demanda energética, por eso las plantas de generación buscan la forma de obtener energía de forma limpia y sustentable sin dejar de lado lo más importante que es lograr abastecer la demanda energética. La generación de electricidad ha sido un proceso de gran importancia desde el siglo XX esto mediante combustibles fósiles. En 1999 el 63.7% de la electricidad se produjo en centrales térmicas con combustión derivada del petróleo, gas natural y carbón, el 17.2% en centrales nucleares, 17.5% en hidroeléctricas y 1.6% mediante otras fuentes de energía, abriendo así una nueva forma de generar energía de forma limpia (Rifkin, 1999).

La demanda de energía en el mundo pre- industrial es satisfecha principalmente por la fuerza del hombre y de los animales, el descubrimiento de carbón y de avances tecnológicos impulsaron las máquinas de vapor, la producción mecanizada y la mejoría en el transporte, fueron impulsadas por el carbón. Una gran proporción de la producción de carbón y gas se ha usado para generar electricidad. Se dice que la electricidad define al mundo moderno, cualquier cosa que se piensa como moderno desde el alumbrado eléctrico, a través de la radio, la televisión, los aparatos electrodomésticos, los dispositivos electrónicos, las computadoras, etc. El amplio desarrollo que tiene la electricidad coincidió con el desarrollo de la máquina de vapor y con el uso del gas como combustible y alumbrado. El alumbrado constituyó el primer uso comercial con respecto a la generación de electricidad

Tomas Edison desarrolló el filamento de carbón que produce luz a partir de la electricidad, pero el crecimiento de esta industria se dio realmente con el uso de la electricidad para generación eléctrica, como fue el caso de los tranvías para el transporte, el metro y los ferrocarriles, ahora incluso existen autos eléctricos. Algo importante en la generación eléctrica es la ciencia de la energía que trata los principios científicos, características, leyes, reglas, unidades, dimensiones, medidas, procesos, etc. Y todo esto acerca de las distintas formas de energía y la transformación de cada una, la ciencia de la energía también es la ciencia madre de la física, termodinámica, electromagnetismo, ciencia nuclear, ciencia mecánica, ciencia química, ciencia biológica y cada ciencia trata con cierta actividad, pero la energía es la esencia de esa actividad. La ciencia de la energía centra su atención sobre la energía y la transformación de la energía, las fuentes de energía más importantes son los recursos petroleros, el gas natural, el carbono, la energía hidráulica, la biomasa, la geotérmica, la solar y la eólica.

Existen distintas formas por las cuales se puede convertir la energía en electricidad por medio de las variaciones de energía que existen, desde la energía química a la térmica y de la térmica a mecánica, pasando finalmente a electricidad.

2.1.1 Generación hidráulica

La energía hidráulica no contamina y es sustentable, es la energía que se obtiene del movimiento de una masa de agua, se obtiene mediante presas, generalmente mediante turbinas colocados en un río, usando la energía cinética y potencial del agua transformándola en energía mecánica para obtener electricidad de forma que no se emitan gases contaminantes, una central hidroeléctrica puede variar en tamaño dependiendo del salto de agua o la corriente de agua aprovechando los grandes desniveles. Los molinos de agua romanos o las norias de la cultura musulmana son ejemplos del aprovechamiento de la fuerza del agua, pero hasta la invención de la electricidad y con su aplicación a finales del siglo XIX cuando el agua se contempla como una fuente básica para la producción de energía eléctrica (C.T., 2013). En 1880 se construyó la primera instalación que aprovechó la fuerza del agua que tenía una caída a gran altura como se observa en la Figura 2.0, para accionar una turbina que a la vez hacía girar un alternador que producía electricidad, era la central hidroeléctrica en Northumberland en Gran Bretaña.



Figura 2.0 Caída de agua en Bretaña.

Fuente: Gran Bretaña, Alamy.

La hidráulica, del latín *hydraulicus*, hace referencia a aquello que se mueve por medio de fluidos. El concepto se utiliza, en general, para nombrar al arte de contener, conducir y elevar las aguas. El agua es un elemento básico para la vida y recurso indispensable, a lo largo de la historia ha determinado el desarrollo humano, necesitamos agua para beber, agua para agricultura, para la obtención de energía, etc.

Una de las fuentes de energía eléctrica sustentable más importante puede ser el agua y esta puede obtenerse mediante la energía hidráulica. La energía hidráulica se distingue por su multipropósito que le permite ingresar a actividades como el regadío, el agua potable, el turismo, la pesca, la reducción de inundaciones, entre otros (Factor energía, 2007) (IBERDROLA, 2012).

En el aprovechamiento de la energía hidráulica influyen dos factores: el caudal y la altura del salto (la presa también sirve para aumentar el salto) otra forma de incrementar la altura de salto es desviar el agua por un canal de pendiente pequeña. La energía hidráulica es renovable sin embargo una de sus desventajas es el hecho de que es difícil encontrar lugares apropiados para las instalaciones de centrales hidroeléctricas, no es posible hacer predicciones de los años de sequía o de lluvia haciendo que al transportar la energía eléctrica producida se requiere de costosas redes, esto se puede observar en la Figura 2.1.

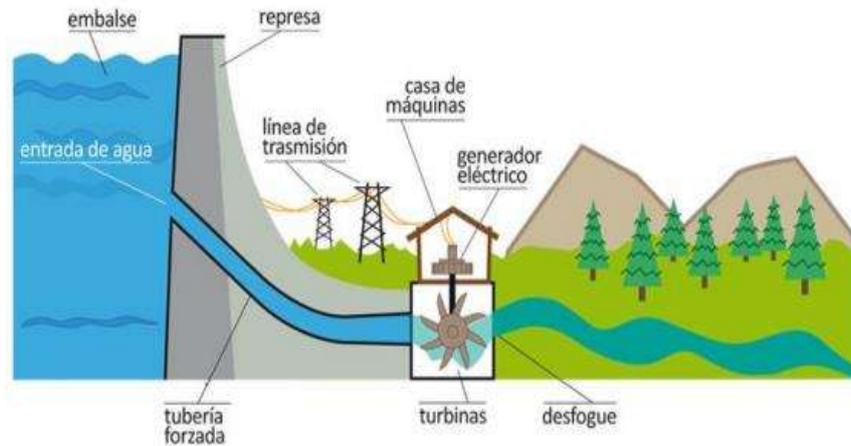


Figura 2.1 Esquema general de una planta de generación hidráulica.

Fuente: Centrales hidroeléctricas y térmicas, Energías renovables.

Al generar energía mediante la hidráulica es importante que electricidad y el agua no entren en contacto, aunque se requiere de agua para la obtención de electricidad es decir la una nutre a la otra, la fuerza del movimiento del agua ya sea de ríos o mares se usa para generar electricidad mediante la energía hidráulica (*Factor energía, 2007*).

El funcionamiento de una central hidroeléctrica es aprovechar la energía potencial del agua para convertirla en energía mecánica mediante el movimiento de una turbina y posteriormente se transforma en electricidad, dependiendo del caudal del río donde se situó se puede clasificar, en la Figura 2.2 se muestra una de las clasificaciones de las centrales. Las centrales hidroeléctricas pueden clasificarse por tamaño y potencia (Forez, 2012) :

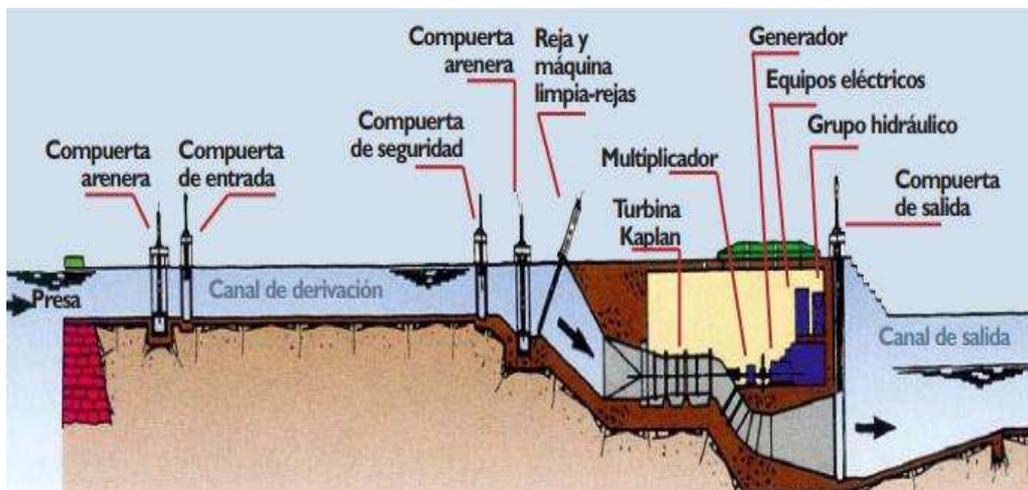


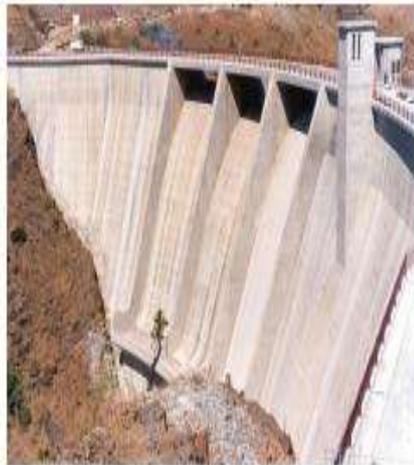
Figura 2.2 Funcionamiento de una planta minihidráulica.

Fuente: Hidrogeneración en pequeña escala, Energías renovables y desarrollo sostenible.

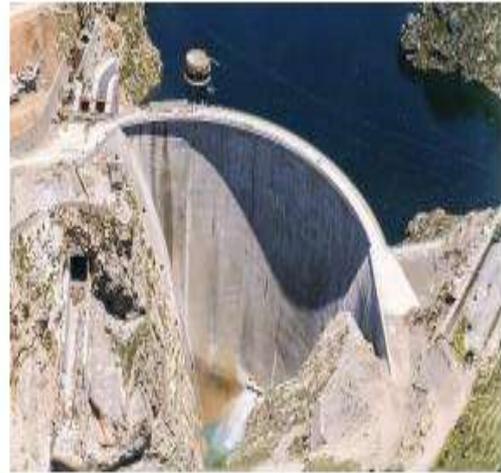
- Mini centrales: su potencia está entre los 250 y 5000 kW. Esta sirve mayormente para aprovechar el agua de pequeños ríos.
- Grandes centrales hidroeléctricas: su potencia supera los 5000 kW. Que pueden ser centrales de bombeo o centrales mixtas con bombeo.

Otra clasificación es:

- **Centrales de agua embalsada:** si el caudal del agua del río es variable se acumula el agua mediante un embalse de grandes dimensiones para obtener una producción constante, las presas pueden ser de diferentes tipos como de gravedad en esta su propio peso sirve para el empuje del agua y suele ser recta o cóncava. O de tipo bóveda en esta la presión del agua se transmite a las vertientes de las montañas, son presas más pequeñas y baratas. En la Figura 2.3 se observa el ejemplo de las presas tipo gravedad y tipo bóveda.



a)



b)

Figura 2.3 Ejemplos de presa de a) gravedad y de b) bóveda
Fuente: Presa arco, tipología y sistema estructural, eadic 2018.

- **Centrales de agua fluyente o derivación:** en este si el caudal es constante durante las diferentes estaciones, la energía potencial del agua se aprovecha directamente o con embalses de dimensiones pequeñas.
- **Centrales de pie de presa:** se sitúan debajo de los embalses y están destinados a usos hidroeléctricos o con fines de riego, a los que la central no afecta ya que no consume volumen de agua. Estas centrales tienen la ventaja de almacenar el agua y poder emplearla en los momentos en que más se necesiten.

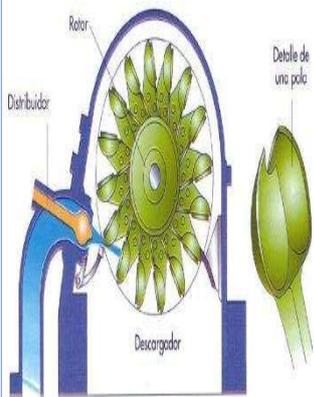
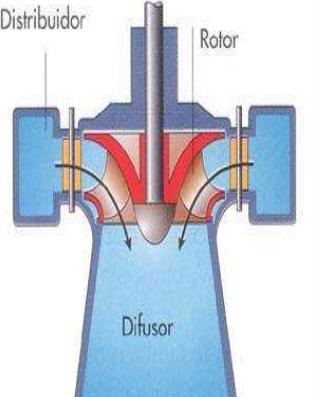
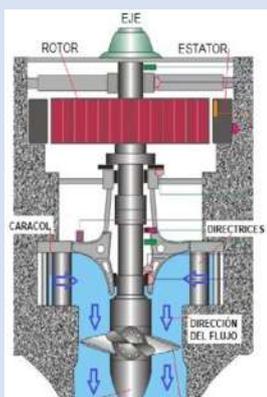
El tipo de turbina es un elemento fundamental en las centrales hidráulicas, hay de diferentes tipos:

- **Turbina de acción:** esta aprovecha la velocidad del agua, el modelo más adecuado suele ser la turbina Pelton o de inyección lateral este tipo de turbina de usa cuando hay saltos elevados y un caudal pequeño.
- **Turbina de reacción:** esta aprovecha la velocidad del agua y la presión, la turbina más adecuada para estos casos suele ser la Francis o la turbina Kaplan.

El uso de turbinas de este tipo es el hecho de ser más económicas, se pueden utilizar en zonas planas y no necesitan gran velocidad. La turbina Francis fue desarrollada en 1848 por el ingeniero francés *James B. Francis* y es el tipo de turbina hidráulica más utilizado,

la turbina Pelton fue introducida en 1879 por el carpintero e inventor americano *Lester Allan Pelton*, la turbina Kaplan que vio la luz en 1913 gracias al profesor austriaco *Viktor Kaplan*, sigue el principio de las hélices de un barco y la turbina Kaplan es una turbina de tipo axial en la que el caudal de agua hace que los álabes de la hélice giren hacia adentro y hacia afuera en dirección axial con respecto al eje de rotación de la hélice.

Tabla 1.0 Tipo de turbinas y sus diferencias.

Turbinas	Pelton	Francis	Kaplan
Imagen			
Con uso en caudales	Pequeños o grandes	Pequeños a medianos	Grandes
Con uso en desniveles	Medianos o grandes	Pequeños a medianos	Medianos y grandes
Costo de instalación	Menor	Menor	Alto

La generación hidráulica, independientemente del tamaño que tenga es una energía renovable debido al ciclo hidrológico natural y constante, pero solo se considera aprovechable la energía generada en las plantas con producción mayor a 250 kW.

Pero las desventajas que presenta es las alteraciones que tienen un efecto negativo sobre el entorno que lo rodea (cauces, erosión, pérdida de suelo fértil), la dificultad de hacer predicciones fiables ya que también depende de los cambios meteorológicos, altera la vida de los peces, el costo de transportar la energía debido a que las centrales no suelen estar cerca de las grandes poblaciones, la falta de lugares para la instalación de centrales, estos inconvenientes unidos a la inversión que requiere este tipo de centrales.

2.1.2 Generación geotérmica

La energía geotérmica es otro ejemplo de una fuente de energía sustentable, la geotermia estudia las condiciones térmicas del interior del planeta. La palabra geotermia se refiere al calor natural existente en el interior de la Tierra, este calor tiene dos fuentes: el colapso gravitatorio que formó la Tierra y el decaimiento radioactivo de varios isótopos en la corteza terrestre. Esta energía geotérmica es una fuente renovable que se ha utilizado en el mundo para generar energía eléctrica desde 1911, en México desde 1959 cuando empezó a operar la primer unidad geotermoelectrica en el país, con 3.5 MW de capacidad en el campo geotérmico de Pathe Hidalgo que actualmente está fuera de operación (Geothermal, 2000).

Esta energía se obtiene mediante el calor interno de la tierra como ejemplo esta los geiseres además se trata de un recurso inmenso. Debido a la variación en su temperatura, su aprovechamiento y aplicación depende de su temperatura como ejemplo en bajas temperaturas (-100°C) se aprovecha directamente el calor en calefacción, agua caliente domésticas y piscinas. Media y alta temperatura (superior a 150°C) este se somete a una serie de transformaciones para su utilización y se utiliza para la producción directa de energía eléctrica. La energía térmica de la tierra es inmensa, solo una fracción de ella podría ser utilizada por la humanidad. (Hiriart, 2011).

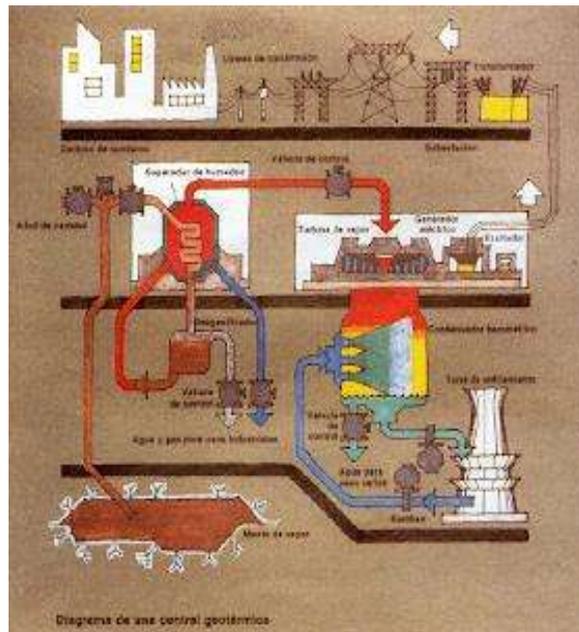


Figura 2.4 Diagrama de una central geotérmica.

Fuente: Centrales geotérmicas, V.G. 2009.

Este tipo de energía se obtiene a través del calor que se encuentra en el interior del planeta Tierra, el cual se transmite mediante diferentes cuerpos como ejemplo la Figura 2.4. La energía geotérmica puede obtenerse casi de cualquier lugar en el planeta y su uso sirve para la obtención de energía eléctrica, procesos de refrigeración y aprovechamiento del calor para sistemas de calefacción o de agua caliente (Dickson, 2020).

En función a la temperatura en la energía geotérmica se pueden emplear tres tipos de recursos:

- Alta temperatura: esta es ideal para generar electricidad y pasa los 150°C
- Media a baja temperatura: esta suele utilizarse para proveer a los hogares, los balnearios, las industrias y algunas veces a los invernaderos. Ronda entre 150 y 30 °C.
- Baja temperatura: este suele ser los más adecuados para los sistemas de climatización y ronda entre los 0 y 30 °C.

Los indicadores de los yacimientos en pueden ser:

- Volcanes
- Fumarolas
- Manantiales calientes

El correcto aprovechamiento del calor interno de nuestro planeta ofrece importantes beneficios como ventaja, está el hecho de ser una fuente inagotable los 365 días del año y muy abundante (Santoyo, 2010), tanto como para cubrir las necesidades energéticas. Reduce el consumo energético de recursos no renovables como el combustible, durante su producción no se generan residuos. También la energía indirecta se obtiene de centrales geotérmicas como se observa en la Figura 2.5.

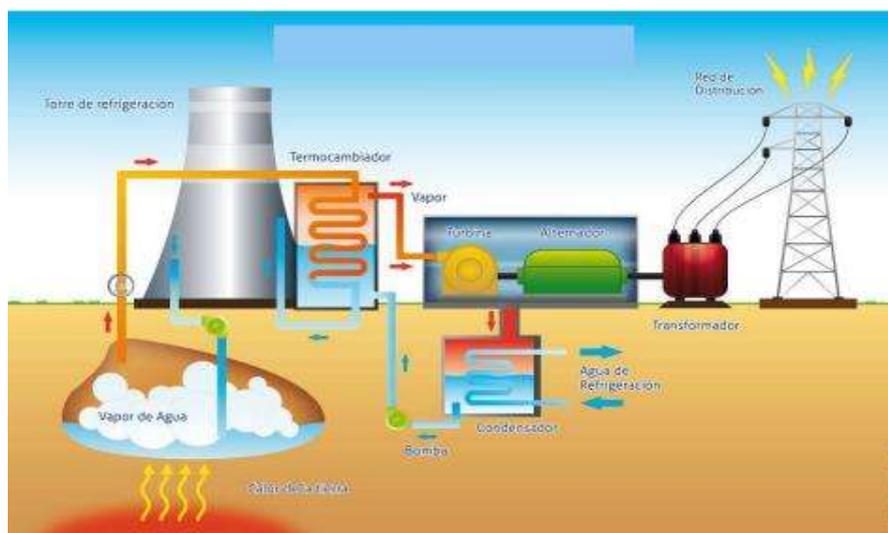


Figura 2.5 Central geotérmica.

Fuente: Impacto de las energías limpias, Sites

Los recursos obtenidos en la energía geotérmica se obtienen de yacimientos geotérmicos, se pueden encontrar yacimientos de agua caliente, yacimientos secos y geiseres.

- Los yacimientos de agua caliente pueden encontrarse en la superficie terrestre o ser subterráneos.
- Los yacimientos secos se encuentran en estado sólido y son muy secos como su nombre lo indica.
- El geiser es una fuente termal de origen 100% natural que emite agua caliente y vapor.

En las etapas de exploración de fuentes geotérmicas esta la exploración que tiene como objetivo identificar el recurso geotérmico, estimar el tamaño del recurso y

tipo de campo. Reconocimiento y factibilidad (Arellano, 2019) Otros tipos de etapas son:

- **Geología e hidrogeología:** identificar la ubicación y tamaño de las áreas de interés para posteriores estudios y definir los métodos de investigación más adecuados.
- **Geoquímica:** temperaturas esperadas (geotermómetros), tipo de fluidos, fuente de recarga, edad de los fluidos (isótopos).
- **Geofísica:** parámetros físicos de las formaciones geológicas, tales como conductividad eléctrica (SEV), densidad (gravimetría), susceptibilidad magnética (magnetometría).
- **Perforaciones de diámetro reducido:** confirmar el gradiente geotérmico y la existencia de fluidos geotérmicos.

Existen dos tipos de uso, directos e indirectos de la energía geotérmica, el uso directo aprovecha el calor inmediato del subsuelo si este es inferior a 150° C. Abarca la obtención de agua caliente sanitaria y la climatización de hogares o balnearios que se observa en la Figura 2.6. El uso indirecto se refiere a la obtención de electricidad, solo posible en yacimientos con más de 150° C donde se puede instalar una central geotérmica. La energía geotérmica directa se puede obtener a través de instalaciones llamadas bombas de calor, las cuales contienen un intercambiador de calor y el uso directo también es posible mediante tuberías intercambiadoras (Saavedra A, 2020).



Figura 2.6 Yacimiento de agua.

Fuente: Geiser y su forma, IngeOexpert.

Un sistema geotérmico está constituido por 3 elementos principales: una fuente de calor, un reservorio y un fluido, el cual transfiere el calor.

La fuente de calor puede ser una intrusión magmática a muy alta temperatura >600°C o bien un sistema de baja temperatura donde el gradiente geotérmico normal. Para identificar los tipos de sistemas geotérmicos existen cuatro tipos diferentes (H.Dickson, 2020):

1. **Sistema hidrotermal.**
2. **Sistema geotérmico mejorado.**
3. **Sistema marino.**

2.1.3 Generación fotovoltaica

Es la energía que se obtiene mediante la radiación del sol, la radiación solar que alcanza la tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, se produce en un proceso de fusión nuclear generando energía que es libre, haciendo que llegue a la tierra una parte de esta cantidad de energía, la radiación que llega a la tierra lo hace por dos vías diferentes que son la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es incide directamente con la superficie terrestre y la radiación difusa llega a la superficie por reflexión por la radiación absorbida por el polvo atmosférico. (Fotoltaica, 2018)

La energía solar térmica transforma la energía del sol en energía calorífica, esto puede ser en forma media (90°C a 200°C), baja (35°C a 90°) y alta temperatura (superior a 400°C) dependiendo la transformación que se pueda obtener, por ejemplo la baja temperatura generalmente es para calefacción doméstica, calentamiento de agua en hospitales y piscinas.

En las instalaciones a media temperatura la energía se capta mediante dispositivos especiales, los heliostatos que formados por espejos hacen que la radiación incida en un punto específico, principalmente esta instalación es de uso industrial. La instalación de alta temperatura es la denomina central termoeléctrica (Solarenergia, 2015).

En la obtención de energía solar a media temperatura se utilizan colectores:

1. Cilindrico-parabolica: estos recogen la energía solar y la transmiten a un fluido.
2. Heliostatos: estos son los que se conforman por espejos orientados para que la radiación de sol incida sea reflejada en un punto específico.

Los sistemas fotovoltaicos son un conjunto de paneles que transforman de forma directa la energía solar en energía eléctrica. Una de sus principales ventajas es que es inagotable, no contamina, permite procesos termodinámicos de alto rendimiento. Los paneles solares están conformados por un conjunto de celdas que producen electricidad mediante la luz que incide sobre el panel.

El parámetro para clasificar la potencia se denomina potencia pico y la potencia máxima que el panel pueda generar bajo ciertas condiciones como radiación de 1000W/m² y temperatura de células de 25°C.

Las placas fotovoltaicas se divide en:

- Cristalina
- Monocristalina
- Policristalina
- Amorfas

La placa es el elemento principal de un panel solar ya que se objetivo es recoger la radiación solar y transmitir el calor que esta transporta, normalmente está construida por un material metálico de color negro aunque para temperaturas inferiores a 50°C se utiliza. Materiales plásticos, como se muestra en la Figura 2.7 donde se observa el diseño de cada placa fotovoltaica.

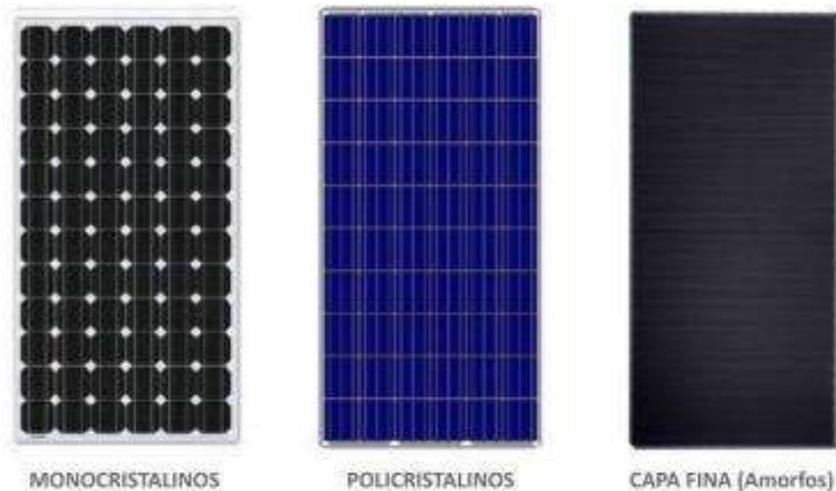


Figura 2.7 Tipos de placas fotovoltaicas.

Fuente: Tipos de paneles fotovoltaicos, Tritec intervento 2017.

Las células de silicio monocristalino se fabrican a partir de bloques de silicio cilíndricos. Para las policristalinas el proceso es diferente, se funde en bruto (con impurezas) el silicio y a continuación se vierte en un molde cuadrado. Como resultado, las láminas son todas perfectamente cuadradas. Al tener impurezas, se forman policristales que disminuyen la eficiencia (*Jacobo F., 2010*).

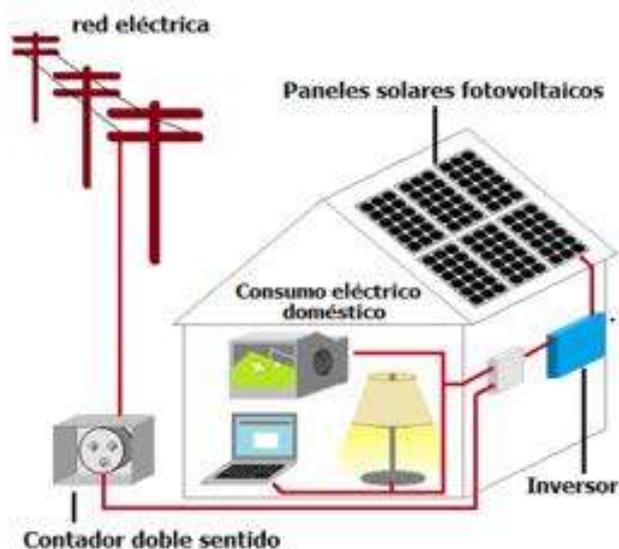


Figura 2.8 Funcionamiento de un panel solar.

Fuentes: Cómo funcionan los paneles solares, SEMS paneles solares.

El efecto fotovoltaico es la producción de una fuerza electromotriz en un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa como ejemplo la Figura 2.8. Los semiconductores son sustancias de conductividad eléctrica intermedia entre un aislante y un conductor.

Dependiendo del origen y proceso de la energía solar, se puede dividir en diferentes tipos como energía solar térmica y energía solar fotovoltaica. La energía solar térmica aprovecha el sol para producir calor que después se transforma en una fuente de energía

tanto como para su uso doméstico, así como industrial, se ve el funcionamiento de un panel.

En el caso de la energía solar térmica para el uso doméstico, es necesaria una instalación solar térmica de baja temperatura, con una instalación conformada por colectores o captadores solar, para capturar la radiación solar, para obtener suficiente energía para el uso doméstico como agua caliente o calefacción, pero la energía solar térmica se puede aprovechar a gran escala.

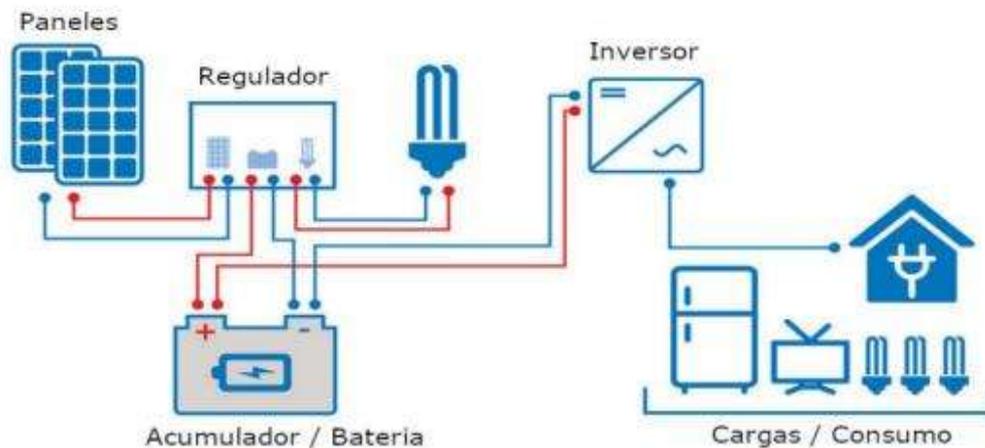


Figura 2.9 Esquema de instalación fotovoltaica aislada.

Fuentes: Sistema fotovoltaico, SolarTech Energy.

En la energía solar fotovoltaica al contrario que la energía solar térmica, la energía fotovoltaica consiste en obtener directamente la electricidad a partir de la radiación solar. Esto se consigue gracias a la instalación de paneles solares fotovoltaicos, que cuentan con células de silicio que transforman la luz y calor del sol en electricidad sin una conexión a la red como se indica en la Figura 2.9.

El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar.

Cuando los fotones inciden sobre una célula FV. Pueden ser reflejados o absorbidos. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. La energía solar es una fuente totalmente renovable que se obtiene del sol a partir de la radiación del sol (F., 2007).

La energía solar se puede dividir en tres tipos que se muestra en la Figura 2.10:

- **Energía solar fotovoltaica:** Se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico, es una fuente de energía renovable y limpia que utiliza la radiación solar para producir electricidad. Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones.
- **Energía solar pasiva:** se obtiene mediante componentes para un control del calor generado por el sol como ejemplo la calefacción solar.

- **Energía solar térmica:** este tipo consiste en la transformación de la energía solar en energía térmica, esta se puede utilizar en viviendas o instalaciones pequeñas.

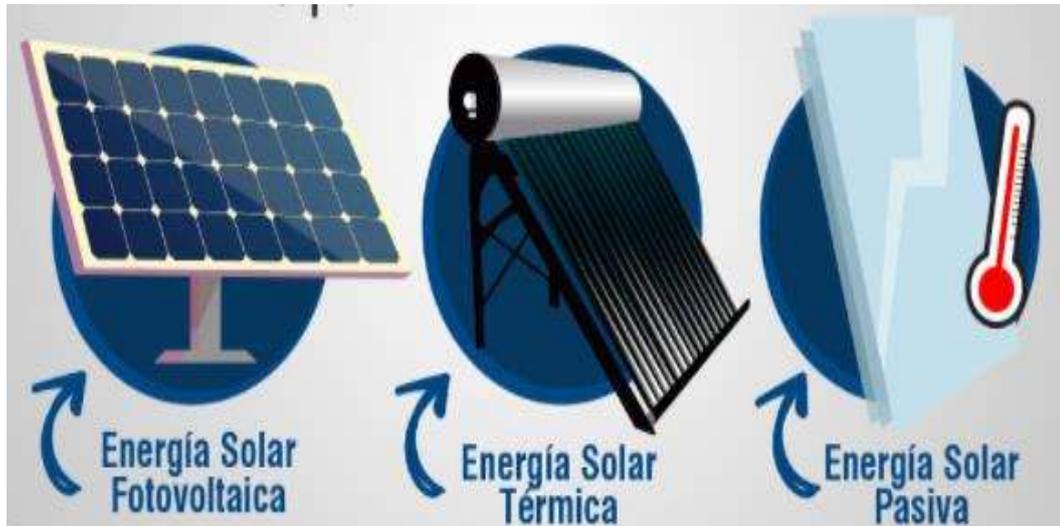


Figura 2.10 Ejemplos de la energía solar.

Fuente: Tres formas de aprovechar la energía solar, HG Ingeniería.

Los paneles fotovoltaicos están formados por grupos de células o celdas solares que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones). En las etapas iniciales de la implementación de la energía fotovoltaica, se emplea para proveer de electricidad a los satélites, la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) lanzó el satélite Nimbus, que dependía completamente de su serie de paneles solares fotovoltaicos de 47 kW para su operación. Después se descubrió la forma de utilizarlo en los hogares y empresas pero aun cuenta con ventaja y desventajas que se muestran en la Tabla 2.0.

Tabla 2.0 Ventajas y desventajas de la energía solar

ENERGIA SOLAR			
VENTAJAS	Es una energía renovable.	Es una energía limpia.	Previene la emisión de gases.
Desventajas	No se puede reutilizar.	Requiere de una inversión alta al comienzo depende del clima.	Es rentable solo en condiciones climáticas específicas.

2.1.4 GENERACIÓN BIOMASA

La energía es obtenida mediante los residuos, es una fuente sustentable y muy práctica ya que se puede transformar en combustible y electricidad (combustión, pirolisis y gasificación), se puede obtener de compuestos orgánicos formados en procesos naturales. En definición energética la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. La biomasa es una excelente alternativa energética por dos razones, la primera es que a partir de ella se puede obtener una gran diversidad de productos y la segunda es que se adapta perfectamente a todos los campos actuales de combustibles. Toda la energía que se puede obtener mediante materia orgánica se puede considerar como biomasa (ENDESA, 2019).

La biomasa se puede obtener fundamentalmente por tres vías, la biomasa cosechable, la biomasa residual y por ultimo de forma química. La biomasa cosechable se obtiene de determinados cultivos transformándolos en energía, la principal aplicación es la producción de calor en un proceso de combustión. La biomasa residual se obtiene de los residuos forestales, agrícolas y domésticos transformándolos en combustible, esta ofrece un gran aprovechamiento energético, este tipo de biomasa se utiliza principalmente en instalaciones que usan sus propios residuos. Se produce CO₂ de la combustión que se realiza mediante biomasa. Existen distintas formas de transformar la biomasa en energía que se pueda aprovechar como el método termoquímico o el método bioquímico.

La biomasa obtenida de forma química se puede dividir en cuatro métodos termoquímicos:

1. Combustión
2. Pirolisis
3. Gasificación
4. Co-combustión

La combustión existe cuando se quema la biomasa como se observa en la Figura 2.11, es el modo más sencillo para recuperar la energía de la biomasa de donde se obtienen gases calientes para producir calor y utilizarse en casas, en la industria y para la producción de electricidad.

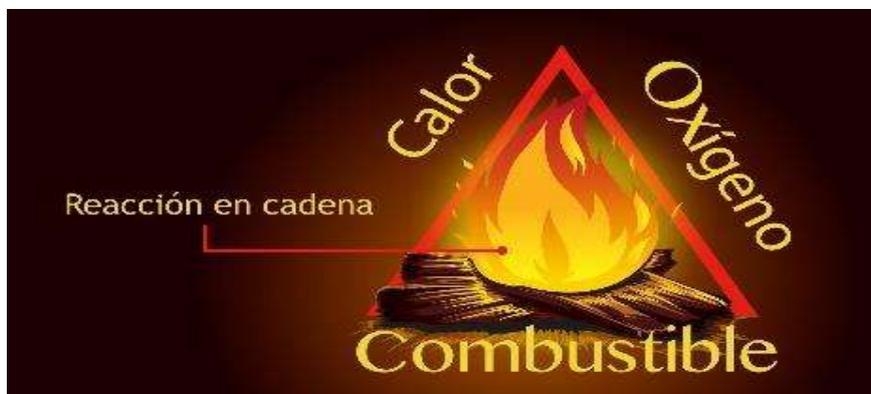


Figura 2.11 Ejemplo de combustión.

Fuente: Combustión, Portal académico.

La pirolisis se trata de descomponer la biomasa para que a través de este proceso se obtengan gases formados por hidrogeno, oxido de carbono e hidrocarburos como ejemplo la Figura 2.12.

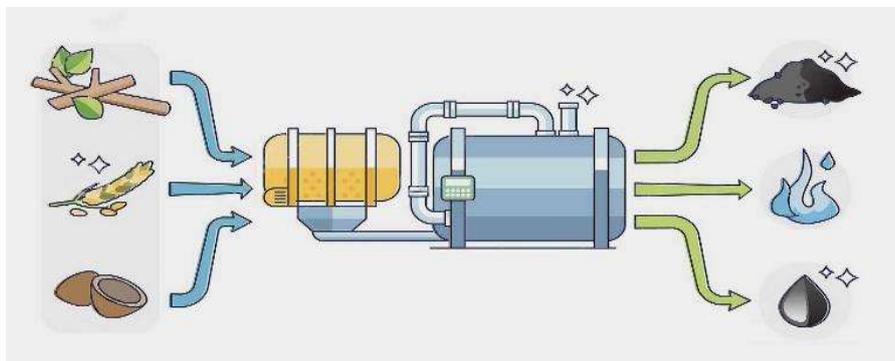


Figura 2.12 Ejemplo de pirolisis.

Fuente: La pirolisis como futuro generador de biocombustibles.

En la gasificación se da cuando hay una combustión y se producen diferentes elementos químicos como monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogeno y metano, dependiendo de si se utiliza oxigeno o aire se pueden tener dos procedimientos de gasificación ya sea el gaseogeno (o gas pobre) y el gas de síntesis.

Por último, la co-combustion consiste en utilizar la biomasa como combustible de ayuda mientras se realiza la combustión de carbón en las calderas, este proceso ayuda a reducir el uso y consumo de carbón.

Los métodos bioquímicos se llevan a cabo utilizando diferentes tipos, de microorganismos que degradan las moléculas esto en biomasa con alto contenido de humedad. Un ejemplo puede ser la fermentación alcohólica ya que consiste en la fermentación de hidratos de carbono que se encuentra en la planta para conseguir alcohol otro ejemplo puede ser la fermentación metanica es la digestión sin oxígeno (anaerobia) donde la materia orgánica se fermenta y crea el biogás (Energy, 2019). Pero como desventaja esta que produce emisiones contaminantes como ejemplo de la clasificación de biomasa la Figura 2.13

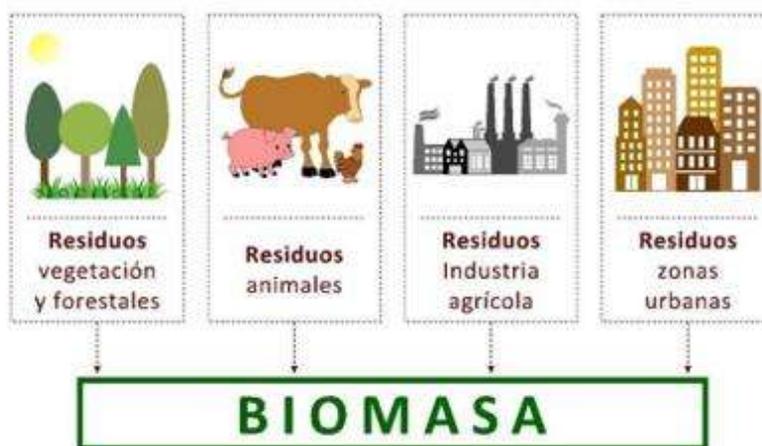


Figura 2.13 Tipos de biomasa.

Fuente: Tipos de biomasa, Bioecomasa 2013.

La biomasa se puede clasificar en tres grupos:

- **Biomasa natural:** es la que se produce en la naturaleza sin intervención.
- **Biomasa residual:** son residuos que provienen de las actividades de las personas como residuos sólidos urbanos.
- **Biomasa producida:** son los cultivos energéticos con finalidad de su aprovechamiento energético.

Producción de energía térmica: son sistemas de combustión directa, que se utiliza para obtener calor y utilizarlo en cocinar alimentos o secar productos agrícolas, su mayor inconveniente es que genera contaminación.

Producción de biogás: es un gas que se obtiene y genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por medio de la reacción de biodegradación de materia orgánica mediante microorganismos y otros factores en ausencia de oxígeno (anaeróbico), la producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo útil para tratar con residuos biodegradables para la producción de combustible.

Producción de biocombustibles: son combustibles para transportes derivados de fuentes renovables como plantas, cuando se queman los biocombustibles liberan CO₂ sin emisiones de carbono, hay diferentes tipos, los biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos. También se clasifican por primera generación, segunda generación y tercera generación, los de primera generación se producen por medios convencionales utilizando como fuente azúcar, almidón, aceite vegetal o grasas animales. Los de segunda generación se producen a partir de cultivos que no son destinados a alimentación estos son considerados como desperdicios como los tallos, vainas, virutas de madera, cáscara de fruta y entre otras. Y los de tercera generación son los que se producen a partir de algas, la producción de aceites o combustible de alga conlleva la fermentación de carbohidrato de alga.

Producción de energía eléctrica: La electricidad se puede producir por combustión o gasificación, la producción de energía eléctrica con biomasa es un sistema ecológico, respetuoso con el medio ambiente y de poco costo, hay dos formas de producción con biomasa natural y residual, la natural es aquella que abarca bosques, árboles, matorrales, plantas de cultivo, etc. La residual es aquella que abarca los residuos de paja, aserrín, estiércol, residuos de mataderos, residuos urbanos.

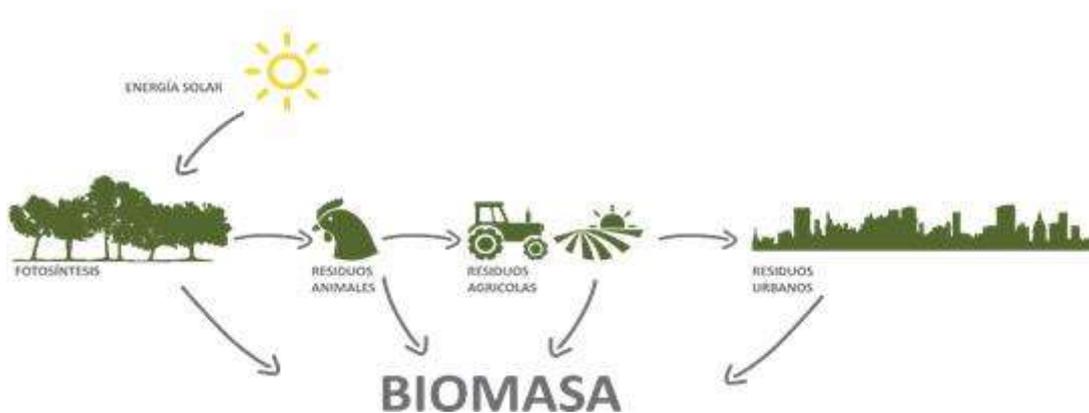


Figura 2.14 Producción de biomasa.

Fuente: Energía de la biomasa, Trace S.S.

Las principales fuentes de donde se obtiene la energía de biomasa son la basura y desecho que pueda ser aprovechable como en la Figura 2.14, la madera no es el único material biológico que se quema para la obtención de energía además las algas se han investigado estos últimos años como una fuente aprovechable, parte de la madera aprovechada para generar energía de biomasa, son desechos y restos de la explotación de madera para otros fines.

Así, se queman ramas, árboles muertos y tocones (el trozo de árbol que queda enraizado e inservible tras la tala del tronco). También se engloba dentro de la energía de biomasa el biocombustible, ya que se produce con materia orgánica. Para ello, se utilizan plantas que tienen azúcares, los cuales pueden ser fermentados para producir un alcohol denominado bioetanol, o bien plantas que producen aceite, lo que permite crear un biodiesel como en la Figura 2.15.

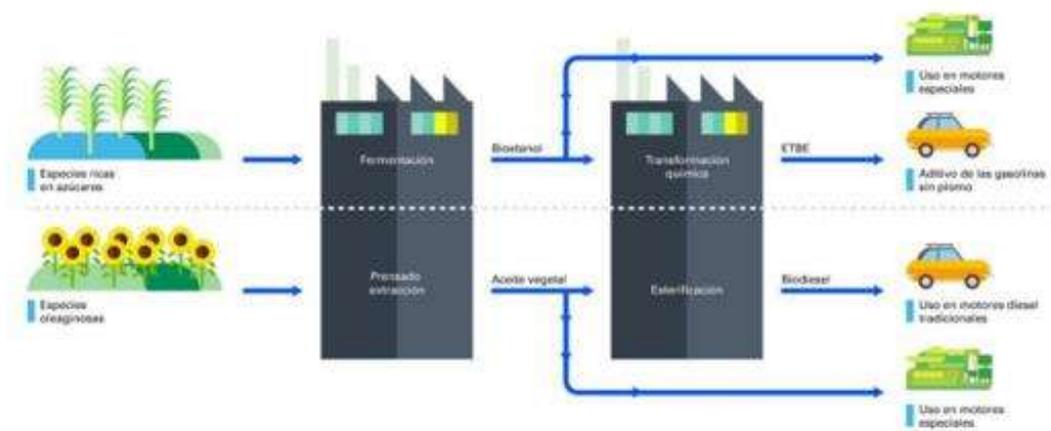


Figura 2.15 Producción de bio-combustible.

Fuente: Centrales de biomasa y sus tipos, Endesa F.

La biomasa en procesos de tipo agrícola como industrial, como ejemplo la producción de alcohol carburante o el bioetanol, lignocelulosa y los subproductos agroindustriales han dejado de ser considerados productos de desecho-problema, para convertirse en materia prima potencial para diversos usos en aprovechamiento energético.

Para producir biomasa se utilizan calderas donde la materia se quema poco a poco lo que ocasiona que se genere cenizas que pueden utilizarse como abono.

La biomasa es la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, siempre y cuando la obtención de la biomasa se realice de una forma renovable y sostenible. Esto ocurre cuando el consumo del recurso se hace más lentamente que la capacidad de la Tierra para regenerarse. De esta manera, la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂ del que libera en su combustión, sin incrementar la concentración de CO₂.

La desventaja de esta energía es que su rendimiento es menor al de otros tipos de energía, se requiere de grandes terrenos disponibles para su producción y para su almacenamiento, necesita de algún tipo de combustión, además requiere de un mantenimiento específico y requiere de procesos químicos en ocasiones.

2.2 Generación eólica

El viento es la corriente de aire que se produce en la atmosfera por causas naturales, el aire ha sido aprovechado de distintas formas por diversas culturas a lo largo del tiempo, como en el caso de molinos de vientos, pero conforme pasan los años la evolución de estos molinos ha pasado a la obtención de energía. En el siglo XX con la invención de los motores de combustión interna, la navegación a vela quedó relegada solo a las actividades deportivas y a algunas actividades comerciales en pueblos costeros, pero con el aumento en los precios del petróleo y la contaminación que genera, la energía eólica resulto la opción más útil para los barcos como medio (Lannini, 2004)

Las primeras máquinas eólicas documentadas datan del siglo VI (d.c.) que contaban con un eje vertical y se utilizaban para moler grano como se muestra en la Figura 2.16. Durante la edad media se construyeron muchos molinos (Danish, 2003). En otras regiones del mundo la aparición de alternativas más baratas de abastecimiento energético ocasionó que paulatinamente fueran reemplazando por maquinas o motores.



Figura 2.16 Primeros molinos.

Fuente: Historia del molino de viento, L.M. 2017.

Los molinos de viento o los aerogeneradores son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica, aunque existen dos tipos básicos de molinos, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo, la captación de energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje a través de un rotor, el principio aerodinámico por el cual este sistema gira es similar al que realizan los aviones cuando vuelan. Este principio menciona que el aire que es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante, que actúa sobre el perfil. Descomponiendo esta fuerza en dos direcciones se obtiene: la fuerza de sustentación de dirección perpendicular al viento y la fuerza de arrastre de dirección paralela al viento.

La energía eólica es la que se produce mediante el viento, fue una de las principales energías en ser utilizada, como ejemplo los barcos de velas y los molinos de viento fueron de las primeras aplicaciones de aprovechamiento de energía eólica. A diferencia de los molinos de agua, estos equipos se caracterizan por tener pocas palas porque de esta manera transforman con mayor eficiencia la energía primaria contenida en el viento,

ahora existen sistemas que nos ayudan a aprovechar la energía cinética del viento convirtiéndola en energía eléctrica mediante turbinas (aerogeneradores).

La principal aplicación de la energía eólica son las aerobombas y los aerogeneradores:

- Las aerobombas se utilizan para elevar el agua logrando bombear litros de agua por hora cantidad suficiente para las necesidades de pequeñas áreas agrícolas. Los aerogeneradores se usan para la producción de energía eléctrica, para esto se instala una torre en cuya parte superior existe un rotor con diversas palas (aspas o hélices) que orientan a la dirección del viento, estos rotores actúan sobre un generador que obtiene energía eléctrica. Entre sus ventajas está el hecho de ser una energía limpia, inagotable, no contaminante y una vez instalada la captación es gratuita. Ahora para lograr un mayor aprovechamiento de la energía del viento se están desarrollando modelos encaminados a la producción eléctrica con un menor tamaño, una mayor duración y que requiera menos mantenimiento, sin dejar de lado el impacto que puede tener en el medio ambiente, la turbina cometa cumple con todas las necesidades que se busca obtener en cuanto la producción eléctrica mediante la energía eólica.
- Un aerogenerador necesita una buena ubicación para esto se necesita la localización ideal, para saber si un lugar es apto para ser aprovechado hay que tomar en cuenta principalmente la constancia y uniformidad del viento en la zona, son las características que ayudan a determinar si la energía eólica resulta aprovechable en esa zona, después se considera la topografía, la flora y fauna, la construcción debido a que los retrasos que pueda presentar el viento, también es importante considerar la densidad del aire ya que afecta la productividad de un aerogenerador. Otra cosa a considerar es el número de palas en un aerogenerador, la razón más importante es la estabilidad de la turbina ya que un rotor con un número menor a tres palas puede resultar poco favorable para la producción de energía.

La energía cinética es la energía que tienen los objetos en movimiento, no puede obtenerse energía simplemente del aire, sino del aire cuando se mueve, como en el viento. Esto implica que solo se puede aprovechar la energía cinética en los lugares y momento en que el aire es más fuerte y eso es a mayor altura.

Un aerogenerador lo conforman la torre; un sistema de orientación ubicado al final de la torre, en su extremo superior; un armario de acoplamiento a la red eléctrica pegado a la base de la torre; una góndola que es el armazón que cobija los componentes mecánicos del molino y que sirve de base a las palas; un eje y mando del rotor por delante de las palas; y dentro de la góndola, un freno, un multiplicador, el generador y el sistema de regulación eléctrica. Las palas están conectadas al rotor, a su vez conectado al eje, que envía la energía de rotación al generador eléctrico. Este generador utiliza imanes para producir voltaje eléctrico y, por tanto energía eléctrica. Para obtener electricidad a partir del viento es necesario accionar máquinas que por arrancar prácticamente en vacío no exigen el rotor eólico un gran par de arranque, los generadores eléctricos pueden ser de corriente continua o de corriente alterna (Wordpress, 2015). En la Figura 2.17 se observa los componentes principales de la turbina.

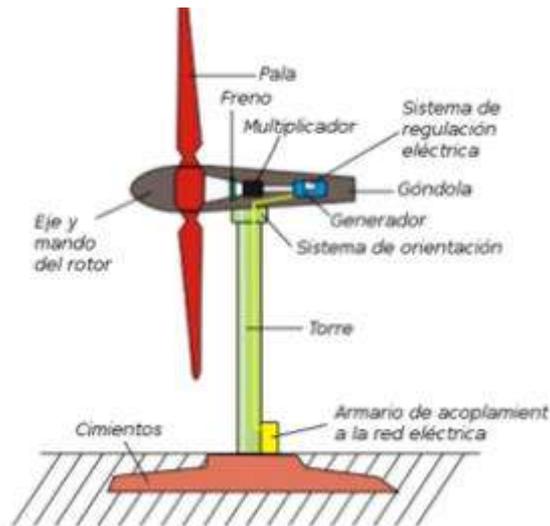


Figura 2.17 Componentes de una turbina eólica.

Fuente: Energía eólica, Factorenergía 2018.

Funcionamiento de las tres principales partes del aerogenerador:

1. **El rotor:** compuesto por tres palas y el buje que las une, su función es captar la fuerza del viento y convertirla en energía mecánica de rotación.
2. **La multiplicadora:** unida al motor mediante un eje, su función es elevar la velocidad de giro de 30 revoluciones por minuto.
3. **El generador:** este elemento se encarga de convertir la energía mecánica de rotación en energía eléctrica.

La energía eólica no solo ha tenido grandes avances económicos, también se puede implementar tanto en forma terrestre como marina, haciendo esta energía una fuente sustentable y útil en todos los territorios.

Energía eólica terrestre se encarga de producir energía eléctrica a partir del aprovechamiento del viento que realizan los parques eólicos emplazados en tierra. Cada uno de los aerogeneradores están unidos por cables subterráneos que llevan la energía eléctrica a una subestación transformadora.

Energía eólica marina se obtiene al aprovechar la fuerza del viento que se produce en alta mar, donde se alcanza una velocidad mayor y más constante. La energía marina también conocida como offshore se obtiene de una manera muy similar a la terrestre, mediante aerogeneradores que permiten aprovechar la fuerza del viento para producir electricidad con la diferencia de que la energía offshore requiere que los aerogeneradores se coloquen en medio del océano para aprovechar los vientos fuertes que se producen en el mar, el viento suele ser más regular en el mar debido a que no tiene obstáculos como suelen existir en tierra (J., 2014).

La energía captada por el rotor de una máquina eólica se transforma inicialmente en energía mecánica disponible en un movimiento rotativo. Este movimiento puede utilizarse para impulsar dispositivos que la transformen en otras formas de energía: mecánica, eléctrica, térmica o potencial. Las aplicaciones más efectivas serán aquellas en

las que se llega al uso final de la energía con el menor número de transformaciones (Gregori, 2013).

Ventajas: además de ser renovable, no produce emisiones tóxicas ni contaminantes, no genera residuos, ayuda a reducir el uso y consumo de combustibles fósiles como el petróleo, contribuye a frenar el efecto invernadero y la lluvia ácida, no erosiona, no altera las características del suelo, puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, permite el autoabastecimiento, es independiente a la red eléctrica, su rendimiento es excelente y logra abastecer la necesidad energética (Foro científico, 2019).

Su principal desventaja es que el viento, en general, es intermitente y aleatorio, en cuanto al aspecto ambiental, los parques eólicos producen impacto visual y ruido.

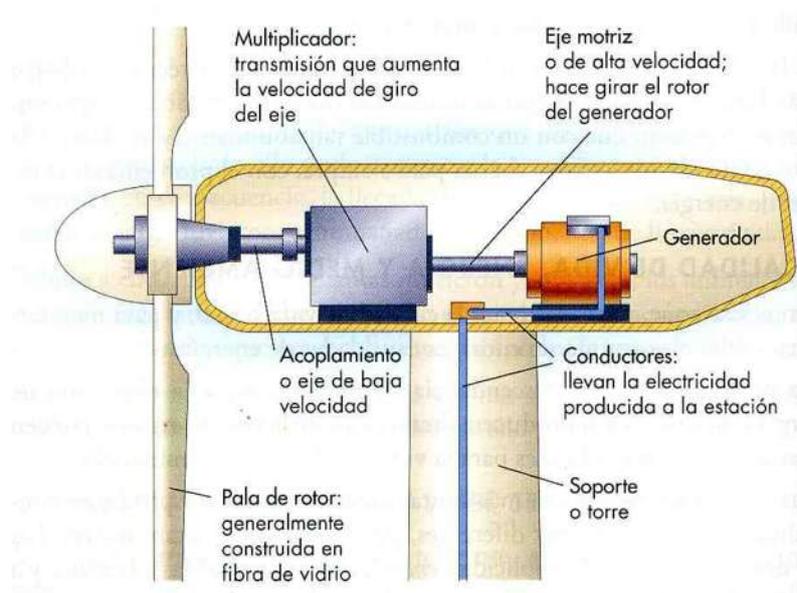


Figura 2.18 Componentes de la turbina eólica.

Fuente: proyecto energías renovables, Sites.

Los aerogeneradores se diseñan a diferentes alturas dependiendo del régimen de viento del emplazamiento en el que está situado, la potencia de la turbina, del diámetro de barrido de las palas, etc. Los componentes se pueden dividir entre la parte interna y externa como en la Figura 2.18.

Los componentes internos de un aerogenerador:

- Eje principal: Une el rotor con la multiplicadora.
- Multiplicadora: Es un elemento mecánico complejo, no todos los aerogeneradores disponen de ese elemento.
- Equipamiento eléctrico: Es un generador eléctrico, transformador cuadros eléctricos y cableados.
- Sistema de control: Está encargado del arranque, parada, orientación, paso de palas, etc. Y mantiene comunicación con la base de control.
- Mecanismos auxiliares: Cumple determinadas funciones como bloqueo del rotor, el bloqueo del sistema de orientación de la góndola, el mecanismo de orientación de las palas, el mecanismo de orientación de la góndola, los diversos sistemas de

lubricación de los elementos cuya fricción necesita ser reducida y los medios de elevación.

- Ascensor: son montacargas de baja velocidad, menos de 0.15 m/s, dotados de diversos elementos de seguridad de acuerdo con las normativas de sector.
- Escaleras de acceso: la escalera tiene un dispositivo anticaídas y suele dividirse en varios tramos, al final de cada uno hay plataformas de descanso.
- Rotor: Está compuesto por toda una serie de elementos cuya función es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica.

Los componentes externos de un aerogenerador como se muestran en la Figura 2.19:

- Cimentación: Es la parte en cargada de soportar el peso del aerogenerador, manteniendo su posición y soporta la carga del viento.
- Torre: sobre la base se levanta un tubo o torre, generalmente metálico, aunque puede ser de hormigón o celosía.
- Góndola: en esta parte se alojan todos los elementos internos.
- El buje: Elemento estructural al que se encuentran unidas las palas, transmitiendo la potencia extraída del viento a la caja multiplicadora.
- Las palas: Son la parte con mayor longitud y se encargan de la conversión de energía cinética.
- Estación meteorológica: Son los sensores que miden temperatura, velocidad y la dirección del viento.
- La baliza de señalización de posición: Para indicar la presencia de un elemento de gran altura y elementos volantes.
- El pararrayos: Su misión es capturar la energía generada en descargas eléctricas atmosféricas y conducir las a tierra.

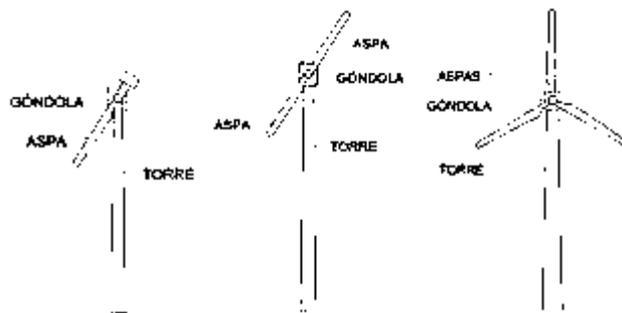


Figura 2.19 Componentes externos.

Fuente: Fabricación para un generador eólico, G.A. 2017.

Profundizando más en las fuentes alternativas para las turbinas eólicas cabe mencionar la nueva tecnología en desarrollo de las turbinas submarinas, las cuales utilizan la energía hidráulica para generar electricidad y las turbinas eólicas sin aspas, que disminuyen el impacto ambiental y aprovechan de mejor manera la dirección del viento. Aerogeneradores de mayor potencia con una mejora en los costos de inversión y de producción eléctrica, así se ha iniciado el desarrollo de la energía eólica marina con la implementación de parques que ya han acreditado su viabilidad técnica y económica, los dos parques se distinguen como terrestres o onshore y los marinos o offshore (CICESE, 2020).

2.1.5.1 Energía eólica VAWT

En inglés Vertical Axis Wind Turbine. Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento. Los aerogeneradores son de eje horizontal como muestra la Figura 2.20 y principalmente de tres palas, con un sistema de orientación y torre.

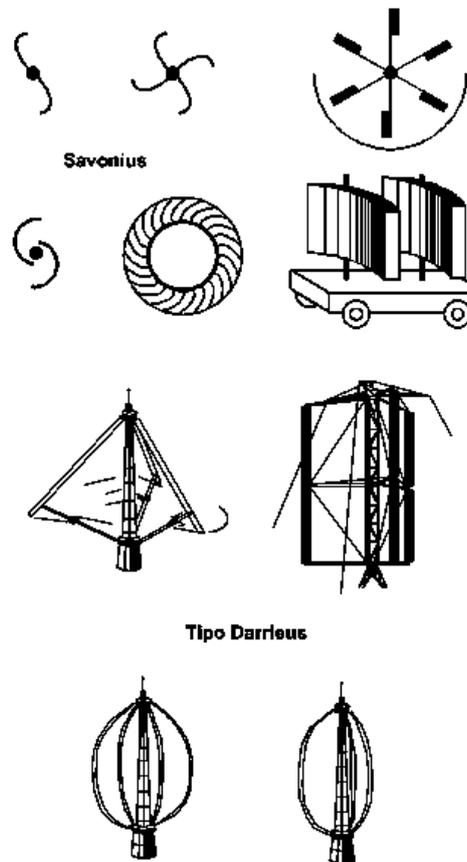


Figura 2.20 Molino de eje vertical.

Fuente: mecanismos para el aprovechamiento eólico, M.

Otro tipo de aerogenerador de eje vertical es el rotor de Savonius, se encuentra mayormente en yates de vela, con la función de suministrar corriente a instalaciones de radio incluso otros aparatos, pero sigue teniendo una baja eficiencia energética debido a su diseño. Entre las máquinas de eje vertical su funcionamiento es por dos procedimientos, el arrastre en el que el viento empuja los alabes y la elevación en el que los alabes se mueve de un modo parecido a las alas de un avión.

De eje vertical o VAWT: Tienen la ventaja de no necesitar orientarse respecto a la dirección del viento, además los equipos de generación y control se ubican al pie de la estructura simplificando de esta manera el acceso a los mismos y abaratando por consiguiente el mantenimiento, como principal elemento desfavorable se puede mencionar la baja eficiencia de la conversión energética (Vazquez, 2008)

Los aerogeneradores de eje giratorio vertical cuenta con poca presencia en el mercado, en este caso los rotores de Darrieos son los más comunes, su ventaja es el hecho de que presenta pocas pérdidas, incluso en condiciones en las que el viento es muy turbulento,

sin embargo la forma de las palas solo adopta una configuración óptima con respecto al flujo del viento en un tiempo breve, por lo que su eficiencia solo alcanza el 30%, a diferencia del 40% o 50% que ofrece un aerogenerador no vertical como se observa en la Figura 2.21. Además el diseño de las alas causa que se aparte de la dirección principal del viento lo que ocasiona vibraciones que perjudican la instalación.



Figura 2.21 Aerogenerador vertical.

Fuente: Energías alternativas: energía eólica, Slide.

La característica principal de los molinos de eje vertical es que no requieren de sistemas de orientación. Entre sus ventajas está el hecho de evitar complejos mecanismos de direccionamiento y elimina los esfuerzos a que se ven sometidas las palas ante los cambios de orientación del rotor. Por su disposición permite colocar los sistemas de conversión prácticamente a nivel de suelo, evitando pesadas cargas en las torres, como ocurre en los de eje horizontal. Existen dos diseños básicos de rotores de eje vertical: *Savonius* y *Darrieus* como muestra la Figura 2.22.



Figura 2.22 Rotor Savonius.

Fuente: Turbina de viento, Dreamstime.

El rotor Savonius trabaja esencialmente por arrastre, tiene un alto par de arranque pero su eficiencia es pobre. Por su sencillez y bajo costo es fácil de construir con técnicas artesanales, se emplea en aplicaciones que requieren potencias pequeñas como es el caso de los extractores de aire en grandes edificios industriales o depósitos y en bombeo de agua. El diseño original de palas curvadas ha dado origen a otras configuraciones,

tratando de mejorar algunas características constructivas u operacionales. Tal es el caso de la combinación con rotores Savonius para aumentar el par de arranque. Se han concebido y ensayado otros tipos de máquinas eólicas de eje vertical. Tal es el caso de las torres vorticosas en las que se induce una circulación de aire, por el interior de una torre hueca, que succiona aire exterior haciéndolo pasar a través de una turbina ubicada en la base como muestra la Figura 2.23. Un esquema similar siguen las torres en donde el flujo de aire es inducido por calentamiento con energía solar. Estas variantes no han pasado del nivel de prototipo.

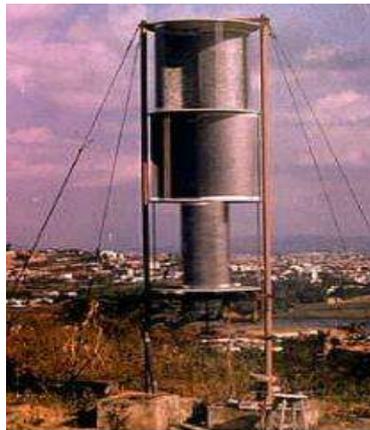


Figura 2.23 Turbina hueca.

Fuente: Mecanismos para el aprovechamiento eólico, M.

El órgano principal para una turbina es el rotor. Éste transforma la fuerza del viento (energía cinética) en energía mecánica, transmitida a un eje motriz, el cual, a su vez, acciona algún generador eléctrico. Los rotores de eje vertical son conocidos como menos eficientes que los de eje horizontal; pero, bajo un análisis teórico, este hecho no es verídico. La mayoría de los trabajos de investigación han sido dirigidos al análisis de las superficies que son más eficientes. Por ejemplo, la máquina *Savonius* fue la precursora de las turbinas de eje vertical, aumentando sustancialmente el valor de la eficiencia que se había obtenido prácticamente hasta entonces en 1929, y a partir de 1986, el coeficiente de potencia de la turbina *Darrieus* se hizo comparable a los rotores de dos palas de alta velocidad (eje horizontal).

Turbina Savonius: Esta turbina extrae la energía del viento por medio de dos semicilindros ahuecados desplazados. El torque de giro se produce por el cambio de momento del viento que pasa a través de ella, como también del efecto aerodinámico que origina una reacción perpendicular a una corriente de aire, cuando un cilindro gira dentro de ella, efecto que se conoce con el nombre de Magnus. Tiene un buen torque de partida, pero su eficiencia es más baja comparada con el rotor *Darrieus*. También al igual que ésta última, no necesita orientarse con respecto al viento para poder girar.

Las principales desventajas son:

- Las velocidades del viento cerca del nivel del suelo son muy bajas, por lo que a pesar de que ahorrarse la torre, sus velocidades de viento son muy bajas.
- La eficiencia promedio de la máquina de eje vertical no es impresionante.
- La máquina no es de arranque automático.
- La máquina puede necesitar cables tensores.

2.1.5.1 Energía eólica HAWT.

En inglés Horizontal Axis Wind Turbines. Maquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento como se muestra en la Figura 2.24.

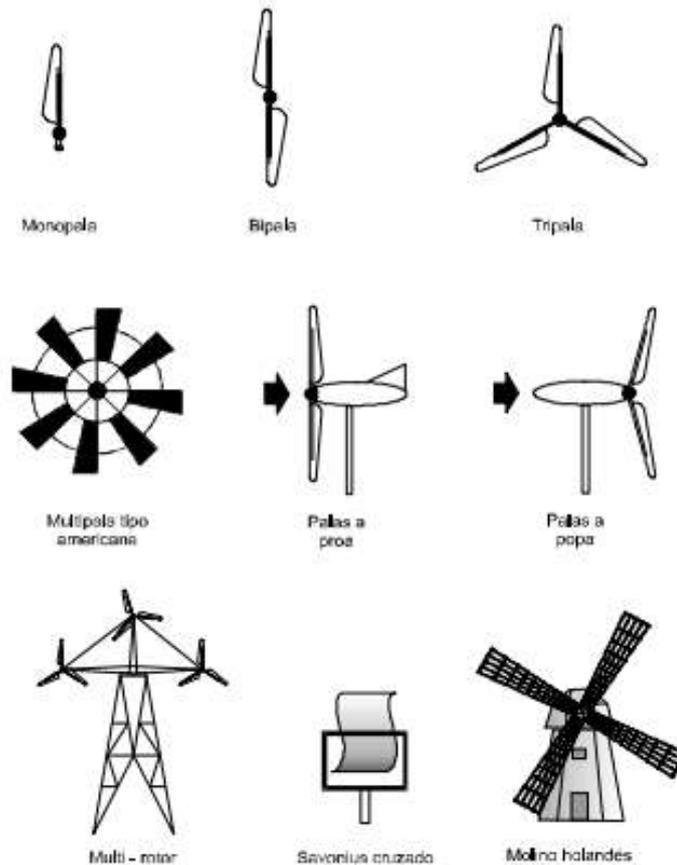


Figura 2.24 Molinos de eje horizontal.

Fuente: Wind Energy Explained, J.F.

De eje horizontal o HAWT: Estos son más habituales y convencionales. En ellos el plano de rotación debe conservarse perpendicular a la dirección del viento para poder captar la máxima energía, en consecuencia, para adecuarse a las variaciones de dirección, debe instalarse algún mecanismo que oriente la posición del rotor. Su principal ventaja es que al estar a una altura de entre 40 y 60 metros del suelo, aprovecha mejor las corrientes de aire con una eficacia muy alta en la conversión. Como desventaja sus grandes dimensiones dificultan su instalación (Brian, 2016)

Los molinos de eje horizontal son los más difundidos y los que han permitido obtener las mayores eficiencias de conversión; los diseños más utilizados. En su gran mayoría, la conversión de la energía disponible en el eje del rotor en otra forma de energía, se realiza mediante dispositivos ubicados sobre la torre. Tal es el caso de las turbinas eólicas destinadas a la producción de electricidad donde el generador eléctrico, acoplado al eje del rotor a través de un multiplicador. Las denominas máquinas rápidas, con palas de perfil aerodinámico y casi exclusivamente empleadas para generación de electricidad.

Los rotores con palas en un principio no requieren de sistemas de orientación pues las fuerzas en juego tienden a orientarlo naturalmente, aunque en máquinas de gran tamaño se prefiere emplearlos para evitar los "cabeceos" que someterían las palas a vibraciones perjudiciales. En el caso de palas los sistemas de orientación son imprescindibles, en molinos pequeños se emplean las clásicas colas de orientación pero en los grandes se prefieren los servomecanismos. Existen diferentes modos de prevenir aumentos descontrolados de la velocidad de rotación del rotor en presencia de vientos fuertes, o de regularla ante condiciones variables de la carga. Van desde el cambio de paso, o "calaje" de las palas, la utilización de "flaps" que se abren y aumentan la resistencia al viento, hasta dispositivos que desplazan el rotor de su orientación ideal logrando que aumenten las pérdidas aerodinámicas. Prácticamente todas las máquinas disponen de dispositivos de frenado para poder detenerlas bajo condiciones extremas de viento o efectuar reparaciones. En las máquinas relativamente pequeñas a veces se evitan estos mecanismos pues resulta más barato diseñarlas para soportar los máximos vientos esperables que adicionar sistemas de frenado. Los rotores multipala, tipo americano, tienen por uso casi excluyente el bombeo de agua para los barcos. Su alto par de arranque y su relativo bajo costo los hace muy aptos para accionar bombas de pistón. Se estima que en el mundo existen más de 100000 de molinos de este tipo en operación.



Figura 2.25 Aerogenerador convencional horizontal.

Fuente: Todo lo que debes saber sobre los aerogeneradores, Techno Sun.

Un aerogenerador lo conforman la torre; un sistema de orientación ubicado al final de la torre, en su extremo superior; un armario de acoplamiento a la red eléctrica pegado a la base de la torre; una góndola que es el armazón que cobija los componentes mecánicos del molino y que sirve de base a las palas; un eje y mando del rotor por delante de las palas; y dentro de la góndola, un freno, un multiplicador, el generador y el sistema de regulación eléctrica, observada en la Figura 2.25. Las palas están conectadas al rotor, a su vez conectado al eje, que envía la energía de rotación al generador eléctrico. Este generador utiliza imanes para producir voltaje eléctrico y, por tanto, energía eléctrica.

Los aerogeneradores horizontales tienen un funcionamiento simple como se observa en la Figura 2.26.

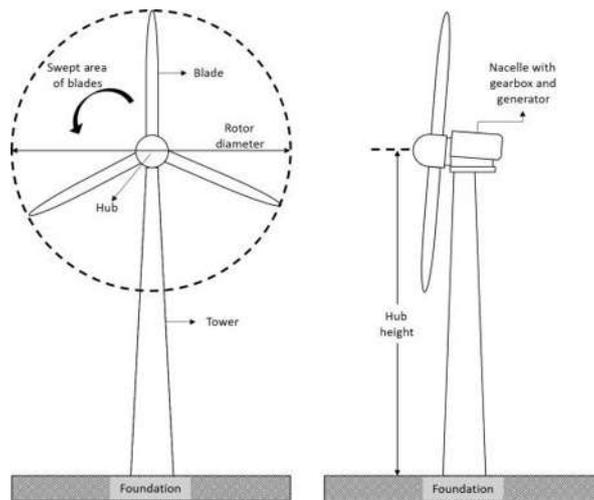


Figura 2.26 Principio de movimiento del aerogenerador.

Fuente: Energía eólica, J.A.

Los rotores Darrieus, inventados por *G.J.M.Darrieus* en Francia en la década de los 20, son actualmente los principales competidores de los de eje horizontal de palas aerodinámicas para la generación de electricidad. Las fuerzas dominantes son las de sustentación, tienen un par de arranque prácticamente nulo pero entregan potencias altas por unidad de peso del rotor y por unidad de costo, en la Figura 2.27 se observa el diseño de las turbinas HAWT y VAWT. (Zachary, 2016)

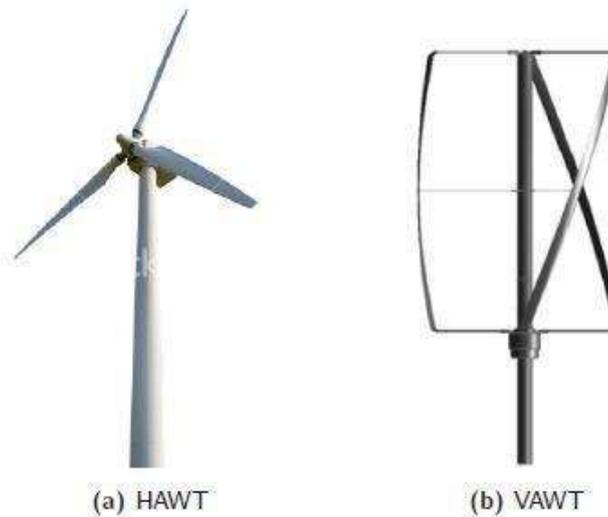


Figura 2.27 a) Turbina HAWT básica y b) turbina VAWT.

Fuente: Diseño mecánico de una VAWT Y HAWT, ResearchGate.

Sus principales características son:

- Cuerpo de aleación de aluminio fundido, compacto con poca vibración.
- Fácil instalación, conexión de tubo o brida opcional.
- Cuchillas de fibra de vidrio reforzado, combinadas con una forma y estructura aerodinámica.

2.1.5.3 Turbina cometa

Es una forma eficiente de obtener energía, con la ayuda de una cometa dirigible a gran altura puede obtenerse energía útil, en este caso una vela unida a una cuerda de gran longitud, se eleva en el aire realizando movimientos helicoidales, al desenrollarse la soga propulsa un generador, cuando se ha extendido por completo el ángulo de vuelo puede modificarse a fin de lograr enrollarse de nuevo con un menor esfuerzo, lo que resulta en una ganancia neta de energía. Una cometa con una superficie de 14 metros cuadrados adquiere una potencia de tracción de 20kw, la cual puede emplearse para generar energía útil. En la empresa SkySails crearon una cometa que tiene una superficie de 320 metros cuadrados y que es empleada para arrastrar barcos, se ha propuesto que se eleve la producción de energía con cometas y se han planificado que las cometas alcancen altitudes de vuelo de varios cientos de metros, debido a que en las costas el viento suele tener mayor constancia (Raceforwate, 2020)

Según los datos de la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA), una organización encargada de promover el desarrollo de esta fuente de energía, los aerogeneradores conectados hoy a la red suman una potencia instalada de 215 gigavatios y cubren en torno al 2% del consumo energético mundial. Los aerogeneradores de rotación rápida, con dos o incluso con una sola pala, presentan una sustentación aerodinámica mucho menor, motivo por el que resultan menos eficientes. Además la contaminación acústica provocada por las instalaciones aumenta a medida que lo hace la velocidad de las palas.

Como muestra la Figura 2.28 las cometas eólicas tienen un menor costo de construcción, de mantenimiento en comparación a las turbinas con alabes, además otra ventaja es que su movilidad es mayor y ocupa menor espacio (Enríquez, 2018).

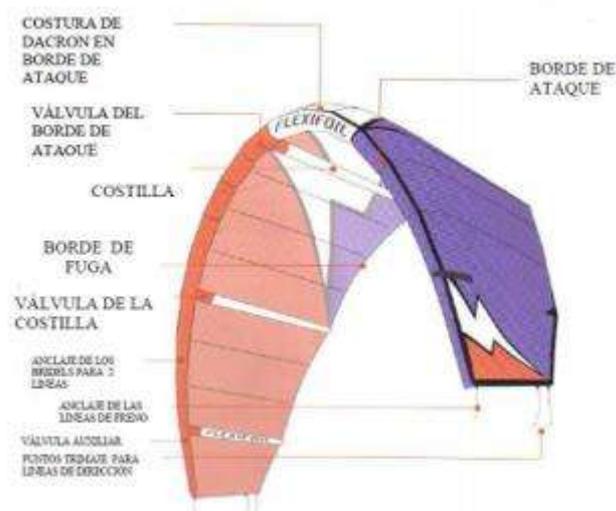


Figura 2.28 Sistema cometa.

Fuente : Partes de una cometa de Kitesurf, Atlantic kite.

Como estos sistemas están conectados al suelo mediante tejidos ligeros, la altitud máxima es casi limitada y los problemas estáticos desaparecen. En los últimos años el uso de cometas para cosechar energía eólica a gran altura se hizo en muchas empresas como Skysails y Enerkite como la mayor parte de la energía eólica se encuentra a gran altura

que los diferentes grupos de investigación han desarrollado conceptos para obtener energía eólica aerotransportada. Estos conceptos principalmente pueden dividirse en dos tipos de categorías:

1. La primera categoría es parte de AWE el lugar donde el sistema convierte la energía mecánica en energía eléctrica, que se divide en dos conceptos flygen y conceptos groundgen. Los conceptos flygen producen la energía eléctrica directamente en el aire y conducen la electricidad al suelo mediante un cable. Los conceptos groundgen están conectados a un generador en tierra que produce la energía eléctrica.
2. La segunda forma es clasificar los conceptos de AWE por los objetos que producen la flotabilidad.

Actualmente en México la demanda energética no llega a satisfacer la necesidad de la población ya que el consumo de energía va en incremento anualmente en la Figura 2.0 se observa el incremento del 2019 como ejemplo la Figura 2.29.

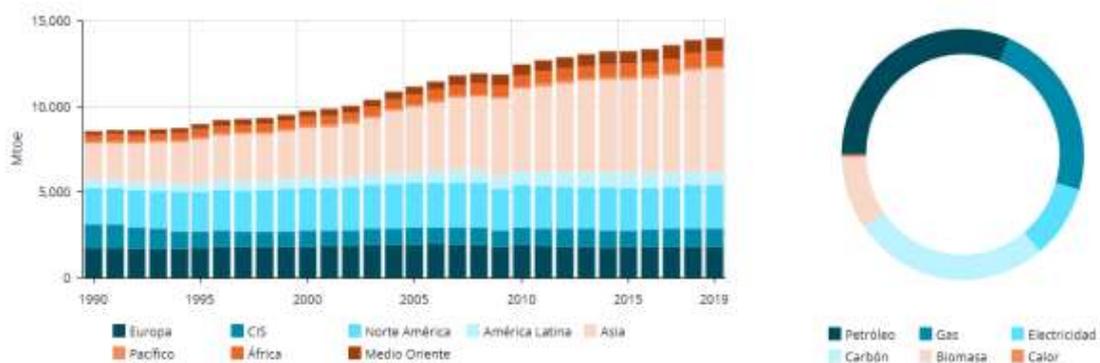


Figura 2.29 Crecimiento del consumo energético en el 2019.

Fuente: Consumo energético, SEN.

Para el año 2024 se calcula que el consumo de energía en el sistema eléctrico nacional (SEN) alcanzara los 364,636 GWh esto eleva lo calculado en consumo para el 2020 que fue de 331,146 GWh, se prevé que el consumo bruto de electricidad para el año 2034, en un escenario normal, se ubicaría en los 483,317 GWh y en 469,669 GWh (-3%) en caso de continuar la pandemia por el coronavirus. Sin embargo, estas cifras se pueden reducir mediante la implementación de energía sustentable y limpia como la energía eólica ya que esta es una fuente de energía renovable que utiliza el viento para generar energía mediante el movimiento, transformando la energía cinética del viento en energía mecánica y puede variar su tamaño como un molino de viento, también hay que considerar que se puede implementar tanto en tierra como en el mar y una vez instalada es gratuita (PNOMA, 2020).

La respuesta a las crecientes necesidades energéticas de las ciudades podría ser la energía eólica, se ha utilizado como una fuente desde hace tiempo como es en el caso de los molinos de viento y los aerogeneradores que aprovechan las corrientes de aire cercanas a la tierra para generar energía. Los niños han jugado con cometas durante años, pero la

evolución de este juguete ha avanzado lo suficiente como para entrar en la generación de energía, la vela que los amantes del “Sky Surf” utilizan para volar por encima de las olas, es la clave de un revolucionario sistema que un grupo de investigadores italianos está desarrollando con el que, según dicen, pueden producir gracias al viento tanta energía como una central atómica.

En la energía eólica el viento es algo esencial por lo tanto se considera el hecho de que a mayor altura mayor viento, pero la torre de una turbina eólica solo alcanza una altura de entre 25 a 90 metros de altura. También hay que considerar las aspas, cimientos, góndola, generador, rotor, caja de cambios, veleta y mástil de soporte aun con todo esto en ocasiones el viento no llega a ser suficiente para generar la energía requerida para cubrir la demanda, también tenemos que considerar la contaminación visual, el trabajo de instalación. Si se considera todo lo anterior puede parecer que la energía eólica no es una buena inversión pero es todo lo contrario, la energía del viento es una fuente inagotable, limpia, sustentable y de gran capacidad es por eso que una turbina cometa es una opción factible y útil para la generación de energía mediante el viento tanto en tierra como en mar, su función no solo ayuda a obtener energía cinética también ayuda a evitar la contaminación visual y los riesgos que pueden sufrir un ingeniero al darle mantenimiento a una turbina situada en la altura de 25 m o más como muestra la Figura 2.30.



Figura 2.30 Cometa a 25 metros de altura.

Fuente: Como generar energía eólica, A.G.

Técnicamente la cometa es un aerodino es decir una maquina voladora más pesada que el aire, con una estructura plana o tridimensional, además de ser un instrumento de diversión o entretenimiento, ha causado interés en su implementación para la obtención de energía.

Muchas empresas están invirtiendo en energía limpia como la energía eólica, por lo que varios ingenieros están desarrollando diferentes métodos para generar electricidad a mayor altura y de forma más económica, la idea se basa en no utilizar un poste solamente echar a volar una cometa, una nueva forma de producción eólica logrando captar vientos más fuertes a mayores alturas, construir postes a mayores alturas resulta muy costoso y complicado al igual que construir aspas que resistan la fuerza del viento a grandes alturas. La cometa es una estructura parecida a un paracaídas que está atada a un cable que puede

variar en metros su distancia, la primera parte del cable esta enrollada a un tambor donde se encuentra el generador (G., 2002)

Este sistema consta de una cometa unida al suelo por cables flexibles logrando que la cometa siga la forma de un ocho para la generación de energía. Por una parte, el simulador se utiliza para calcular trayectorias en forma de ocho varias veces, almacenamiento de energía, capacidad, utilidad, eficiencia y por otra parte el prototipo a escala en forma de cometa ayuda a obtener mejores resultados y conocer la eficiencia, la simulación nos permite tener una forma versátil de llegar al objetivo, también nos ayuda a obtener la trayectoria. La forma del ocho que se busca obtener varias veces es con el fin de que alcance una velocidad constante y óptima para la implementación de esta cometa. Cometas de más de 300 metros cuadrados que impulsan barcos, estas pueden llegar a alcanzar alturas de vuelo de entre 100 y 500 metros de altura donde los vientos son más fuertes y constantes. Al estar diseñadas para su uso regular en vientos fuertes, son capaces de resistir fácilmente al mal tiempo y posibles tormentas esto en el caso del sistema de cometas skysails cómo se muestra en la Figura 2.31 (Soria, 2008).

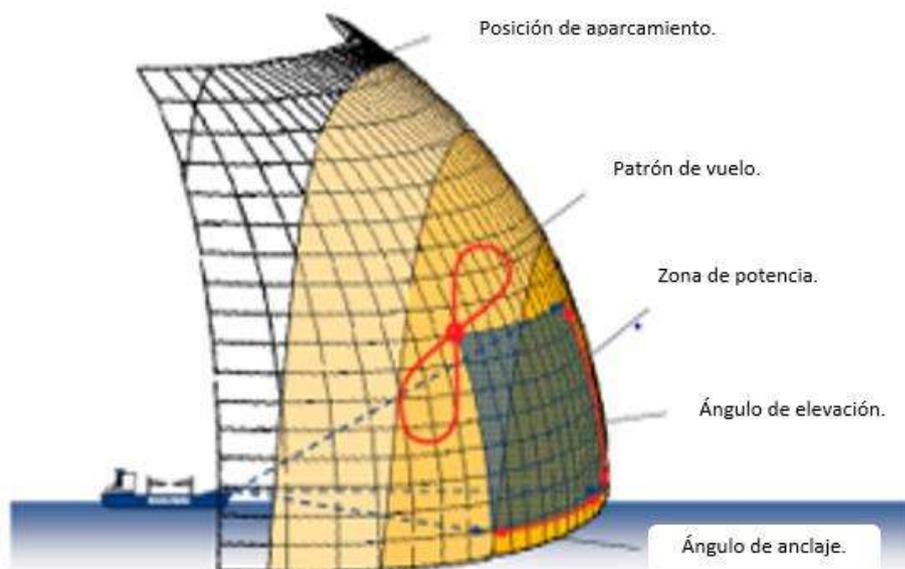


Figura 2.31 Zonas de incidencia del viento.

Fuente: Buques de cargas con tracción por cometas, Nergiza.

Las turbinas eólicas actuales son grandes y requieren pesadas estructuras, muy costosas y complejas de construir, además la creencia es que la tecnología de la cometa podría producir energía de forma mucho más barata que las turbinas eólicas, y a una escala mucho mayor, con velocidades de viento más bajas.

Las pruebas realizadas han perfeccionado la tecnología hasta el punto de que una cometa de tamaño completo de 40 metros de ancho aproximadamente, sería capaz de generar entre 200 y 300 KW de electricidad, más o menos lo mismo que una turbina convencional de 100 m. requiere unas 100 toneladas de materiales.

Solo se pueden instalar en lugares en los que el viento logre alcanzar los 20-28 K/hrs como se observa en la Figura 2.32, hecho que reduce las posibilidades a menos del 15% de la superficie de la tierra de todo el mundo.



Figura 2.32 Turbina cometa en vuelo.

Fuente: Cometa la nueva forma de producir energía, Prensalibre.

En términos generales no se requieren grandes velocidades de viento para producir energía, más bien al contrario, cuando el viento es demasiado intenso se hace necesario detener los equipos para evitar deterioro. En la mayoría de los casos, un equipo comienza a generar energía con una velocidad del viento de 4 metros por segundo (m/s), equivalente a unos 15 km/h. Entrega su potencia máxima cuando la velocidad es del orden de los 12 a 15 m/s (40 a 55 km/h) y es necesario sacarla de servicio cuando alcanza 25 m (90 km/h).

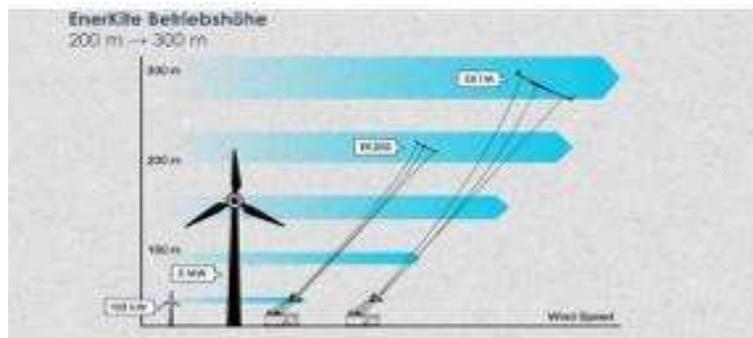


Figura 2.33 Altura alcanzada por la turbina cometa en comparación.

Fuente: Energía limpia, EnerKite.

Normalmente los aerogeneradores están diseñados para empezar a girar a velocidades alrededor de 13 a 20 revoluciones es la llamada velocidad de conexión. El aerogenerador se programará para pararse a altas velocidades del viento de unos 25 metros, como en la Figura 2.33 se puede observar la diferencia con un aerogenerador común, para evitar posibles daños en la turbina o en sus alrededores. El viento debe ser fuerte y constante. El viento hace girar las palas que comienzan a moverse con velocidades de viento de unos 3.5 m/s y proporcionan la máxima potencia con unos 11 m/s. Con vientos muy fuertes alrededor 25 m/s las palas se colocan en bandera y el aerogenerador se frena para evitar tensiones excesivas. En el caso de la turbina convencional eólica la torre no puede obstruir la vista y el ruido no puede perturbar la resistencia local, debido al rápido crecimiento de la población es cada vez más difícil encontrar un lugar que sea adecuado para una turbina eólica y que no interfiera con la zona, población o fauna del lugar donde se ubique.

Como principio de funcionamiento la energía de las cometas funcionan en pocas palabras, con dos cometas de 70 m² están unidas a una turbina, cuando sopla el viento una de las cometas se eleva (hasta 450 metros) en forma de ocho, esta tira de un cable que hace girar un torno en su base, generando energía. Cuando la cometa alcanza su máxima altura, desciende y es sustituida por la otra, lo que permite generar energía de forma continua. La cometa se lanza al viento, al igual que una cometa para jugar, desde el nivel del suelo. Esta cometa está hecha de telas muy resistentes e impermeables. Luego, conforme la cometa se eleva con el viento y se le manipula para que dibuje la forma de un ocho varias veces como indica la Figura 2.34 a fin de que alcance una velocidad constante y óptima, el cable se va desenrollando. Eso enciende un generador, ya que el cable está totalmente extendido, la cometa se inclina para captar menos viento, se le vuelve a enrollar parcialmente y se permite que vuelva a desenrollarse.



Figura 2.34 Deslizamiento en forma de 8.

Fuente: Turbinas sorprendentes, Ecoinventos 2019.

También presentan un menor impacto visual y mayor facilidad de transporte respecto a otros sistemas, lo que permite generar energía en lugares remotos de difícil acceso. El plan es controlar las cometas a distancia, con un software especialmente diseñado. Este sistema consta de 3 elementos principales:

1. Una cometa con su línea de tracción.
2. Un sistema de lanzamiento y recuperación.
3. Un sistema de control que garantiza el funcionamiento automático.

Hoy en día hay dos grandes empresas que desarrollan sistemas de propulsión eólica con cometas para aplicar a navegación en este caso buques, una es una compañía americana Kite y la otra compañía alemana SkySails.

Las cometas o kite tienen numerosas ventajas frente a otros sistemas de propulsión, primeramente no requieren de un pesado mástil en la cubierta, puede generar hasta 25 veces más energía que un aerogenerador convencional, tiene una fácil instalación, con bajo costo de inversión, la zona de vuelo está entre los 100 y 300 metros de altitud, por lo tanto hay una velocidad de viento más elevada (IEEE, 2013).

En el caso de la empresa SkySails está compuesto por 3 componentes que se observan en la Figura 2.35:

1. Una cometa.
2. Un dispositivo de piloto automático que proporciona un manejo más fácil y con mayor fiabilidad.
3. Un sistema de guía de ruta que elige la ruta optima en función de la meteorología.

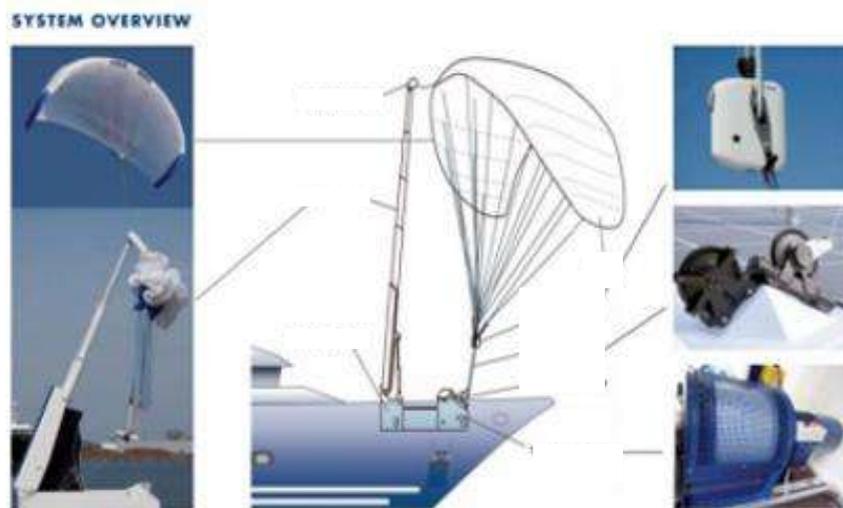


Figura 2.35 Compuestos de la cometa SkySails.

Fuente: Sistema cometa, SkySails.

Para que las cometas de Kite Gen aprovechen la energía del viento, los investigadores planearon un sistema que han bautizado “el yoyo”. Consiste en la Figura 2.36 que se sujeta por dos cables de 800 metros al artefacto volador de manera que conforme asciende, hace girar dos cilindros a modo de dinamo y así produce energía (Pazo, 2018) Cuando la cometa ha alcanzado su máxima altura, un motor recoge los cables y el vuelo vuelve a comenzar, para ello sólo gasta el 15% de la electricidad producida antes.

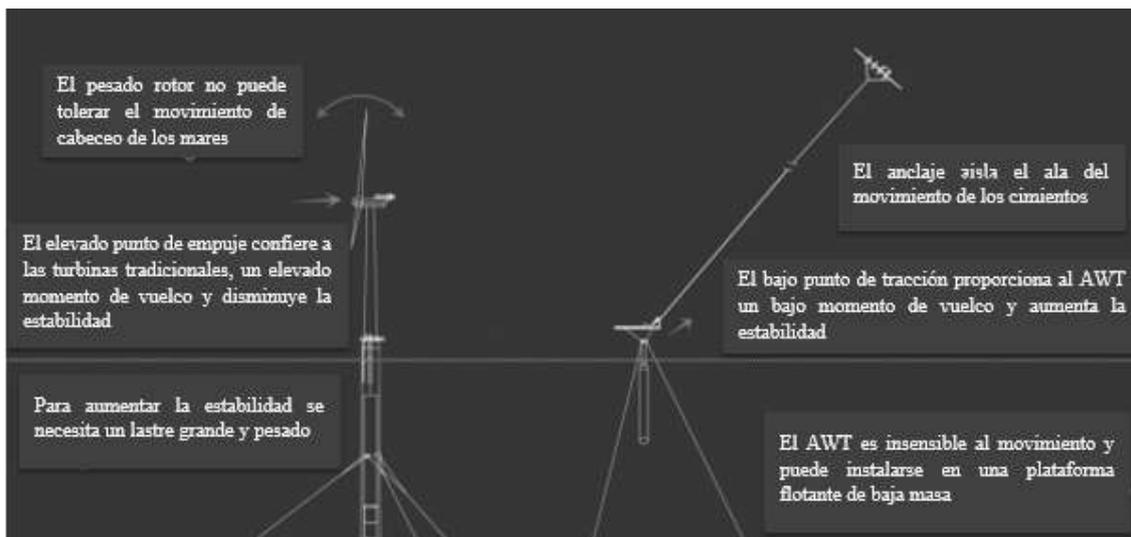


Figura 2.36 Diferencia de turbina en obtención de energía.

Fuente: Cometas para la generación eólica, REFINEERING.

La cometa está equipada con turbinas, la sujeción o correa hecha de fuertes y flexibles hilos conductores que rodean un núcleo de alta resistencia, conectan la cometa a la

estación terrestre y, a su vez, llevan la energía de la cometa a la red, la estación de tierra, ocupa muy poco espacio de suelo, ya aferra la correa es donde descansa la cometa cuando no está volando, y el sistema informático, ubicado en la estación de tierra, que es el que controla todo el sistema (Torres, 2020). El aire que se mueve por los rotores genera la fuerza al girar, haciendo que el generador produzca electricidad, la cual se conduce por la correa hasta la red. A diferencia de la turbina eólica convencional que esta armada por un rotor, caja de engranajes, generador, torre, etc.

El sistema de lanzamiento tiene un brazo que es aproximadamente 2 o 3 veces más largo que la envergadura del ala, al otro lado del sistema hay un contrapeso, este sistema de lanzamiento está fuertemente limitado por espacio, ya que el área restringida aumenta muy rápidamente.

En el caso de KiteGen produce mediante el ciclo de bombeo común utilizando alas semiflexibles con una cometa LEI de 20 m^2 , han demostrado que produce 5 kw de manera constante y 30 kW de pico de energía eléctrica, volando la cometa con viento cruzado (P.L., 2019). La unidad de dirección de la cometa está en el suelo por lo tanto hay 3 ataduras entre la cometa y la estación de tierra en este caso. Esta potencia es principalmente por un mástil completamente giratorio e inclinable, construido con materiales compuestos, este mástil está montado en una cúpula en la que están todos los sistemas, en la parte superior del mástil hay 2 extensiones que ayudan a controlar la cometa durante el despegue y así facilitar el lanzamiento.

Como muestra el mástil de KiteGen con una cometa de 20 m^2 que se muestra en la Figura 2.37. Tanto las personas junto a la cúpula como la cometa pueden ser referencias para estimar el tamaño del sistema. Este sistema parece funcionar muy bien para el lanzamiento, ya que puede ser capaz de lanzar a una velocidad de viento de 1.5 m^{-1} en el suelo. Sin embargo, este concepto es muy complejo y grande. Necesita dos motores potentes para hacer que el mástil sea totalmente giratorio e inclinable, pero también fijo para el lanzamiento. Además, las dos extensiones de la parte superior son móviles y necesitan algún tipo de actuadores.



Figura 2.37 Sistema KiteGen.

Fuente: Nuevas Tecnologías AWES de Generación de Energía Eólica, Docplay.

SkySails utiliza grandes cometas de aire comprimido como vela alternativa para grandes barcos, en este caso el sistema de generación en tierra no genera energía eléctrica sino energía cinética. Mediante el uso de la cometa para la propulsión, la cantidad de combustible puede disminuir significativamente. Para lanzar la cometa, SkySails utiliza un mástil telescópico que se fija en la parte delantera del barco. El mástil tiene una longitud de unos 25-30 metros y funciona con sistemas hidráulicos. Sin embargo la verdadera altura real de la cometa es la longitud del mástil sumada a la altura del barco. Esto hace que el mástil sea muy pesado. En la Figura 2.38 se muestra una secuencia de lanzamiento (Arriaga, 2019).



Figura 2.38 Lanzamiento de carga SkySails.

Fuente: Una vuelta al pasado para avanzar al futuro, arscreatio.

El borde de ataque de la cometa está constantemente conectado a la parte superior del mástil. Durante el despegue el mástil saca el borde de ataque de su almacén en el cuerpo del barco hacia el viento para que la cometa se infle por el aire de ariete. A medida que el barco se mueve debido a la fuerza de amarre, el sistema completo no tiene que hacer los ciclos de bombeo. Por lo tanto, es posible que el concepto SkySails utilice una línea adicional sólo para conectar el mástil con el borde de ataque de la cometa, de manera que el borde de ataque se encuentre controlado en el camino durante la recogida. Se puede decir que la forma en que SkySails lanza la cometa no es sostenible, no es barata, es muy grande, etc. Sin embargo, su sistema funciona de forma muy fiable y es un gran invento para reducir los costos de combustible de los buques de carga (EMU, 2019).

En la Figura 2.39 se muestra una descripción original del mecanismo de lanzamiento, este sistema se considera uno de los más innovadores, sin embargo se necesita de 3 tripulantes experimentados para lanzar una cometa (Santos, 2020).

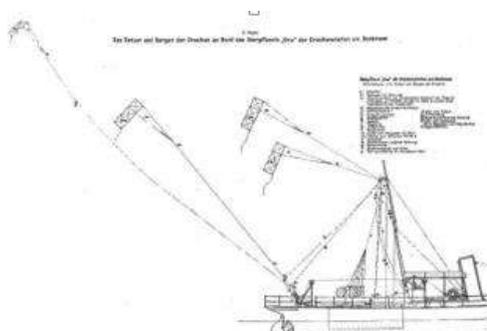


Figura 2.39 Mecanismo de lanzamiento en el barco cometa.

Fuente: Tecnología innovadora en el transporte, Eldorado.

Se pueden utilizar diferentes cometas, normalmente de entre 14 m² y 25 m². La Figura 2.40 muestra la cometa de 25 m² con la que es posible generar hasta 20 kw de energía eléctrica. Todas las cometas utilizadas son cometas LEI ya que la estructura bombeada del borde de ataque y los puntales apoyan la estabilidad de la cometa en caso de grandes pérdidas o altas fuerzas. Además, diferentes unidades de medida se fijan a esta estructura, especialmente al puntal principal.



Figura 2.40 Cometa con unidad de dirección.

Fuente: Energía eólica para impulsar, Dreamstime.

La órbita de la cometa tiene la forma de una recta tendida, lo que garantiza un elevado viento transversal, evitando que se enrede el cable y el enrollamiento de la cometa, ya que la cometa está hecha de fibra de carbono, dado que este elemento tiene una gran rigidez y a la par una alta resistencia a la compresión y la fractura, además de que apenas se ve alterada por la variación de temperatura, también tiene una enorme capacidad de aislamiento térmico debido a su habilidad de absorber energía en forma de calor y reducir su transmisión como muestra la Figura 2.41.



Figura 2.41 Diseño de mástil rotatorio en tierra.

Fuente: Energía del viento, Genitronsvilu.

En cuanto al sistema de control y bridas para dirigir tanto el movimiento de balanceo que lleva a un giro, como el de cabeceo que lleva a la de potencia de una cometa, se necesita al menos 4 líneas a la cometa.

Cambiando la tensión entre las líneas delanteras y las traseras se potencia y des-potencia. Si las fuerzas en las líneas de la izquierda no son iguales a las fuerzas en las líneas de la derecha el control dirige. Todo esto lo hace un robot de dirección, el llamado pod de control, que está conectado a la cometa a través de un complejo sistema de bridas (Danish Wind, 2003). La Figura 2.42 esboza un sistema simplificado.

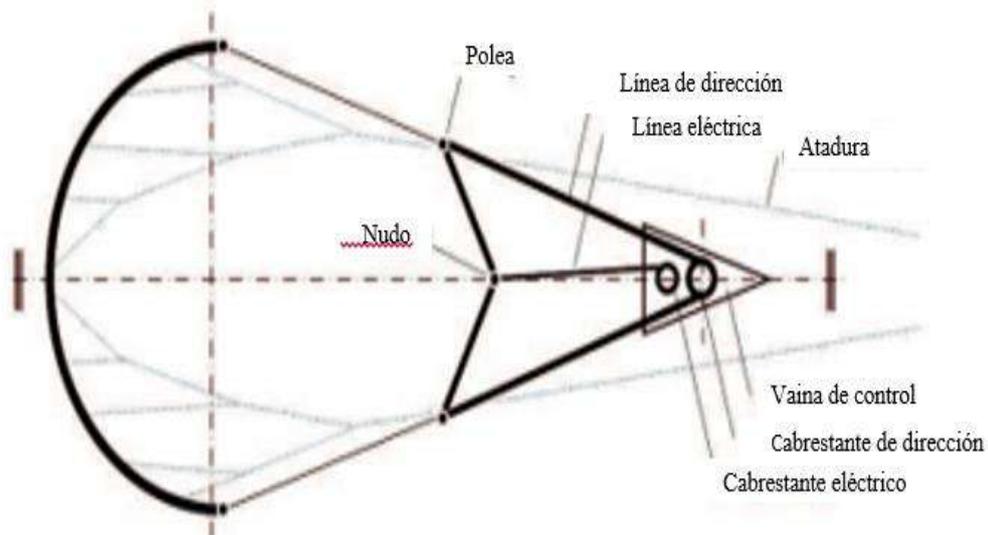


Figura 2.42 Sistema de bridas simplificado en 2D.

Fuente: Metodología de las turbinas, R.L.B.

Otra característica principal para el funcionamiento, es la velocidad del viento, es crítica al momento de evaluar el potencial de la energía eólica en cualquier localización, los recursos eólicos son caracterizados por una escala de clases de viento según su velocidad, que se extiende de la clase 1 que es lo más bajo, a la clase 7 es la más alta.

Las bridas de sujeción están conectadas al borde de ataque y son fijas. No se puede aplicar ninguna orden de dirección a estas bridas ya que sostienen la fuerza principal de la cometa, aproximadamente el 70-80%.

El sistema de dirección está unido a los extremos del borde de ataque. Si el cabrestante de dirección gira ambas poleas, y por lo tanto el borde trasero de la cometa, se tira hacia el -pod de dirección- la cometa se potencia. Si el cabrestante de dirección gira una polea es arrastrada hacia el pod de dirección mientras la otra se aleja del pod, la cometa rueda y comienza a girar debido a las fuerzas aerodinámicas.

El propio pod de control, que se muestra la Figura 2.43, es una caja impermeable llena de electrónica que está cubierta por espuma de poliestireno para disminuir el riesgo de daños fuertes en caso de choque. Incluye, además de los dos cabrestantes, unidades de medición por ejemplo potenciómetros, sistemas de comunicación y fuente de alimentación (UANL, 2011)

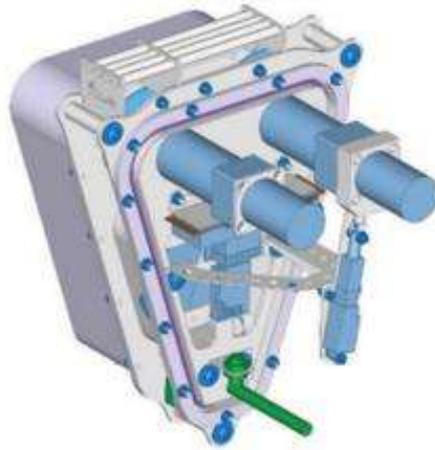


Figura 2.43 Modulo de control.

Fuente: Mecánica de turbina, SkySails.

El amarre es el cable que es la única conexión entre el módulo de control y la estación de tierra, tiene que ser muy realista para cumplir con las cuestiones de seguridad, pero también muy ligero para obtener la mayor cantidad de energía posible de la cometa. Por lo tanto, se utiliza un moderno cable de polietileno de alto peso molecular. Este cable, tiene una carga media de rotura de 13.5 kN a un diámetro de 4 mm y una masa específica de 9.1 gm-1. Como en la Figura 2.44 el cable no es una conexión recta entre la estación de tierra y el cometa, debido a la resistencia aerodinámica (VM, 2021).



Figura 2.44 Anclaje durante el vuelo.

Fuente: Cometas que generan electricidad eólica, Diarioecologia.

La velocidad del viento depende de muchos factores diferentes. Además, el aire puede ser tratado como fluido. En este caso significa que la velocidad del viento tendrá una capa límite cerca del suelo dependiendo de su rugosidad. La longitud de rugosidad z_0 depende de la superficie del suelo. Cuantos más obstáculos haya en una zona, más rugosa es la superficie y más larga es la longitud de rugosidad.

Si el viento choca con un obstáculo se acumula presión, la fuerza de esta presión depende de la densidad del aire y de la velocidad del viento.

$$P_w = \frac{1}{2} C_p P_{air} v_w^2 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

P_w : P es la potencia medida en W(watts).

C_p : Coeficiente de presión.

V : es la velocidad del viento.

P_{air} : Densidad del aire.

Tabla 3.0 Velocidad del viento.

CLASE	A 30 m de altura		A 50 m de altura	
	Velocidad del viento m/s	Potencia del viento en W/m ²	Velocidad del viento m/s	Potencia del viento en W/m ²
1	0 - 5.1	0 – 160	0 – 5.6	0 – 200
2	5.1- 5.9	160 – 240	5.6 – 6.4	200 – 300
3	5.9 – 6.5	240 – 320	6.4 – 7.0	300 – 400
4	6.5 – 7.0	320 – 400	7.0 – 7.5	400 – 500
5	7.0 – 7.4	400 – 480	7.5 – 8.0	500 – 600
6	7.4 – 8.2	480 – 640	8.0 – 8.8	600 – 800
7	8.2 – 11.0	640 – 1600	8.8 – 11.9	800 – 2000

Los factores más importantes que determinan el comportamiento del viento son: la radiación solar y la rotación de la tierra. Las variaciones estacionales son debidas al ángulo de inclinación del eje relativo de la tierra y por lo tanto su posición con respecto al sol, esto es lo que rige el comportamiento a nivel macroscópico (a simple vista) y de ahí se pueden estimar algunos sitios como los más probables a contar con viento.

Los factores que determinan el comportamiento de los vientos a nivel microscópico son la topografía del lugar, la altura, la fricción sobre la superficie, las montañas, la diferencia de temperaturas entre el día y la noche.

En el caso de turbinas eólicas se usa la energía de frenado del viento, por lo que si se dobla la velocidad del viento se tiene dos veces más porciones cilíndricas de viento moviéndose a través del rotor cada segundo, y cada una de esas porciones contiene cuatro veces más energía.

La potencia del viento que pasa perpendicularmente a través de un área circular es:

$$p = \frac{1}{2} v^3 r^2 \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

P: Es la potencia del viento.

V: Es la velocidad.

R: es el área circular (radio).

El viento es más fuerte y estable si se mueve hacia arriba, debido a que hay menos fricción entre el aire y el suelo, hay menos obstrucción de la topología terrestre. El viento sopla más rápido y fuerte cuando aumenta la altitud.

La velocidad específica del viento para cada altitud se puede calcular con la Ec.:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\ln \frac{h_2-d}{z_0}}{\ln \frac{h_1-d}{z_0}} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

d: es el desplazamiento entre la capa límite y la superficie real.

V₁: Es la velocidad 1.

V₂: Es la velocidad 2.

h₁: Es la altura 1.

h₂: Es la altura 2.

Z₀: Es la longitud de rugosidad.

Si no hay muchos obstáculos grandes, *d* puede fijarse en 0, de lo contrario en una ciudad o un bosque puede establecerse como un 70%- 80% de la altura de los obstáculos.

Características del sistema *SkySails* incluye tres componentes principales:

- Un cometa de tracción con cable.
- Sistema de despegue y aterrizaje.
- Un sistema de manejo completamente automático.

En vez de velas tradicionales con mástil utiliza grandes cometas para aprovechar el impulso del viento.

La cometa de tracción está hecha de fibras textiles altamente resistentes y a prueba de las condiciones meteorológicas como en la Figura 2.45. El prototipo de *Makani* ha sido probado en Hawái y se planea realizar una serie de pruebas más desde una plataforma petrolera en la costa de Noruega posteriormente este año (Colomar, 2012).



Figura 2.45 Sistema SkySails.

Fuente: Buques de carga con tracción por cometas, Nergiza.

Ampyx Power utiliza un ala rígida que vuela con viento cruzado mientras está conectada a la cuerda principal. Utiliza los timones del ala para gobernar. Como esta ala rígida no tiene turbinas a bordo, no puede despegar por sí misma. Por lo tanto, necesita un sistema especial de lanzamiento y recuperación. Por ello, Ampyx Power ha desarrollado un concepto de lanzamiento que se basa en la energía de rotación (O.Ceyhan, 2012).

Al principio, el ala se fija conectada al brazo giratorio, en cuanto hay suficiente velocidad de viento aparente en el ala, el sistema desenrolla lentamente el cable de sujeción y deja que el ala se eleve. El sistema de lanzamiento ha sido capaz de lanzar una cometa con muy poco espacio. Para lanzar la cometa se conectó a la parte superior del mástil. Entonces la cometa se lanza por el viento y la velocidad del barco. Después de que la cometa estuviera en el aire, la conexión al mástil se aflojó para que la cometa se conectara directamente con el cuerpo del barco.



Figura 2.46 Diseño de parque cometa.

Fuentes: Cometas energéticas podrían revolucionar la energía renovable, world energy trade 2019.

Los aerogeneradores, al igual que el resto de estructuras altas, proyectarán una sombra en las áreas vecinas cuando el sol esté visible como muestra la Figura 2.46. El desarrollo de la tecnología eólica en el ámbito internacional tiene dos tendencias principales:

- La primera es el desarrollo de máquinas con más facultad para aprovechar vientos de poca intensidad
- La segunda es el desarrollo de equipos robustos para operar con viento intensos.

Ambas tendencias buscan mejorar continuamente tanto los aspectos de comportamiento técnico como los que influyen sobre los costos de fabricación, operación y mantenimiento, esto caracteriza a las turbinas cometas ya que buscan principalmente cumplir con esas tendencias para innovar la energía eólica y su generación.

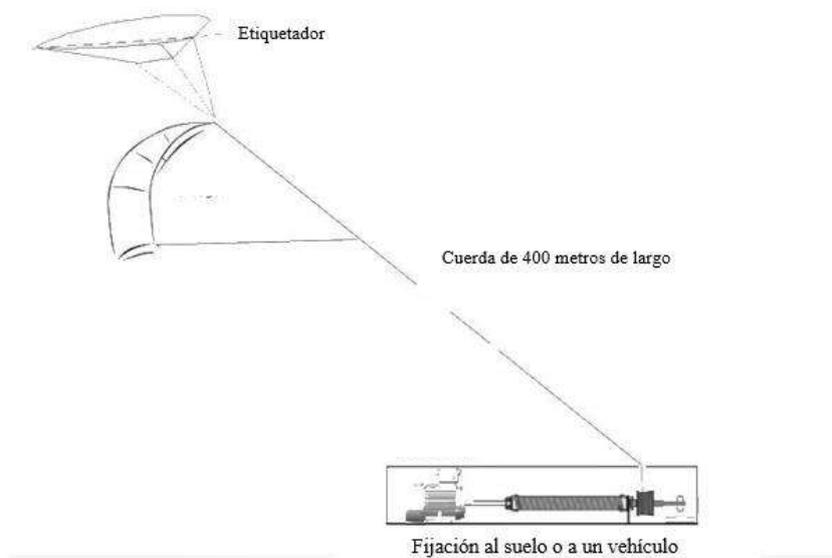


Figura 2.47 Prototipo funcional.

Fuente: Mecanismo, G.A.

En la Figura 2.47 se observa el diseño simple de la cometa, funciona de forma efectiva y trabaja mediante el funcionamiento simple de un generador, un rotor, un cable, y la cometa.

Existen dos escenarios para extraer energía utilizando el sistema cometa, estos dos son significativamente aplicables:

- El primero es el modo de órbita abierta o bombeo.
- El segundo es el modo de órbita cerrada (Hoochenwind, 2020).

En el primer modo la cometa vuela consecuentemente en forma de ocho como se menciona en los ejemplos anteriores, orbita con una altitud creciente hasta que el anclaje alcanza una longitud máxima dependiendo del tamaño de la turbina, por lo que se inicia la fase de recuperación y se hace rodar el anclaje, después se devuelve la cometa a su posición inicial como se observa en la Figura 2.48.



Figura 2.48 Sistema de orbita abierta.

Fuente: cometas que alimentan casas en un futuro, Ecoinventos 2022.

En el modo de orbita cerrada la cometa se mantiene en una única orbita en forma de ocho, durante esta se distinguen dos regiones:

1. Región de viento cruzado alto.
2. Región de viento cruzado bajo.

En la región de viento cruzado alto la cometa tira de la cuerda, lo que da lugar a la llamada fase de tracción y en la región de bajo viento cruzado el anclaje se enrolla y entra la fase de recuperación. El sistema de orbita cerrada es más fácil de estabilizar y controlar, debido a que solo requiere un controlador que además solo ocupa un espacio limitado como se observa en la Figura 2.49.

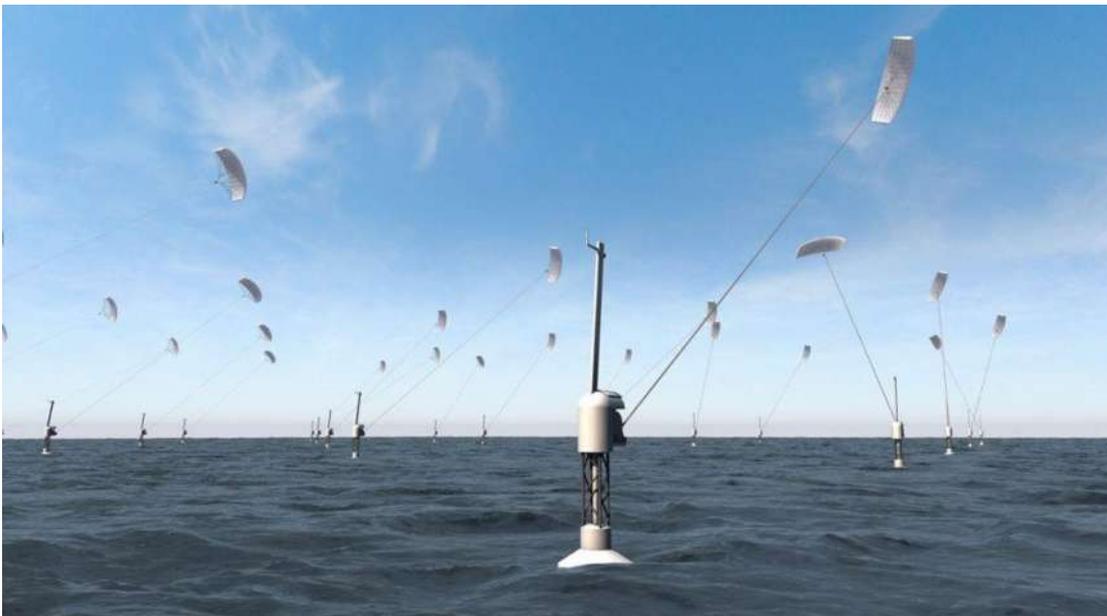


Figura 2.49 Orbita en forma de 8.

Fuente: Cometas que generan electricidad eólica, Diario ecología.

Otra parte importante es la orientación de la cometa, mientras que la generación de energía es el resultado directo de tirar y girar la máquina eléctrica, la órbita de la cometa es importante debido a que asegura la potencia media máxima durante el ciclo de la cometa y el resto de la estructura del sistema, la dirección de la cometa para seguir la órbita óptima se hace a través de un mecanismo de orientación que controla el ángulo de la cometa como la Figura 2.50.

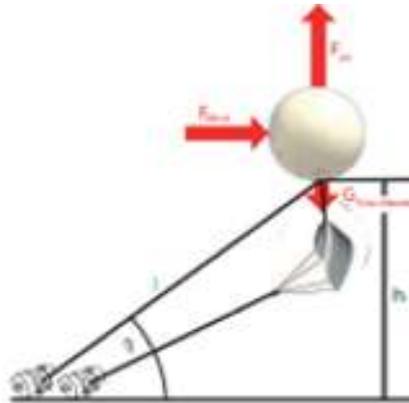


Figura 2.50 Órbita de la cometa.

Fuente: Diseño de un sistema de lanzamiento y recogida de cometas, Stefan.

El mecanismo de orientación puede actuar sobre las ataduras de la cometa empezando desde el suelo, en este caso suele haber 2 o 4, puede estar cerca de la cometa y en este caso recibe las señales de control de la estación de tierra a través de una conexión inalámbrica, lo que lleva a la transformación de la energía: la fuerza de tracción de la cometa se transforma en un par aplicado a una máquina síncrona de imanes permanentes (PMSM) situada en el suelo, esto lleva a producir una energía eléctrica alternativa de frecuencia variable.

La máquina se acopla a la red, a una determinada carga a través de una interfaz electrónica de potencia que consta de dos convertidores AC/DC bidireccionales. Se debe integrar un almacenamiento de energía integrado en el caso de una carga o una conexión a la red aislada.

Como estos sistemas están conectados al suelo mediante tejidos ligeros, la altitud máxima es casi ilimitada y los problemas estáticos desaparecen, el uso de cometas para cosechar energía eólica a gran altura, algunas empresas lo están aplicando a gran escala como por ejemplo skysails y Enerkite (Masters, 2004). El concepto para obtener energía eólica aerotransportada utilizados diferentes conceptos que se pueden dividir en dos tipos de categorías:

1. La primera forma de categorizar es por el lugar donde el sistema convierte la energía mecánica en energía eléctrica, los conceptos se dividen en conceptos flygen y conceptos grounden. Los conceptos flygen producen la energía eléctrica directamente en el aire y conduce electricidad al suelo mediante un cable. El concepto groundgen sin embargo están conectados a un generador en tierra que produce la energía eléctrica.

2. La segunda forma es clasificar los conceptos por los objetos que producen la flotabilidad, mientras que algunos conceptos utilizan aerostatos y su flotabilidad propia, debido a la baja densidad.

Groundgen: para la producción de energía eléctrica funciona de forma muy similar. Para producir energía el ala se ajusta a un ángulo de ataque tal que la fuerza resultante que se obtiene de la fuerza de sustentación y arrastre para que sea lo más alta posible.

Además el ala vuela en forma de ocho para aumentar la velocidad aparente del viento, lo que aumenta adicionalmente las fuerzas de sustentación y arrastre, la fuerza generada es conducida por una cuerda de sujeción al suelo. En el suelo este cable obliga a un cabrestante (torno) a enrollar el cable con una velocidad determinada (v_t). Este cabrestante está conectado a un generador que produce energía. El tiempo mientras se genera la energía se denomina ciclo de potencia que se ilustra en la Figura 2.51.



Figura 2.51 Ciclo de bombeo completo.

Fuente: Diseño de un sistema de lanzamiento y recogida de cometas, Stefan.

En un momento determinado la fase de desenrollado termina, porque la cometa ha alcanzado su máxima altitud permitida o porque el cable está completamente enrollado. En ese momento comienza la fase de enrollar, esto significa que la cometa está en una posición y altitud en la que produce la menor fuerza resultante posible, entonces el generador en el suelo funciona como un motor y tira de la cometa hasta una altitud baja. Esto se llama ciclo de power, un ciclo de potencia y un ciclo de desapoderamiento seguido forma el llamado ciclo de bombeo (Rodríguez, 2014).

Una parte importante es la estación de tierra. Esta es la parte central de todo el sistema, la estación de tierra mostrada en la Figura 2.52 que incluye:

- El cabrestante y el generador/motor para crear energía eléctrica durante el desenrollado y para enrollar mediante utilizando la energía eléctrica.
- La estación de tierra incluye un inversor y baterías para proteger la energía, ya que todo el sistema no está conectado a la infraestructura energética.
- Sensores, por ejemplo, para medir la fuerza de amarre, un sensor de viento o un GPS.
- Un servidor de tiempo para asegurar un tiempo común.



Figura 2.52 Estación terrestre completa.

Fuente: Diseño de un sistema de lanzamiento y recogida de cometas, Stefan.

Dependiendo de la situación del vuelo o de la prueba, la estación de tierra puede cambiar entre velocidad constante de bobinado o fuerza constante de anclaje. Con el modo de fuerza de amarre constante, la estación de tierra puede reaccionar ante las ráfagas para mantener la fuerza de amarre por debajo del límite máximo permitido (GTD, 2008).

Para crear la posibilidad de un sistema de lanzamiento y recogida de la cometa se creó una carta morfológica, para mantener la claridad sobre el gráfico, este se divide en tres partes independientes:

1. El lanzamiento:

- La cometa tiene que elevarse hasta una cierta altura, aproximadamente de unos 25 m desde donde puede crearse suficiente fuerza aerodinámica para elevarse más y comenzar la fase de despegue.
- El sistema de lanzamiento tiene que controlar la cometa todo el tiempo durante el lanzamiento.
- Cuando la cometa está en la altitud final tiene que ser liberada.

2. La recogida:

- En primer lugar la cometa tiene que disminuir su altitud hasta que esté de nuevo a unos 25 m de altura.
- La cometa tiene que acoplarse de nuevo al sistema.
- El sistema tiene que volver a bajar la cometa al suelo.
- La cometa tiene que estar bajo el control del sistema de recuperación a más tardar cuando se acopla al sistema.

3. La preparación del relanzamiento:

- La cometa tiene que pasar de su posición de aterrizaje a una posición de espera y además a la posición de salida. Estas tres posiciones pueden ser la misma, pero no es necesario.
- La cometa tiene que girar desde su posición de aterrizaje a una posición de espera y luego más a la actitud de salida.
- La cometa tiene que ser fijada en modo de espera.

- Si es necesario el borde de ataque debe inflarse de nuevo.

Por esto es importante tomar en cuenta los sistemas de elevación: levantan la cometa activa mediante un dispositivo especial. Los sistemas estáticos están representados por mástiles metálicos o grúas, mientras que los sistemas no estáticos están representados por globos o vehículos aéreos no tripulados, ya que estos dispositivos son inflables y móviles. Y el sistema de soporte: los sistemas representan los sistemas que no elevan la cometa activa. Ya que modifican las condiciones de contorno (posición de la TEP, velocidad del viento aparente, etc.) para que la cometa pueda elevarse por sí misma. En estas categorías el cabrestante, como parte del sistema de producción de energía, no cuenta como un dispositivo adicional para lanzar la cometa como se observa en la Figura 2.53.



Figura 2.53 Cometa elevada.

Fuente: Cometas eólicas RWE, El periódico de la energía 2021.

En la parte de la estación de tierra, la parte central del sistema es la estación que incluye el cabrestante y el generador o motor, para crear energía eléctrica durante el desenrollado y también para el enrollado utilizando energía eléctrica. También la estación de tierra incluye un inversor y baterías para proteger la energía, debido a que el sistema no está conectado a una infraestructura como las torres de los aerogeneradores y sensores para medir la fuerza de amarre.

Otra parte importante es el impacto ambiental y visual. El emplazamiento de aerogeneradores afecta las propiedades estéticas o visuales de los alrededores, en especial en lugares donde la gente ha establecido un alto valor al paisaje. Los aerogeneradores son siempre elementos altamente visibles en el paisaje y por lo tanto el impacto visual tiene una afectación directa en la zona donde se coloque, definida como los recursos disponibles para la conveniencia, aprovechamiento y comodidad de las personas, en este caso un paisaje.

Dada la extensión del territorio mexicano, las mediciones del viento enfocadas a la evaluación y caracterización de su recurso eólico son muy limitadas. Sin embargo, ya se han identificado las regiones con mayor potencialidad, con base en las mediciones ejecutadas por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), la Comisión Federal de

Electricidad (CFE), la problemática es no contaminar ni causar un daño ambiental o visual en esos entornos (Secretaría Medio Ambiente, 2021) Una de las principales funciones de las cometas eólicas es producir energía sin causar ningún impacto negativo en el ambiente, reduciendo el impacto visual al tener la función de ser retráctil, además de ser más alta de lo que una torre eólica y así causa menor contaminación visual. Como muestra la Figura 2.54 la cometa no necesita modificar el ambiente que lo rodea a diferencia de la turbina convencional.



Figura 2.54 Impacto en el ambiente.

Fuente: Cometas eólicas RWE , El periódico de la energía 2021.

Los vientos turbulentos ejercen mayores tensiones sobre el rotor y se elevan, reduciendo consecuentemente la expectativa de vida de la turbina causan contaminación al tener que renovar constantemente las turbinas. Por esta razón la mayoría de los parques eólicos están ubicadas en localizaciones rurales, lejos de edificios, de árboles y de otros obstáculos dañando el ambiente que los rodea. Pero como muestra la Figura 2.55 la turbina cometa se ve favorecida por los fuertes vientos y sin contaminar el entorno (M., 2020).

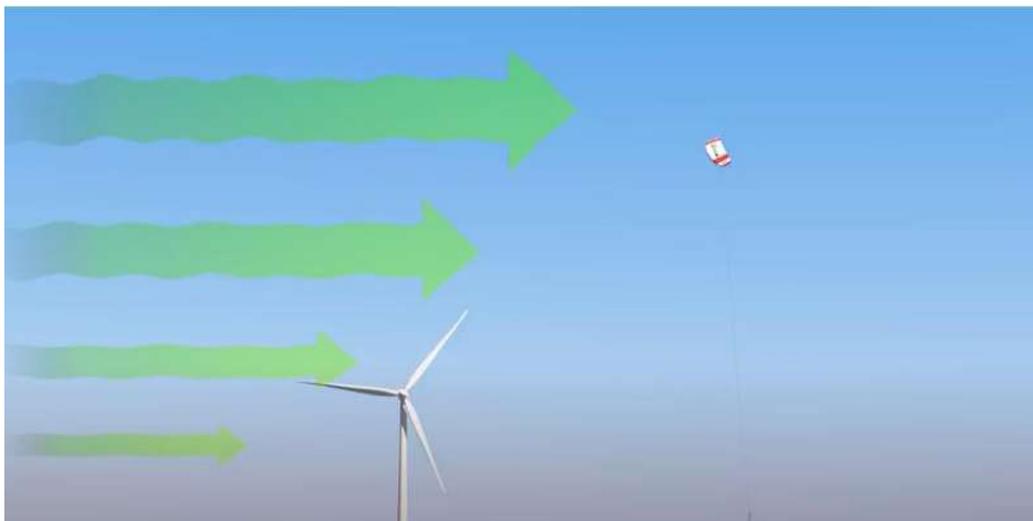


Figura 2.55 Fuerza del viento en las turbinas.

Fuente: Cometas eólicas RWE , El periódico de la energía 2021.

Además los aerogeneradores, al igual que el resto de estructuras altas, proyectarán una sombra en las áreas vecinas cuando el sol esté visible, es un efecto que ocurre cuando las aspas en movimiento del rotor de la turbina crean sombras parpadeantes que pueden molestar a las personas que viven en el área cercana circundante de las turbinas. Esta sombra puede crear disturbios a las personas dentro de los edificios que están expuestos a este tipo de luz pasando a través de ventanas pequeñas.

En el caso de las cometas utilizada en barcos, son sistemas que funcionan mediante el viento para la moderna navegación, con ellos el funcionamiento de los barcos será más rentable, seguro, ecológico e independiente de la escases del petróleo.

La cometa volando atada a los barcos, pueden operar en alturas de entre 100 y 300 m, como se observa en la Figura 2.56, en las cuales reinan vientos más fuertes y constantes, sin tener que permanecer en una sola zona evitando la contaminación visual. Las cometas generan entre el doble y el triple de la energía comparado con velas convencionales que generan contaminación debido a su poca resistencia y su necesaria renovación (*García, 2020*).



Figura 2.56 Altura de la turbina.

Fuente: Velas del cielo, J.K.

Otros impactos visuales de los aerogeneradores son las sombras, las colisiones de pájaros, bodegas, subestaciones, líneas de transmisión y caminos, para mantener una aceptación de la sociedad ante los parques eólicos deben ser diseñadas de tal forma que se minimice los impactos estéticos y visuales en la zona. Por lo tanto, se debe cumplir con los siguientes lineamientos:

- Asegurar una uniformidad visual (dirección de rotación, tipo de turbina, de torre y de altura).
- Evitar las cercas.
- Minimizar la implementación de caminos.
- Utilizar líneas de transmisión subterráneas.
- Limitar la implementación de líneas auxiliares.
- Quitar las turbinas que estén fuera de servicio.
- Controlar la erosión y replantar lo antes posible.

- Quitar el escombros, basura o residuo que genera la construcción.



Figura 2.57 Parque de cometas generadoras.

Fuente: Captar la energía eólica con cometas, F.M.

El emplazamiento de aerogeneradores afecta las propiedades estéticas o visuales de los alrededores, en especial en lugares donde la gente ha establecido un alto valor al paisaje, esto es a lo que se refiere el impacto visual de la energía eólica, como el parque de cometas que se muestra en la Figura 2.57. Los aerogeneradores son siempre elementos altamente visibles en el paisaje y por lo tanto el impacto visual tiene una afectación directa en la amenidad, definida como los recursos disponibles para la conveniencia, aprovechamiento y comodidad de las personas, en este caso un paisaje, en diferentes instituciones, mundiales, nacionales y/o regionales, que están encargadas de proponer lineamientos para la instalación de una granja eólica (SINC., 2019).



Figura 2.58 Primer cometa de wipika classic.

Fuente: Historia del KiteSurf, kitecam.

La energía eólica compite con otros usos públicos como la recreación, la agricultura, el turismo, la conservación de la vida salvaje, entre otras. La Figura 2.58 muestra como la cometa trabaja a gran altura y mantiene su estabilidad con un diseño simple.

Esto ocasiona que la percepción de una granja eólica o parque eólico dependa de su actitud hacia el paisaje y la belleza natural, la amenidad visual actual y su actitud general hacia las fuentes alternas de energía (H., 2012). Pero también genera un impacto positivo al no generar contaminación que dañe la atmósfera o desgaste los recursos naturales.



Figura 2.59 Funcionamiento básico del diseño cometa kite.

Fuente: Modelos del sistema del generador de cometas e integración, M.A.

Para utilizar la energía eólica de forma económica y ecológicamente eficiente, aún quedan algunos problemas por resolver en cuanto a los aerogeneradores, mientras que los molinos de viento comunes tienen que lidiar con problemas estáticos y financieros, así como problemas de mantenimiento, los aerogeneradores tienen problemas de automatización, seguridad y espacio, las alas especialmente flexibles son problemáticas en cuanto a la automatización, es por todas estas razones por las que la cometa resulta ser la opción más viable tanto ecológicamente como ambientalmente además de ser un diseño muy fácil de crear, en la Figura 2.59 se observa su funcionamiento básico.

Tan pronto como el lanzamiento Ampyx Power, respectivamente la rotación, el área se vuelve muy peligrosa tanto para las personas como para los animales ya que el brazo puede ser muy rápido. Además, es posible que esta forma de lanzamiento sea ruidosa ya que hay tanto el ruido de un gran motor y el ruido creado por el viento alrededor del brazo girado. Es casi imposible mantener un pequeño impacto ambiental con este principio de lanzamiento. Además, la gran necesidad de energía y material disminuye la calidad en materia de sostenibilidad.

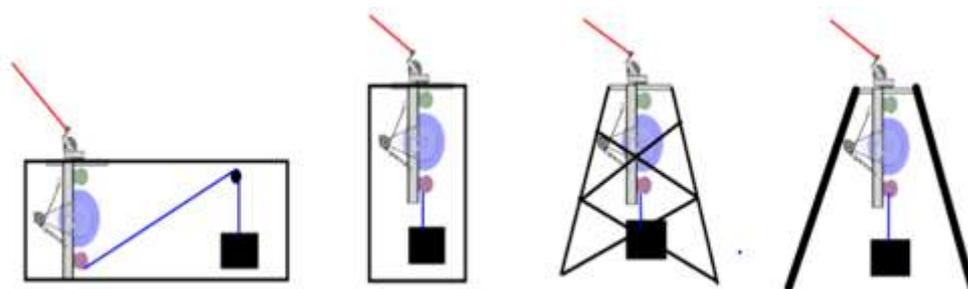


Figura 2.60 Caballete o caja de la turbina.

Fuente: Modelos del sistema del generador de cometas e integración, M.A.

Sus perfiles en U no logran que se sostenga con el tiro diagonal, no funcionará sin una construcción de caballete. La Figura 2.60 muestra como una estructura sin cimientos es poco efectiva, por el deslizamiento no resulta factible, en cambio con los cimientos se obtiene una verificación de resistencia de la viga principal.

Como estos sistemas están conectados al suelo mediante tejidos ligeros, la altitud máxima es casi limitada y los problemas estáticos desaparecen. En los últimos años el uso de cometas para cosechar energía eólica a gran altura se hizo en muchas empresas como Skysails y Enerkite.

Ventajas:

- Ahorro de energía.
- Mejora de la eficiencia del sistema.
- Alta fiabilidad: alto par de arranque y par máximo limitado a y un par máximo limitado para salvaguardar la caja de cambios mecánica.
- Posibilidad de accionamiento del inversor.
- Máxima precisión de posicionamiento por codificador.
- Revestimientos adecuados para entornos salinos permiten una alta resistencia a las más duras condiciones climáticas duras.
- Aplicaciones eólicas en el interior y en el agua.
- Frenos de larga duración.
- Solución compacta.
- Fácil instalación.

Cómo se muestra en la Figura 2.61 la cometa está sujeta por poleas para que al momento donde se eleva no salga volando sin regreso, tiene un proceso de elevación y de aterrizaje que son fundamentales para mantener la cometa en buen estado.



Figura 2.61 Proceso de elevación en la cometa.

Fuente: Cometas generación, G.A.

CAPITULO III.- Simulación de recursos eólicos en turbina cometa.

3.1 Introducción general sobre simulación

La simulación es un método muy útil y una herramienta, tanto cuando se emplea con fines educativos como evaluativos, acelera el proceso de aprendizaje, se utiliza como un medio de representación de un proceso mediante otro que lo hace más simple y entendible. Se utiliza la simulación en base a un modelo de sistemas, que trata de acercarse a las características que se obtendrían en la realidad a fin de reproducir e impactar la esencia de las operaciones reales. Es la representación de un proceso real, mediante la implementación de un modelo o sistema que reaccione de una manera similar o muy aproximada al comportamiento real.

La aplicación de la simulación no tiene límite y los modelos a simular se convierten en el proceso a desarrollar de manera sustentable, con menor riesgo, además ayuda a justificar al máximo los recursos que se utilizan, implementar el nivel de calidad y servicio. La simulación se puede utilizar como un instrumento para el análisis y diseño de sistemas permitiendo la construcción de modelos que son una representación exacta o similar a la que se busca en la realidad.

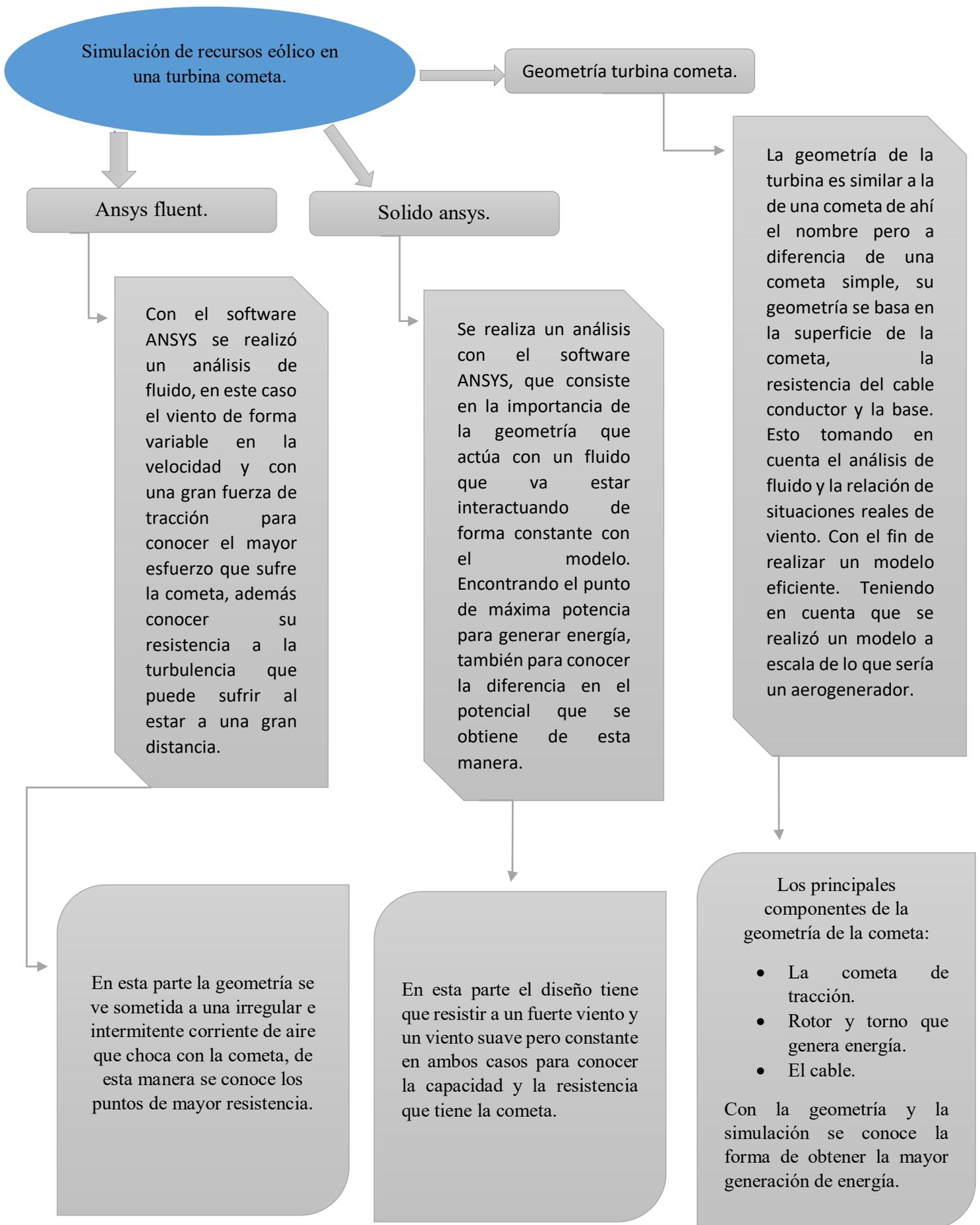
La experimentación puede resultar costosa pero la simulación resulta en una menor inversión, así mismo la simulación es un proceso que diseña una actividad de la manera más real que sea posible, como ejemplo la empresa Tesla no podía permitirse el lujo de experimentar con autos aprueba de choques y tampoco tenía que hacerlo, *Roadster* hizo un prototipo para las instalaciones de prueba de colisión que utilizaban las grandes fábricas que contaban con los últimos avances en cámaras de alta velocidad y otras tecnologías y a partir de realizar simulaciones por ordenador a una empresa especializada en la simulación, lo que le ahorró a la compañía tener que fabricar una flota de vehículos para las pruebas físicas, además de ahorrar en disponer de la pista de resistencia, pavimento con adoquines hormigón y objetos metálicos, y la simulación les permitía observar desgastes de 10 años y 160,000 kilómetros (Anzuistiga, 2019).

Se puede apreciar el enfoque en el que la simulación tiene participación en la ciencia y en la sociedad. Ya que la simulación es una técnica fundamental que imita el funcionamiento correcto de un sistema en el mundo real y actúa en conjunto de la hipótesis acerca de un buen funcionamiento de sistema, mediante exploraciones matemáticas y lógicas. Día a día la interrelación de la simulación con otras técnicas ha permitido desarrollar proyectos más complejos que dan a conocer demasiadas perspectivas de transformación tecnológica, científica, industrial, etc.

Robert E. Shannon dijo “Es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y concluir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema y evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema”.

La simulación tiene como principales beneficios el ahorro de dinero, de tiempo y esfuerzo minimizando los riesgos que conlleva un modelo convencional que se trabaja sobre un software con pruebas que se igualan a la realidad física.

3.2 Esquema propuesto



3.2.1 Software Ansys y Cinema 4D

Creadores de Cinema 4D: Fue fundado en 1986 por *Harald Egel, Harald Schneider y Uwe Bartels*, creado por **Maxon Computer**, la sede de *Maxon* se encuentra en Alemania, pero también opera en **EE.UU., Reino Unido, Canadá** y centros de competencia en **Japón, Francia y Singapur**.

Características generales: Cinema 4D es un software profesional de modelado, animación, simulación y además es conjunto de herramientas útiles, rápidas, flexibles y estable que hace el diseño 3D más accesible y eficiente para el diseño gráfico en movimiento. Cinema 4D es un software para modelado 3D de animación que ha ganado una considerable popularidad en los últimos años. Su uso tiene un amplio espacio dentro de la industria de la televisión y la publicidad gracias a sus características específicas para *motion graphics*. Y requiere licencia para su uso. Este software está muy valorado, ya que permite la creación de contenido complejo y de calidad de una manera muy eficaz, tal como exigen normalmente las curvas de aprendizaje 3D. Muchos recomiendan Cinema 4D incluso para aquellos que aún no son profesionales. Su aplicación es envidiable en relación con sus competidores y sin duda es el programa que ofrece la mejor interfaz gráfica. Uno de los puntos fuertes de este software es *MoGraph* (traducido literalmente es grafismo en movimiento), un poderoso conjunto de herramientas que pueden hacer gráficos en movimiento de manera sencilla. Sus características permiten, por ejemplo, clonar objetos, replicar objetos, agregar efectos y crear movimiento de manera más fácil y rápida. Además, goza de un éxito indiscutible entre los creadores de gráficos en movimiento, porque tiene CINEWARE dentro del programa, que permite integrar escenas 3D de Cinema 4D directamente en *After Effects*, aplicación, esta última que ha establecido un flujo de comunicación sólida en las últimas versiones. En definitiva, cinema 4D es un software 3D fácil de aprender y muy potente. Tanto los principiantes como los profesionales experimentados pueden beneficiarse de la amplia gama de herramientas y funciones de Cinema 4D para alcanzar rápidamente resultados impresionantes en sus escenas 3D. Junto con *After Effects*, forma el paquete perfecto. Una herramienta indispensable para todos los creadores de imagen digital. El software es cinema 4D junto con el software Ansys, para lograr un mayor resultado tanto estético como de diseño. Este software fue creado por Maxon Computer desarrollador líder de software 3D para la industria creativa, más conocido por su buque insignia de modelado 3D, pintado, render y software de animación, Fundado en 1986 por Harald Egel, Harald Schneider y Uwe Bärtels, la sede de Maxon se encuentra en Alemania. Maxon opera filiales en EE. UU., Reino Unido, Canadá y centros de competencia en Japón, Francia y Singapur. Es un programa que requiere licencia para su uso, en la Figura 3.0 se muestra su logo representativo.



Figura 3.p Logo de cinema 4D

Fuente: Cinema 4D.

3.2.1.2 Características generales de Ansys.

Creador de Ansys: Software Workbench es un programa de análisis y simulación, desarrollada por *Jhon A. Swanson*.

Ansys es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de meshing o malleo, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas, brevemente se describen sus módulos principales por disciplina. ANSYS Workbench es una plataforma de software desde donde se crean los proyectos de análisis CAE en diferentes disciplinas, Workbench despliega gráficamente el intento de la simulación en ingeniería y se establecen las relaciones entre fenómenos físicos y sus módulos incluyendo multifísica. La plataforma ANSYS Workbench incluye software y componentes para diferentes fenómenos.

Ansys CFX es un programa de análisis y simulación CFD (*Computational Fluids Dynamics*) de propósito general, usadas para problemas de fluidos, tiene herramientas de modelado, mallado y simulación en una interface moderna que da cabida a una amplia gama de resolución de problemas. Ansys CFX se integra con la plataforma Ansys Workbench de forma bi direccional para compartir información de modelado y mallas. Por ejemplo, un escenario de flujo puede ser usado como fronteras en un problema de diseño estructural. Ansys fue fundada en 1970, utilizando aproximadamente 1700 empleados.

La mayoría con experiencia en elemento finito y dinámica de fluido computacional. Ansys es líder global en simulación de ingeniería, abarcando análisis estructural, fluido dinámica, electromagnética y multifísica, auxiliando a las empresas más innovadoras del mundo. Las herramientas de diseño 3D de ansys ofrecen una figura realista y rápida que permite al usuario construir figuras, modelos y diseños que exige la ingeniería moderna, se puede innovar probando más diseños en menos tiempo, para obtener una exploración rápida del proyecto y una visión detallada del rendimiento del producto en el mundo real. La simulación en tiempo real y la simulación precisa de alta fidelidad se unen en una interfaz única y fácil de mostrar, en la Figura 3.1 se muestra el logo principal de ansys de licencia estudiantil (CAD., 2020).



Figura 3.1 Logo de ansys.

3.3 NACA (modelos)

Institución precursora para el desarrollo racional de perfiles aerodinámicos denominados NACA: National Advisory Committee for Aeronautics. Este comité está encargado de realizar pruebas y diseños empíricos de perfiles aerodinámicos. Antes de la era de aerodinámica computacional la NACA fue una agencia federal de Estados Unidos que se fundó el 3 de marzo de 1915 para emprender, fomentar, e institucionalizar las investigaciones aeronáuticas. Este comité estaba encargado de realizar pruebas y diseños empíricos de perfiles. La agencia se disolvió el 1 de octubre de 1958 para darle paso a la creación de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Estas dos instituciones a nivel mundial formalizaron trabajos y estudios en túneles de viento durante el periodo definido entre 1920-1960, resultando en la creación de perfiles alares y el desarrollo racional de una nomenclatura para la distinción de perfiles basados en un desempeño aerodinámico (Paz, 2019).

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que estudia las acciones que provoca el movimiento relativo de un cuerpo sólido y entre un fluido, esto relaciona la geometría del cuerpo sólido con las condiciones, referente al viento que envuelve la cometa, como puede ser la altitud, la velocidad, la temperatura del entorno, la presión y la distribución de la velocidad. La aerodinámica permite explicar y comprender los distintos fenómenos que provoca un fluido sobre un cuerpo cuando existe un movimiento, además de cómo sacar el máximo provecho.

El perfil aerodinámico es la forma transversal de un elemento que al desplazarse en el aire son capaces de crear a su alrededor una distribución de presiones que genera sustentación. Dependiendo del propósito que tenga el diseño de los perfiles puede ser más fino o grueso, curvo o poligonal, simétrico o no. Pero los perfiles tienen que presentar mayor o menor resistencia al avance en un fluido, también una mayor o menor facilidad de movimiento en el fluido (O., 2021).

Un perfil aerodinámico es una estructura diseñada para obtener una reacción sobre una superficie mediante el aire a través del cual se mueve, ya que el aire actúa de diversas formas cuando se somete a diferentes presiones y velocidades. La nomenclatura NACA define el concepto geométrico del perfil. Un perfil está construido de tal manera que su forma logre el mayor aprovechamiento del viento sin dejar las leyes físicas de lado, desarrollando dos acciones en la masa de aire: una presión positiva de la masa de aire actuando debajo, con una acción de presión negativa actuando también, otro punto importante es que NACA decidió generar la nomenclatura de 4 dígitos para la primera familia de perfiles alares que representa el máximo grosor, ángulo, ubicación de máximo ángulo. Después de 1930 nació la segunda familia de los perfiles alares NACA de 5 dígitos, el primer dígito cuando se multiplica por $3/2$ otorga el coeficiente de sustentación.

Sin embargo diferentes perfiles tienen distintas características de vuelo, diversos perfiles han sido probados en túneles de viento y en vuelo, pero se ha encontrado un perfil que

satisface las necesidades del vuelo como el peso, velocidad y propósito de cada aeronave en la forma de su perfil.

El perfil más eficiente para la producción de sustentación es el que tiene una superficie cóncava como es el diseño de la turbina cometa, que cumple con las fuerzas que debe actuar sobre un perfil aerodinámico sustentación que es el resultado de la diferencia de presión entre la parte superior e inferior, peso, tracción y resistencia que son las fuerzas básicas que actúan sobre una aeronave (E.L., 2021). Este perfil se creó en base a los modelos NACA con ayuda de la herramienta Ansys.

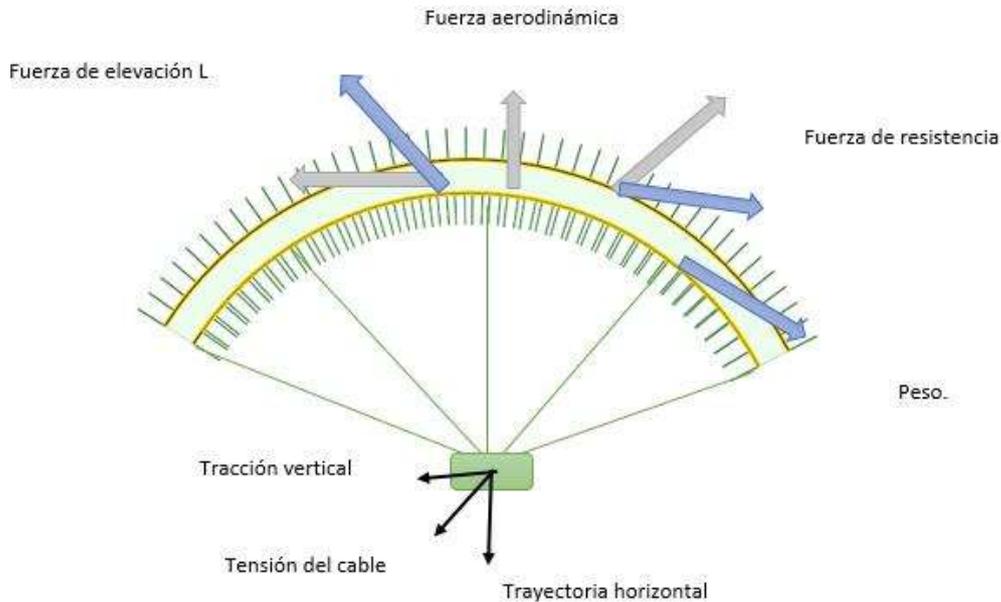


Figura 3.2 Ejemplo de perfil Aerodinámico cometa en ansys.

Fuente: Ansys

Pero la cometa no se encuentra en el perfil de NACA, debido a lo reciente que es el diseño en la industria generadora de energía, por lo que no se encuentra su nomenclatura en el perfil NACA, pero sigue cumpliendo con los requerimientos de un perfil aerodinámico por lo tanto es necesario diseñarlo como se muestra en la Figura 3.2 y la Figura 3.3 esto considerando las fuerzas que actúan en una cometa : El peso, la tensión del cable y la fuerza aerodinámica.

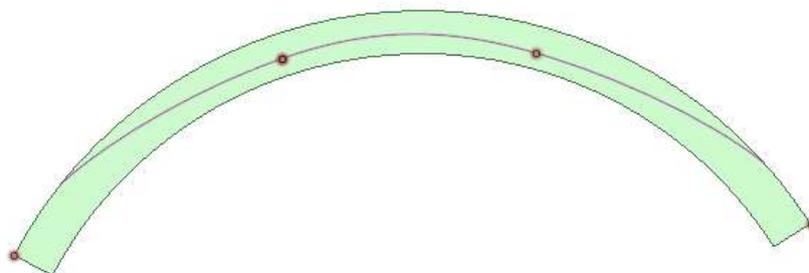


Figura 3.3 Línea de mayor esfuerzo.

Fuente: Ansys.

3.4 Geometría de turbina cometa en el software Ansys

La cometa tiene un diseño simple pero resistente y eficiente, la parte más importante de la geometría, es la parte que se eleva para obtener la energía del viento como muestra la Figura 3.4 para convertirla en energía eléctrica, la forma es cóncava ya que esta forma tiende a capturar mejor el viento, lograr elevar a grandes alturas requiere de una gran fuerza y la forma de la cometa lo permite.

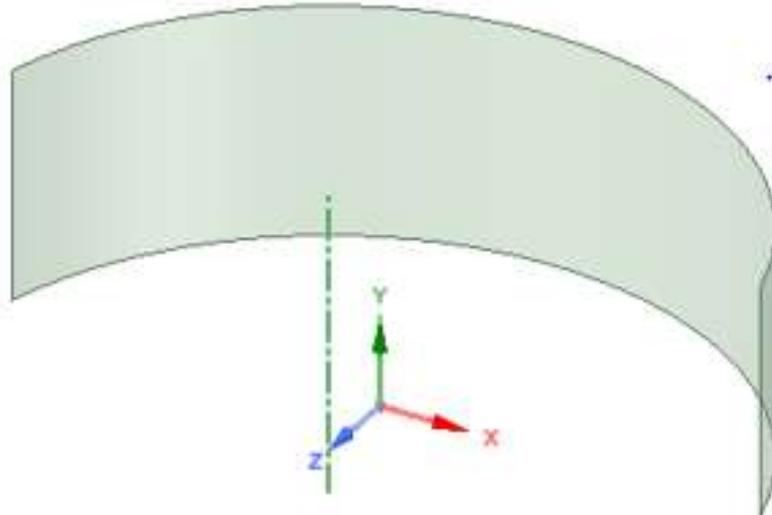


Figura 3.4 Ejemplo de cometa elevada e inflada.

Fuente: Ansys.

Al estar inclinada logra elevarse a una gran altura permitiendo generar el movimiento en forma de 8 para crear un ciclo de generación eléctrica. En un ángulo de 150° o 120° como se observa en la Figura 3.5, la geometría logra mostrar como la superficie inferior abarca una gran cantidad de aire, ayudando a elevar la cometa.

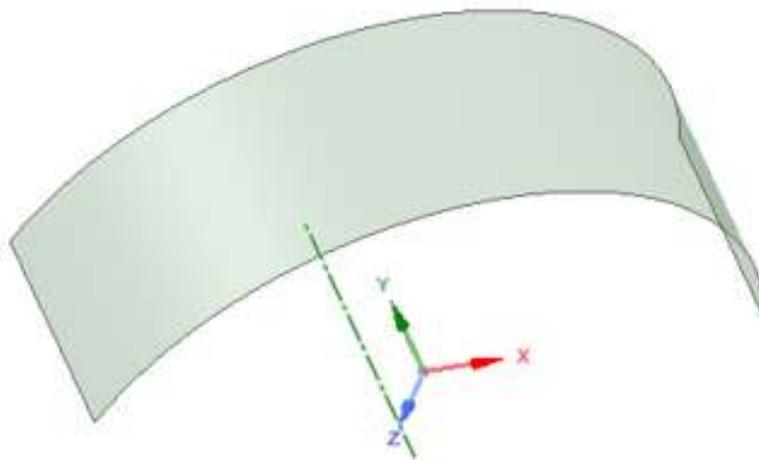


Figura 3.5 Ejemplo del perfil aerodinámico y de la cometa ya elevada.

Fuente: Ansys.

Al bajar la cometa los cables se van enrollando en la caja que se observa en la Figura 3.6 que está en la superficie de esta forma el rotor obtiene más energía al ser devuelta la cometa a tierra, aprovechando al máximo la generación, al bajar los cables van entrando de forma lenta para evitar nudos que complicarían el descenso de la cometa y el almacenamiento tanto de los cables como de la cometa.

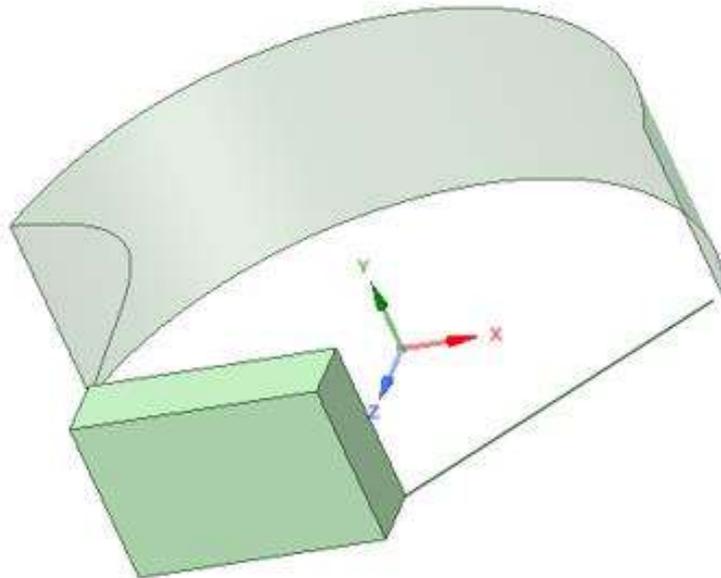


Figura 3.6 Diseño aerogenerador.

Fuente: Ansys.

La cometa tiene un diseño que permite la interacción con el viento de modo que entra por la tela resistiva que compone a la cometa desde la parte interna de la cometa, esto para elevarla de forma directa con ayuda de un pequeño empuje de energía del viento, en la Figura 3.7 se muestra el radio de la cometa.

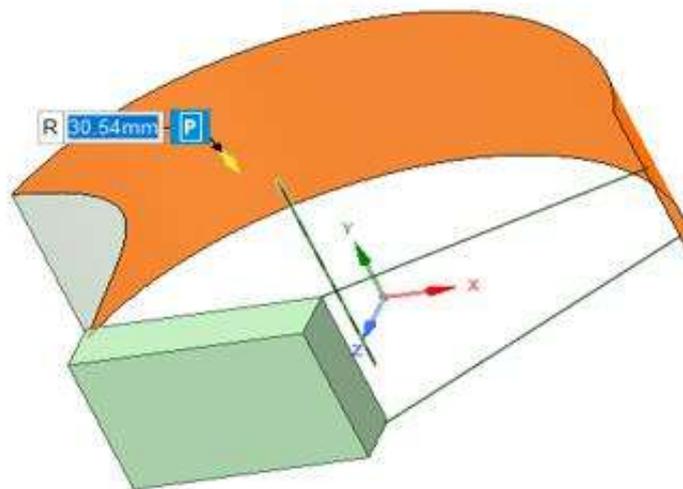


Figura 3.7 Al insertar una fuerza definida por un vector.

Fuente: Ansys.

En el momento en el que la cometa se coloque en lo alto se observa en la Figura 3.8 que la dimensión de la cometa sobrepasa la de la base que está en tierra esto debido a que la captación del viento tiene que ser capaz de entrar por la tela y empujarla para crear el movimiento de rotación, que debe seguir para generar energía. Pero la base sigue teniendo una gran resistencia a la fuerza que le infringe la cometa y la tensión de las poleas que son sometidas a las fuertes corrientes de aire.

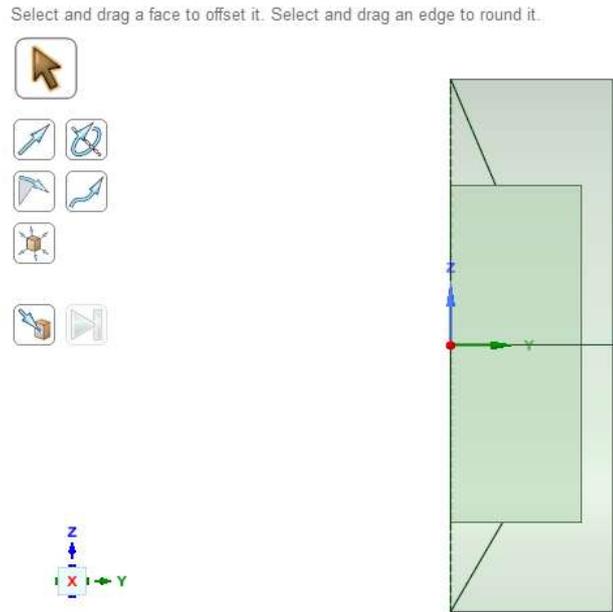


Figura 3.8 Dimensión de la cometa.

Fuente: Ansys.

La estación en tierra de forma simple, para un diseño básico, se muestra en la Figura 3.9 se conecta con los 4 cables que van a la cometa, este tiene una tracción debido al movimiento de la cometa, esto genera una energía extra para la caja en tierra ya que genera energía por la tensión y el movimiento. El rotor que se tiene en la caja va generando un movimiento cada que la cometa gira y al almacenarse la cometa también se genera ese movimiento.

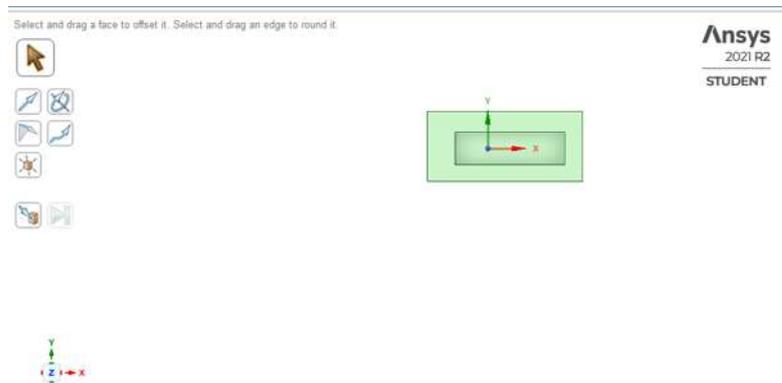


Figura 3.9 Sistema en tierra.

Fuente: Ansys.

En la Figura 3.10 se observa que la geometría de la cometa, es de un ancho considerable, para que la cometa pueda captar la mayor cantidad de aire y las corrientes fuertes que choquen con la superficie de la tela resistiva de la cometa, también para obtener un mayor empuje al momento de elevar la cometa a grandes alturas, sin sufrir deformaciones en el diseño de la cometa, la tela puede ser guiada por el movimiento del viento pero su forma seguirá captando las corrientes del viento.

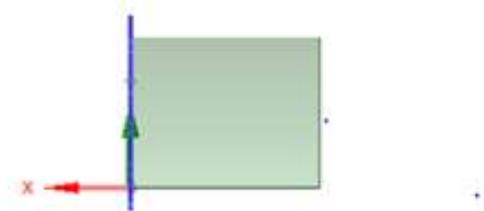
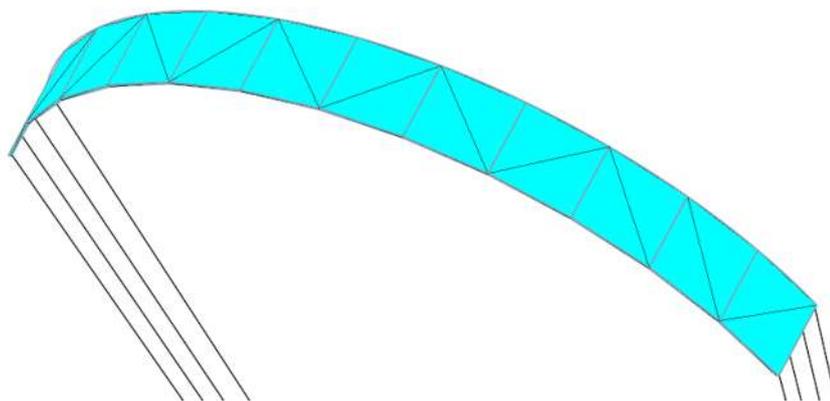


Figura 3.10 Ancho de la cometa.

Fuente: Ansys.

La geometría de la turbina es simple pero de gran eficiencia, requiere de un diseño exacto para que funcione correctamente. La unión de los cables no debe obstruir el movimiento de la cometa y ser lo suficientemente fuerte para soportar la tensión a la que son sometidos como se muestra en la Figura 3.11



2021 R2
STUDENT

Figura 3.11 Cables o alabes de la cometa en ansys.

Fuente: Ansys.

El ancho de la cometa tiene que ser mayor al de los cables para poder tener un movimiento libre que fluya con el viento, también para dar suficiente espacio a los cables que sujetan la cometa, de esta forma no se enredaran entre ellos, dejando así fluir la rotación de la cometa. La cometa puede tener diferentes dimensiones, pero el cable deberá ser proporcional a la distancia que se quiere alcanzar sin olvidar el diseño de la cometa para que se ejecute de forma correcta la rotación en forma de 8 que debe seguir, para generar energía tanto a través de la cometa como de la caja en tierra.

3.4.1 Análisis eólico de turbina cometa en Ansys

Consiste fundamentalmente en tres partes

1. Una cometa que vuela por el cielo aprovechando la energía eólica.
2. Un sistema que convierte el movimiento de la cometa en electricidad.
3. Un cable que conecta la cometa con la caja que se encuentra en tierra.

La cometa asciende cientos de metros donde puede recoger fácilmente las grandes cantidades de energía disponibles a esa altitud en un entorno operativo de su zona de pruebas llegaría hasta 30 kW, con una producción a escala completa podrían alcanzarse los 1500 metros de altitud. En este caso le asignamos una altura de 200 metros desde la base en tierra hasta la altura máxima alcanzada por la cometa como se observa en la Figura 3.12.

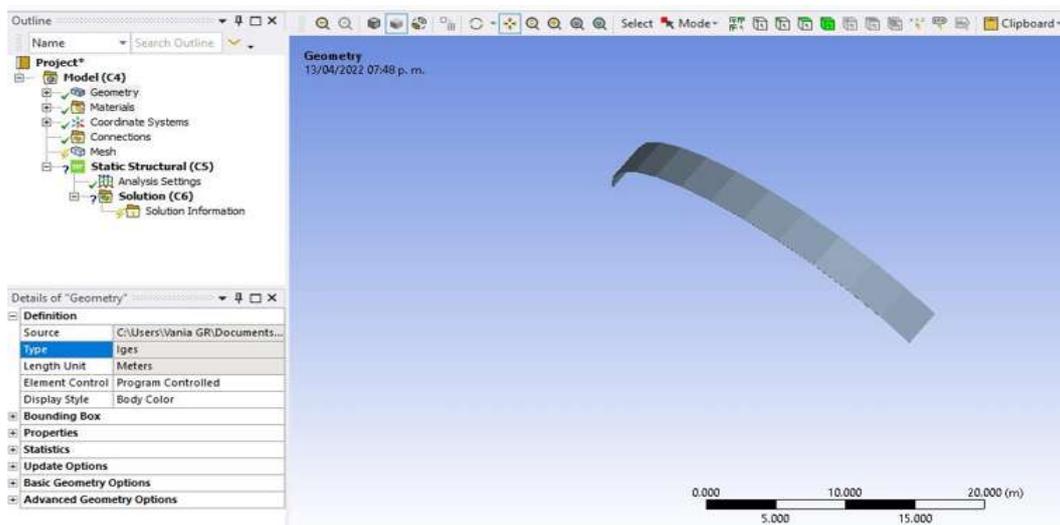


Figura 3.12 Información de la cometa.

Fuente: Geometría Ansys.

Para un análisis eólico rápido insertaremos un fuerza que será el peso de la gravedad en la cometa y la interacción que en este caso será con el viento, al tener contacto con el viento la herramienta ansys nos marcará en rojo las zonas que tengan un empuje de viento como se muestra en la Figura 3.13

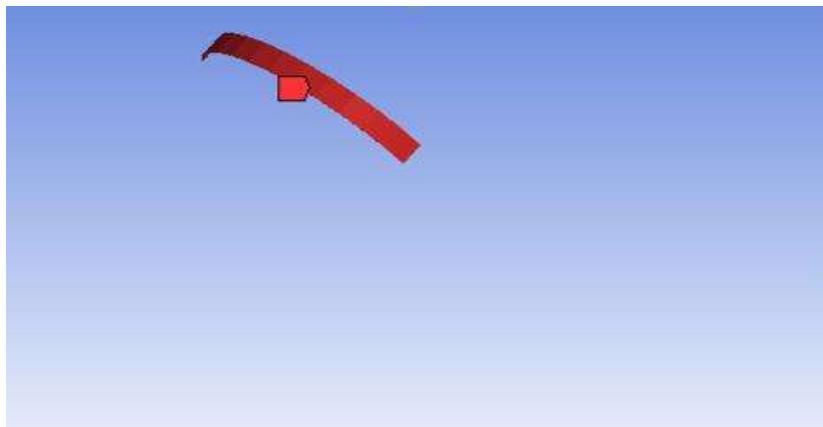


Figura 3.13 Interacción del viento con la cometa.

Fuente: Simulación Ansys.

Cuando la cometa choca con una corriente de aire en la parte interna, comienza a elevarse generando una fuerza en la tela de la cometa y las cuerdas, comienzan a desenrollarse los cables de la base, para que la cometa alcance la altura máxima, como se muestra en la Figura 3.14 la parte marcada con la etiqueta que parece un cuadro, es la que recibe más energía, es el centro de la cometa.

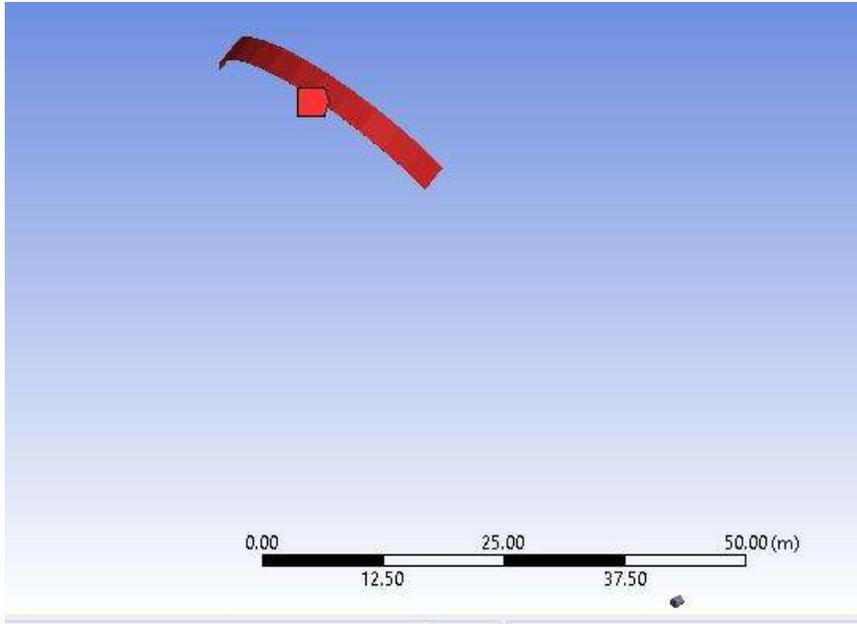


Figura 3.14 Punto principal de esfuerzo.

Fuente: Simulación Ansys.

Al tener un choque con el viento, la parte superior sufre un empuje que la hace bajar, cuando el empuje es en la parte interna la eleva, eso genera el movimiento en forma de 8 que presenta la cometa, generando así energía que se va acumulando en la base que se encuentra en tierra, y se marca en verde como se muestra en la Figura 3.15.

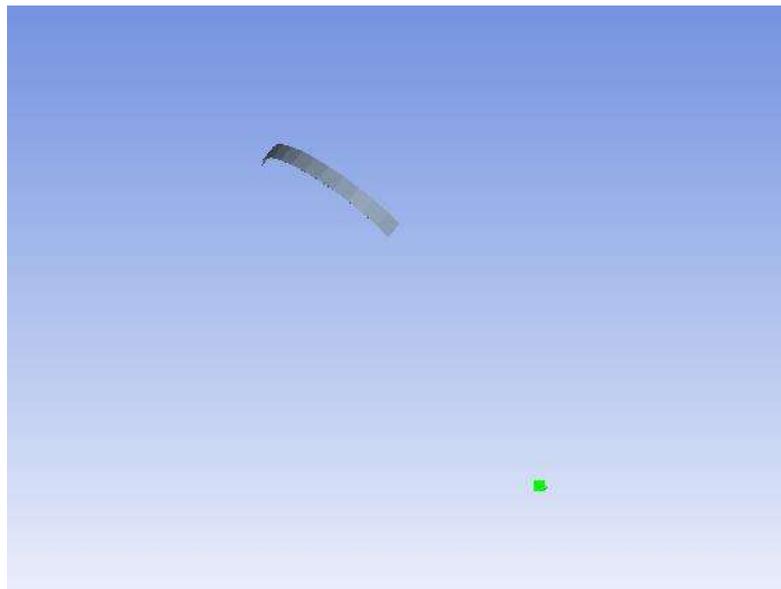


Figura 3.15 Ejemplo de energía en la base.

Fuente: Simulación Ansys.

Después de realizar la simulación se verifica que la herramienta ansys marque con una palomita lo realizado, tanto en el modelo como en la geometría, si aparece un rayo como se muestra en la Figura 3.16, hay que verificar que valor está afectando la simulación, para obtener la solución, y así conocer las variables de la cometa cuando está en funcionamiento, también para conocer el esfuerzo en los cables , y la captación que tiene en la caja que está en tierra.

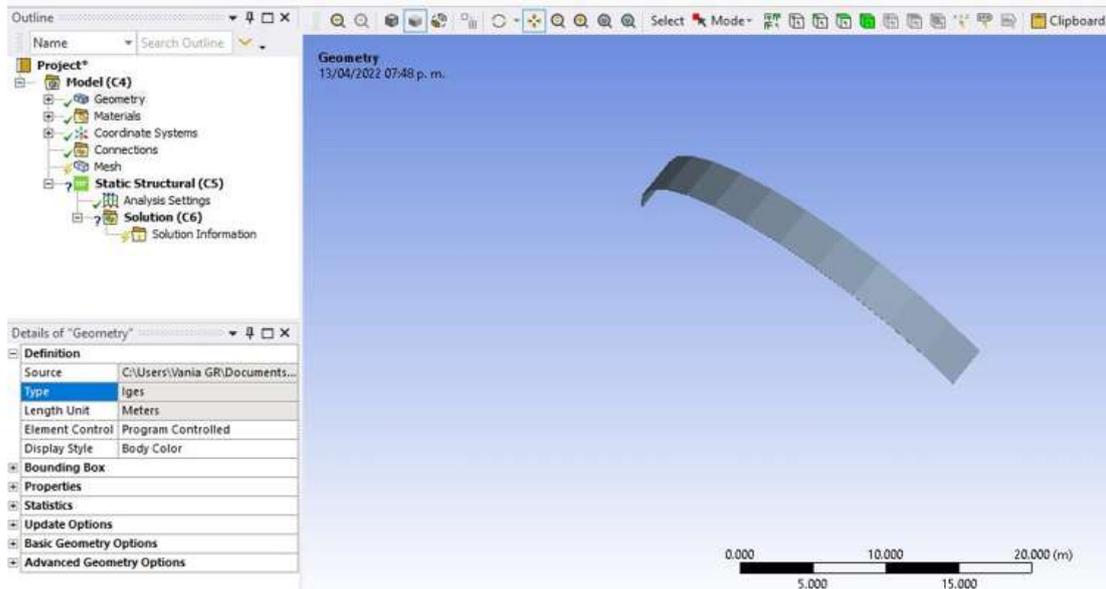


Figura 3.16 Herramientas de Ansys en ejecución.

Fuente: Ansys.

Se realizó el mesh que es la herramienta de Ansys para dividir el cuerpo en una cantidad finita de elementos que pueda distribuir una fuerza aplicada de manera uniforme a toda la geometría como se muestra en la Figura 3.17. Al realizar este procedimiento podemos conocer a mayor detalle las zonas que tienen mayor interacción con el viento, el mallado seleccionado para esta parte fue por defecto con una cantidad de nodos , debido a que son los que permite Ansys con la licencia estudiantil. El modelo es de forma simple para manejarlo como un modelo global, con un mallado que lleva la tensión por defecto de la cometa.

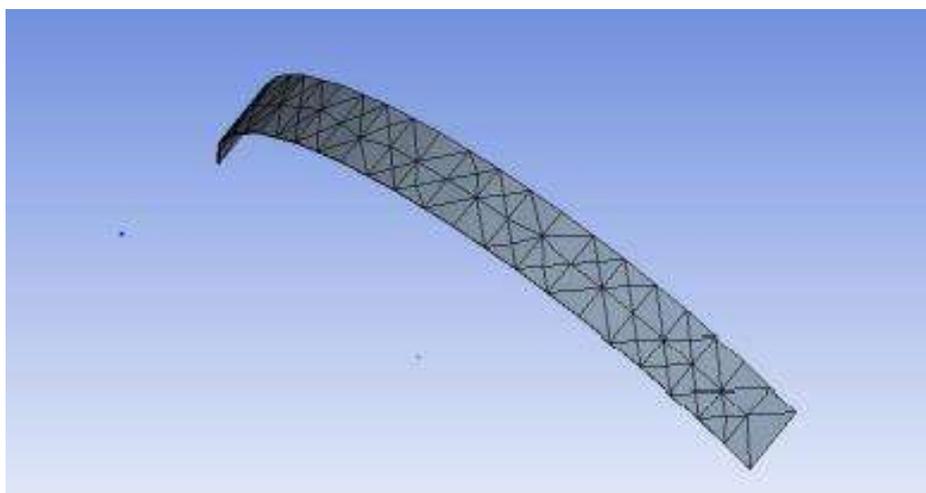


Figura 3.17 Mallado o mesh.

Fuente : Ansys.

En la Figura 3.18 se muestra como la fuerza uno realiza un empuje en dirección al interior de la cometa para que se eleve lo más alto posible, también para obtener energía mediante la interacción del viento con la cometa. De esta forma está elevando la cometa en forma directa, cuando llega al punto máximo comienza a tener afectaciones con la fuerza que choca en la parte superior de la cometa, pero sigue elevada debido a la captación de viento que está en el centro de la cometa.

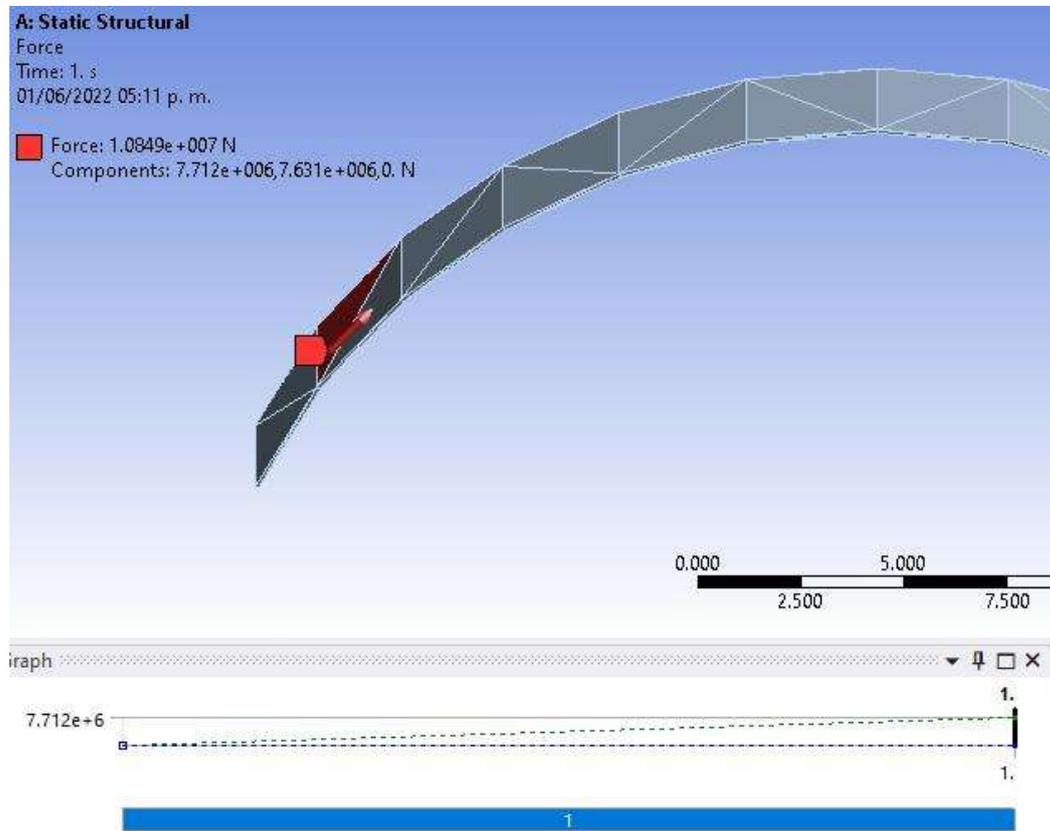


Figura 3.18 Fuerza 1 en la cometa.

Fuente: Ansys.

En la Figura 3.19 se observa la fuerza dos que realiza un empuje opuesto al de la fuerza uno, de igual forma esto ayuda a la cometa para realizar el ciclo de generación de energía, generando un movimiento en forma de 8 para que la cometa capte la mayor cantidad de viento y permanezca volando

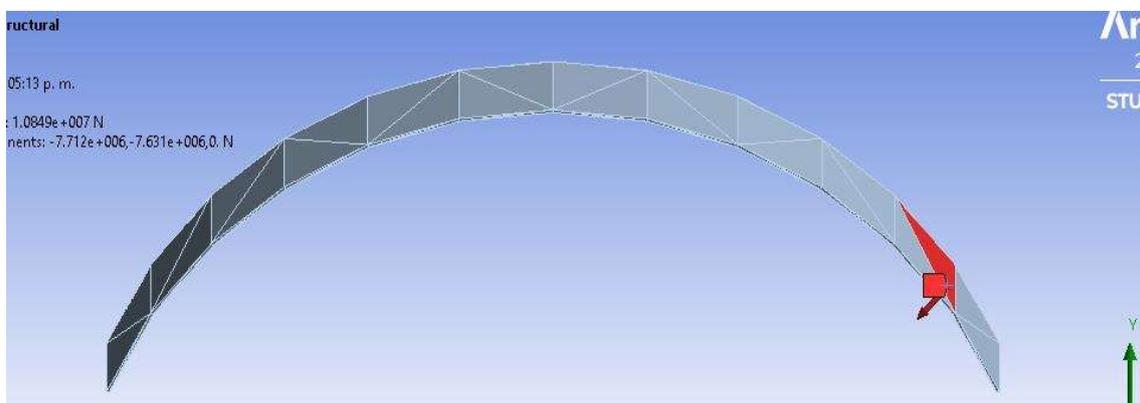


Figura 3.19 Fuerza 2 en la cometa.

Fuente: Ansys.

Capitulo IV. Pruebas a turbina cometa mediante el software Ansys y Cinema 4D

4.1 Pruebas a la turbina cometa mediante Ansys y Cinema 4D

En esta parte, se hizo una animación 3D de la turbina cometa con un diámetro de 100 cm, con la ayuda de la herramienta computacional Cinema 4D, para realizar un diseño estético visual de la cometa como se muestra en la Figura 4.0 pero queda limitado por el software al no contar con un comportamiento dinámico, específicamente se concentra en el diseño de la parte superior de la cometa, esta parte es la que resiste las corrientes del viento y captura la energía cinética para transferirla. Se muestra diferentes ángulos del diseño para una mayor observación.



Figura 4.0 Primer diseño de la turbina basado en la parte que compone la cometa.

Fuente: Cinema 4D.

Se explica anteriormente que para capturar la energía del viento a grandes alturas, se busca crear modelos de aerogeneradores con forma de cometa que vuelen a grandes alturas. Esto con el fin de tener un punto de comparación.

Escala: La turbina puede variar ya sea dependiendo de la zona donde se va ubicar o la energía que se quiera obtener puede ser una pequeña turbina de 15 metros de ancho hasta una grande con 52 metros de ancho, pero debe ser considerado el peso que tenga la tela con la que se diseña la turbina para que la elevación no sea complicada debido al peso y que se pueda alcanzar alturas superiores a las de una turbina convencional. En esta parte se plantea el diseño de la cometa en una zona que tiene constantes corrientes de gran fuerza como se observa en la Figura 4.1 y que puede ser considerada un punto adecuado para la

implementación de un parque eólico, el diseño muestra el ángulo donde la cometa se coloca para elevarse con la ayuda de la corriente de aire, también se muestra los cables que la sujetan y los cuales transmiten la energía al roto.

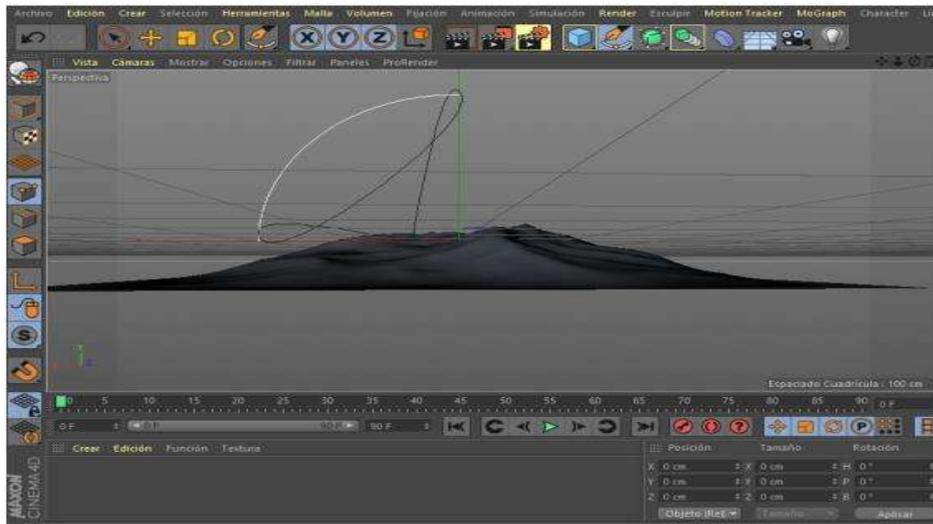


Figura 4.1 Parámetro de la turbina siguiendo un eje.

Fuente: Cinema 4D.

El diseño de la cometa tiene sujeto dos cables que ayudan a soltar la cometa suficientemente alto, sin perder el lineamiento que tiene que seguir, en el software se plantea una altura tres veces más alta que lograra que cuando la cometa este arriba, más de la altura de una turbina convencional, ya que el software no permite más altura debido a lo estético del diseño, pero los prototipos realizado en la compañía Sky Windpower buscan superar 10 veces la altura. Se alcanza a observar en la Figura 4.2 los parámetros que se utilizan para la animación, se tomó una altura referencial de 90 metros al nivel del suelo, lo que se busca es simular el vuelo de la cometa en alturas más grandes para obtener mayor movimiento generar un movimiento constante en forma de 8, y además los parámetros de elevación se inician de 0° hasta lograr una elevación donde el ángulo varía entre 60° a 80°.

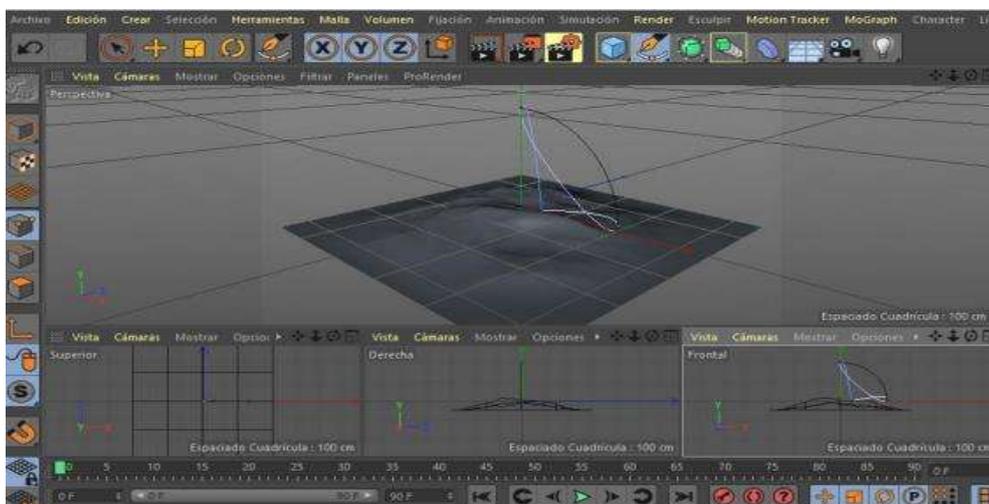


Figura 4.2 Parámetros.

Fuente: Cinema 4D.

Al observar los diferentes ángulos que presenta la cometa como muestra la Figura 4.3 se puede realizar un análisis de trabajo de la cometa para conocer en que ángulo o en qué posición es más útil para generar energía, ya que el punto es abastecer la necesidad energética.

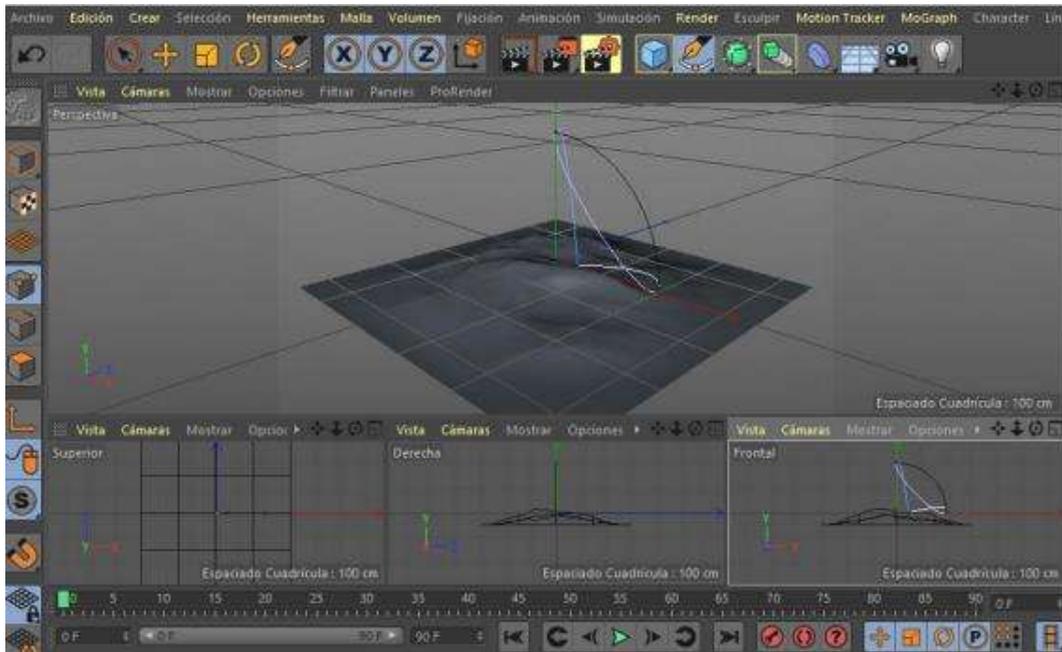


Figura 4.3 Ángulos de la cometa.

Fuente: Cinema 4D.

Los rotores giratorios de las turbinas de la cometas convertirían la energía cinética del viento en electricidad, para enviarla después a través de un cable de unos 9,000 metros de longitud hasta una red de distribución eléctrica situada en el suelo como muestra la Figura 4.4.

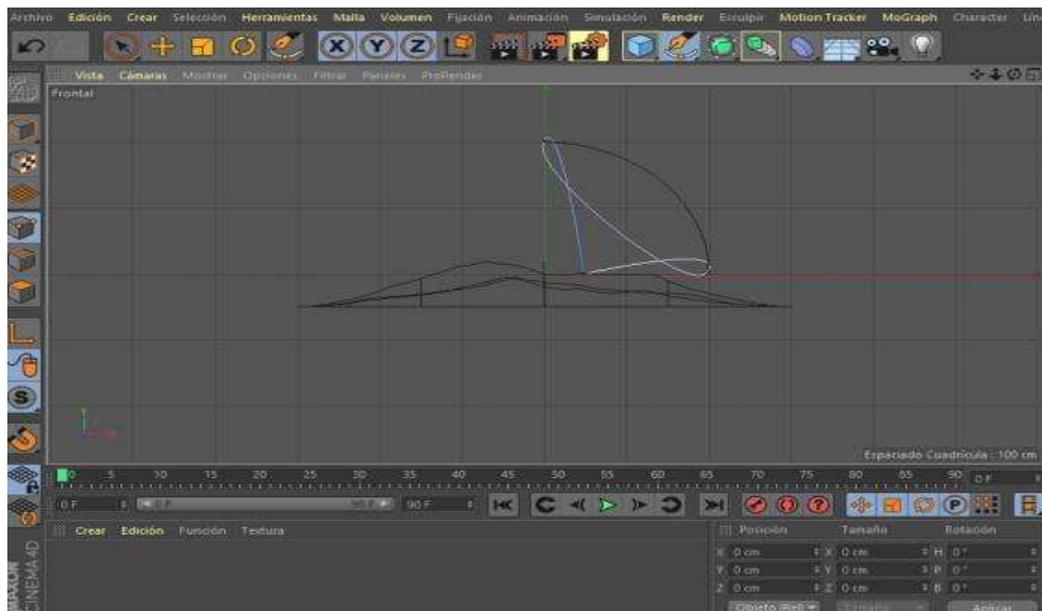


Figura 4.4 Turbina en movimiento.

Fuente: Cinema 4D.

La turbina puede ser implementada en zonas que como muestra la Figura 4.5 no son planas, incluso así su diseño es funcional y sigue siendo útil. Sin importar la zona donde se requiera utilizar.



Figura 4.5 Vista del diseño cometa.

Fuente: Cinema 4D.

En el programa Cinema 4D se puede observar como la estética de la cometa y del terreno que rodea la cometa son más definidas, pero debido al límite de su programación resulta poco factible para un diseño simulado, aunque su comparación con el programa Ansys ayuda a una mejor obtención y acercamiento a los resultados en la vida real.

Cinema 4D permite obtener resultados en 4 perfiles diferentes, para observar las variaciones de la cometa desde cada perfil y así conocer las variaciones que sufre la cometa estando en vuelo, esto en un área donde tenga una gran cantidad de corrientes de viento, como suele encontrarse en las montañas. Cinema 4D es más real que Ansys en la parte de simular el entorno que rodea la cometa, pero no permite mostrar los resultados de forma gráfica.

Con un entorno más parecido a lo que se encuentra en la vida real Cinema 4D muestra como la cometa se maneja en un entorno, la forma de rotación que lleva, el empuje del viento, la variación que sufre en vuelo, entre otras pequeñas observaciones, pero al ser una herramienta que solo permite observar el movimiento y no conocer los resultados del esfuerzo que sufre, Ansys resulta una herramienta de simulación más útil en este caso.

Después de esto se realiza la geometría de nuevo pero esta vez en el programa Ansys work para comparar tanto los parámetros como el diseño de la turbina pero esta vez enfocando más el análisis del viento y no tanto en la estética de la turbina cometa.

En el programa ANSYS la primera parte es donde se definen los materiales que se utilizan en el diseño de la turbina cometa ya sea metal, alambre, etc. Al elegir un material en específico se puede ver la densidad, temperatura, variar los metros entre otras cosas como se observa en la Figura 4.6, en este caso se eligen tres diferentes tipos de material uno para la polea o correa, otro para la cometa y otro para la caja que se encuentra en tierra.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data	Source			Description
2	Material				
3	Acero				
4	Fibra de carbono				
5	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 3: Acero					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	0.95	kg m ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modul...			
6	Young's Modulus	90476	GPa		
7	Poisson's Ratio	0.3			
8	Bulk Modulus	7.5397E+13	Pa		
9	Shear Modulus	3.4798E+13	Pa		

Figura 4.6 Especificaciones de los materiales en structural ansys.

Fuente: Ansys.

En la Figura 4.7 se observa las especificaciones necesarias para el diseño de la cometa como el módulo de Young, densidad, módulo de elasticidad, relación de poisson, conductividad térmica, etc. Considerando los valores requeridos de cada material, dependiendo de las especificaciones de cada componente de la cometa.

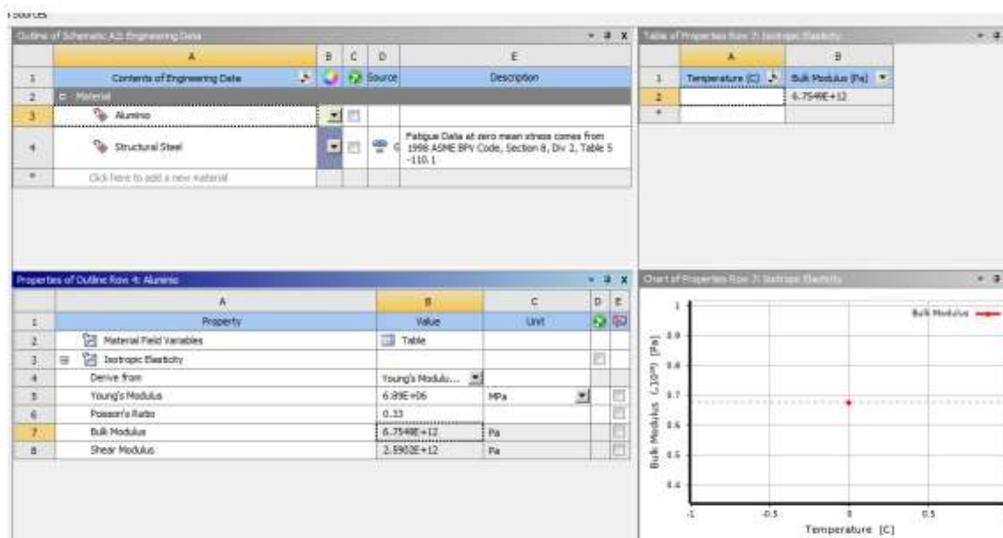


Figura 4.7 Tipo de material y sus especificaciones.

Fuente: Ansys.

Cuando está completamente elevada, se infla y la sección transversal de una cometa moderna toma la forma de un perfil aerodinámico, por esta razón se modela una cometa voladora como un número de planos aerodinámicos unidos en paralelo como se muestra en la Figura 4.8

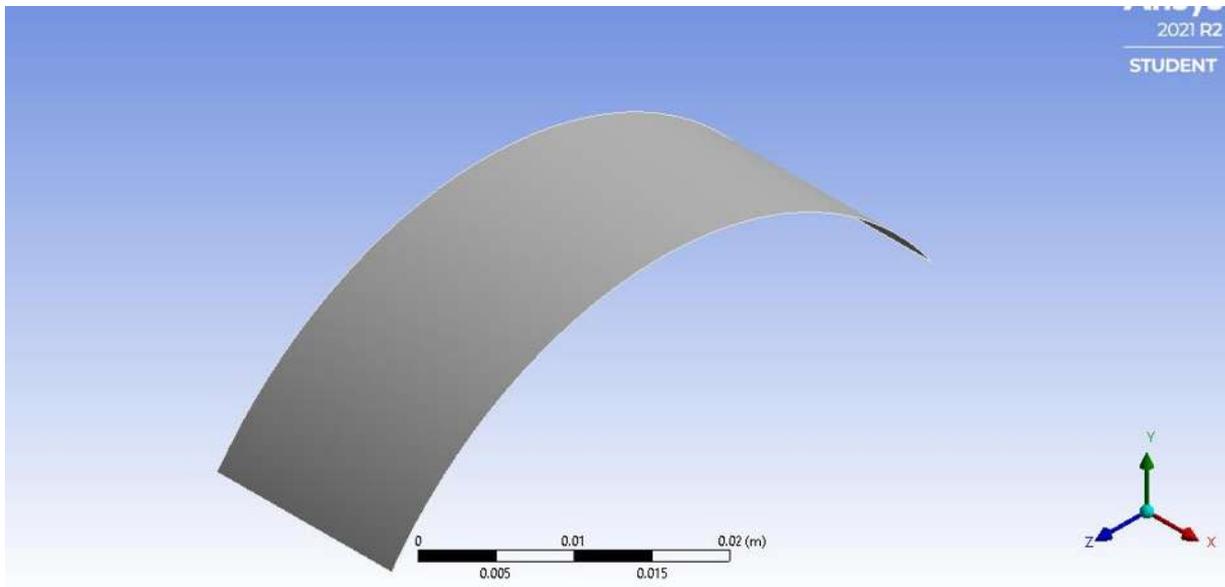


Figura 4.8 Perfil de la cometa en vuelo

Fuente: Geometría ansys.

Las turbinas eólicas son cada vez más altas, para alcanzar mayores alturas la torre que compone la turbina se puede cambiar a una atadura suave, en este modelo se puede enviar la parte del arnés de viento hacia arriba con una correa y mantener el equipo generador de energía en el suelo.

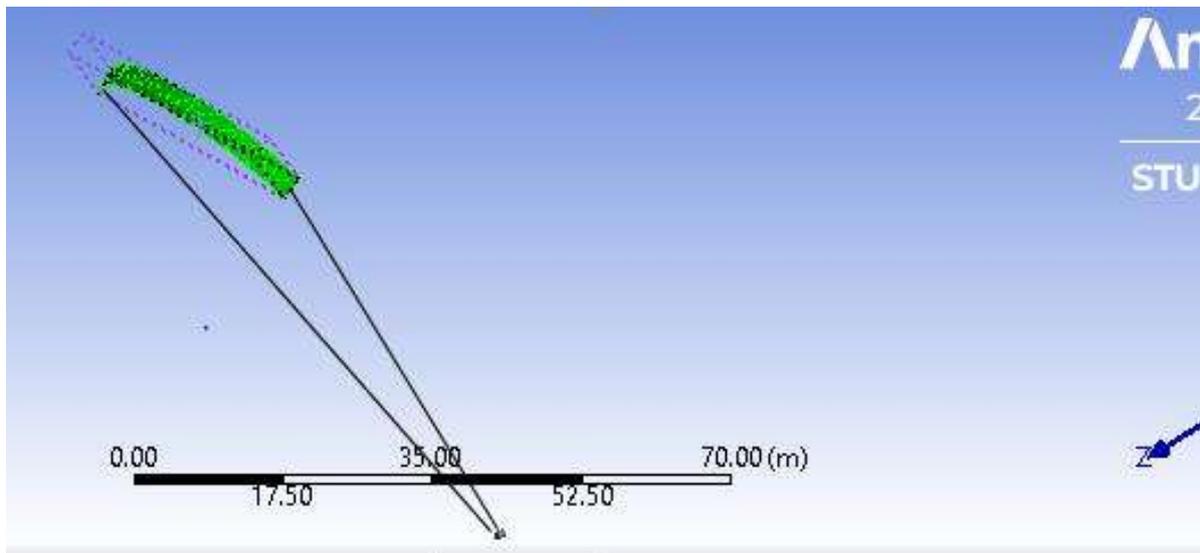


Figura 4.9 Cometa en interacción con el viento.

Fuente: Geometría Ansys.

Cuando la cometa está en posición horizontal el viento es paralelo al plano de cuerda del perfil aerodinámico, en el diseño de la cometa se observa que está conectado a dos líneas una en el borde de ataque y la otra en el borde de salida que se muestra en la Figura 4.9.

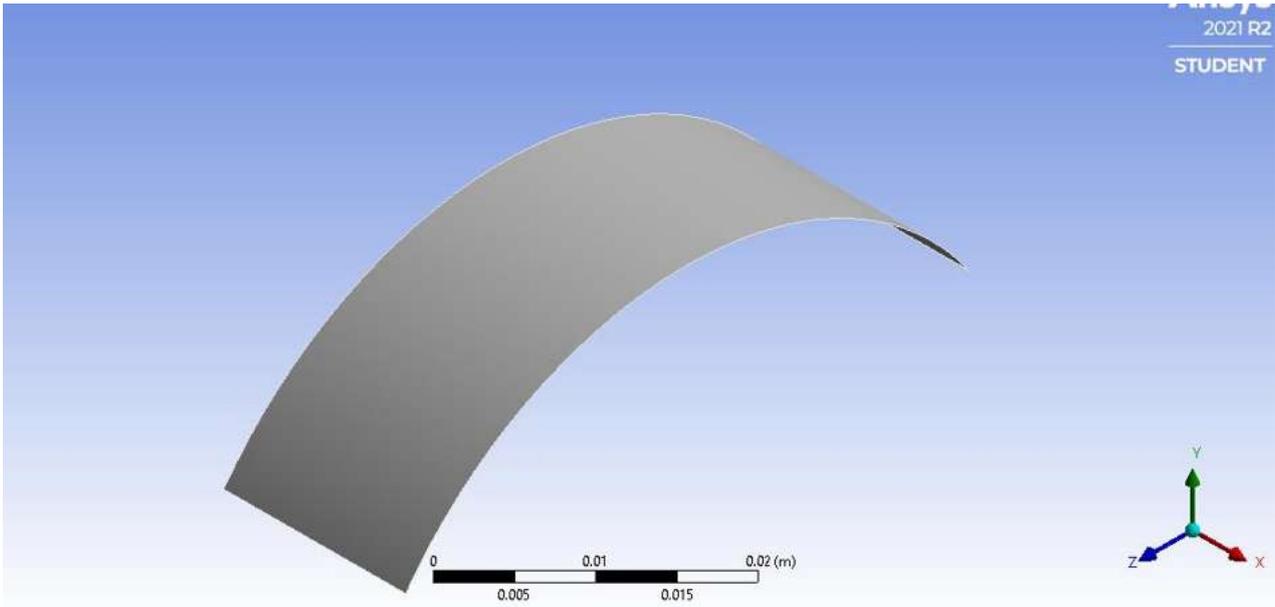


Figura 4.10 Diseño simple de la parte superior de la cometa.

Fuente: Geometría ansys.

Cuando la cometa se desliza en el cielo como un paracaídas, su comportamiento aerodinámico es similar al de un ala de avión como se observa en la Figura 4.10. Pero hay una diferencia fundamental entre una cometa y un ala de avión, una cometa generalmente vuela con un gran ángulo de ataque que a menudo es mayor que el ángulo de pérdida por lo contrario el avión rara vez vuela más allá de este ángulo crítico debido a la posibilidad de perder velocidad.

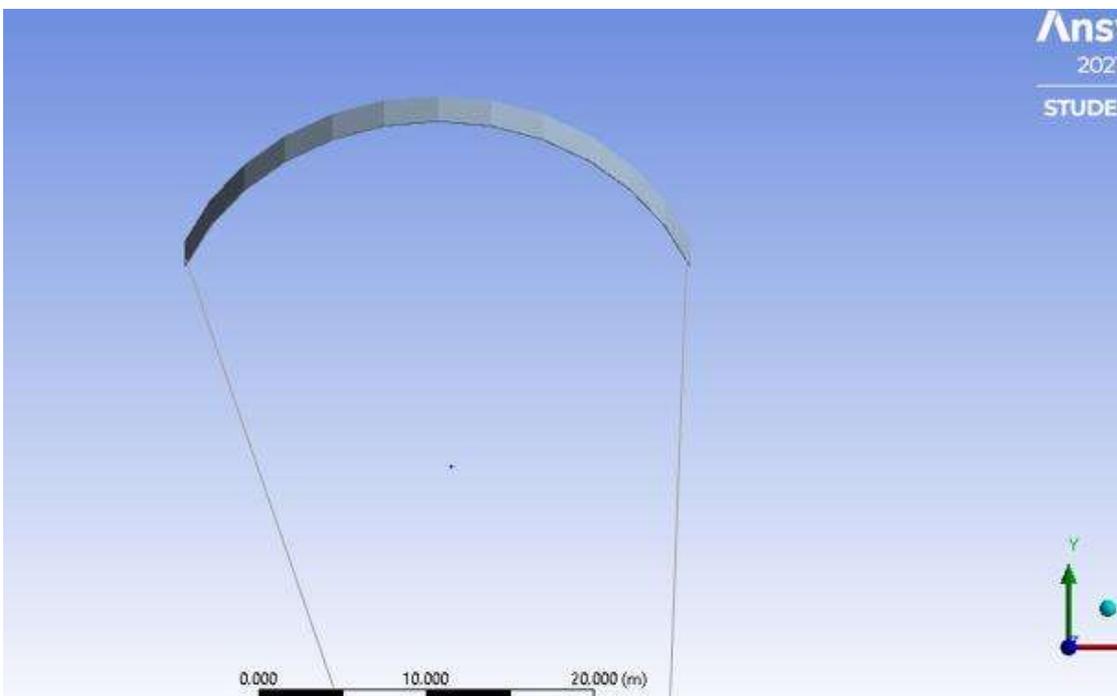


Figura 4.11 Cometa en vuelo.

Fuente: Ansys.

Se puede considerar que una atadura virtual efectiva esta unida al plano de la cuerda a través del centro aerodinámico que se observa en la Figura 4.11

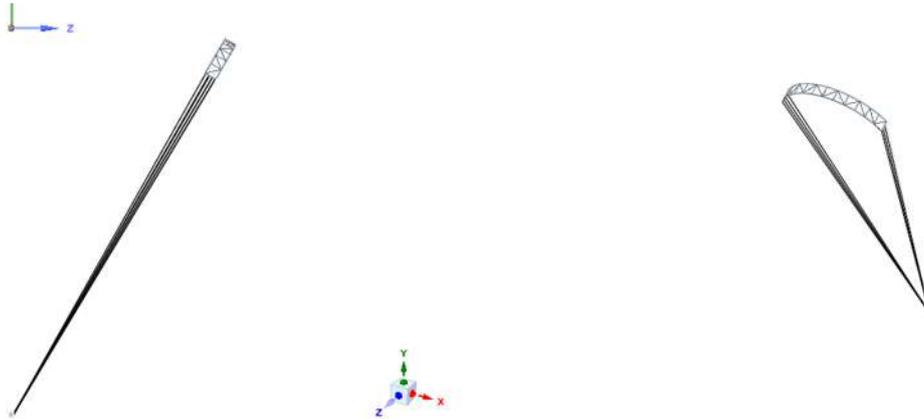


Figura 4.12 Cometa en rotación.

Fuente: Ansys.

La cometa tiene una conexión de 4 cuerdas por ambos lados de la estructura para mayor soporte y resistencia ya que estando en vuelo es sometida a fuertes corrientes de viento que la hacen rotar en todas direcciones como se muestra en la Figura 4.12.

Utilizando un esfuerzo normal en dirección x, la fuerza definida por un vector también puede ser definida por componentes, la fuerza o carga utilizada es de 1000 newtons, la densidad de potencia del viento expresa la cantidad teórica de energía que se puede obtener del viento mediante la cometa como se observa en la Figura 4.13.

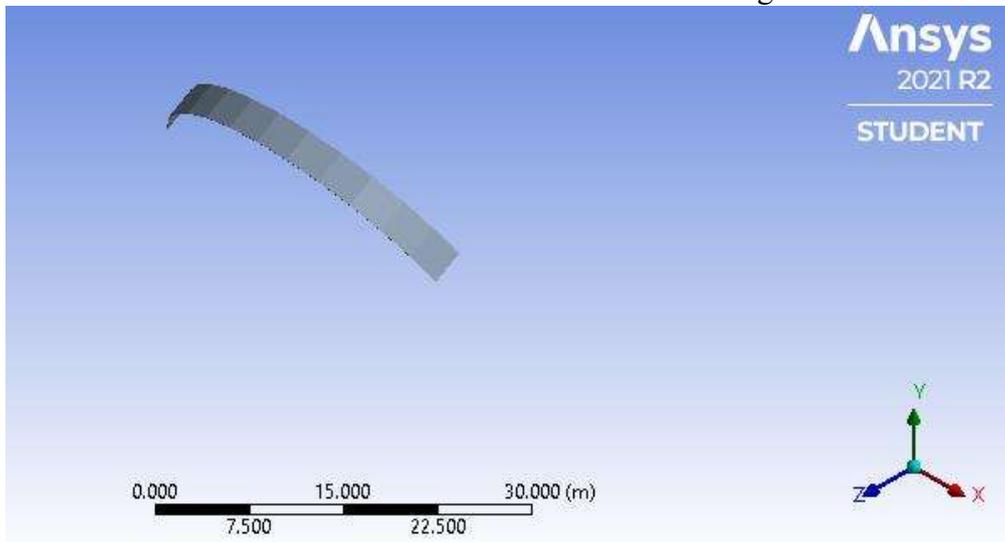


Figura 4.13 Al insertar una fuerza x.

Fuente: Ansys.

Este modelo es un resultado aproximado a la cometa original ya que ignora la flexibilidad y las deformaciones que puede sufrir la cometa real, ya que solo es una simulación. El cable es inelástico y recto solo en el caso de que esté a una longitud inferior de 1000 m y su inclinación es inferior a 80 grados.

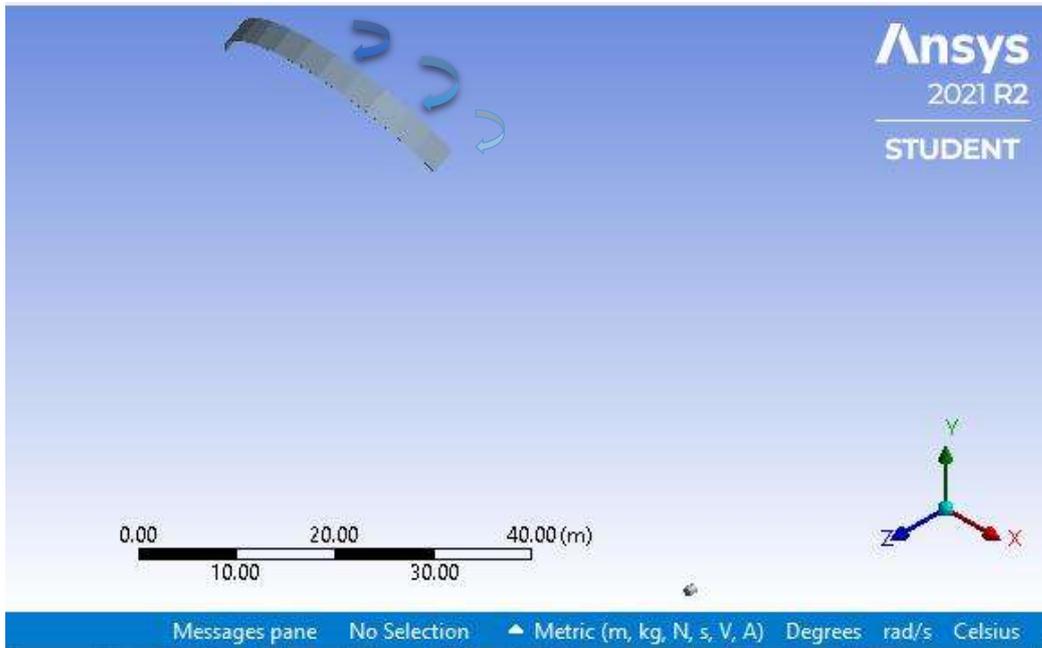


Figura 4.14 Entrada del viento.

Fuente: Ansys.

Se observa en la Figura 4.14 los vectores del viento en un plano específico y se muestra el viento que fluye en el centro de la cometa expandiéndose a los lados y creando un movimiento en la geometría.

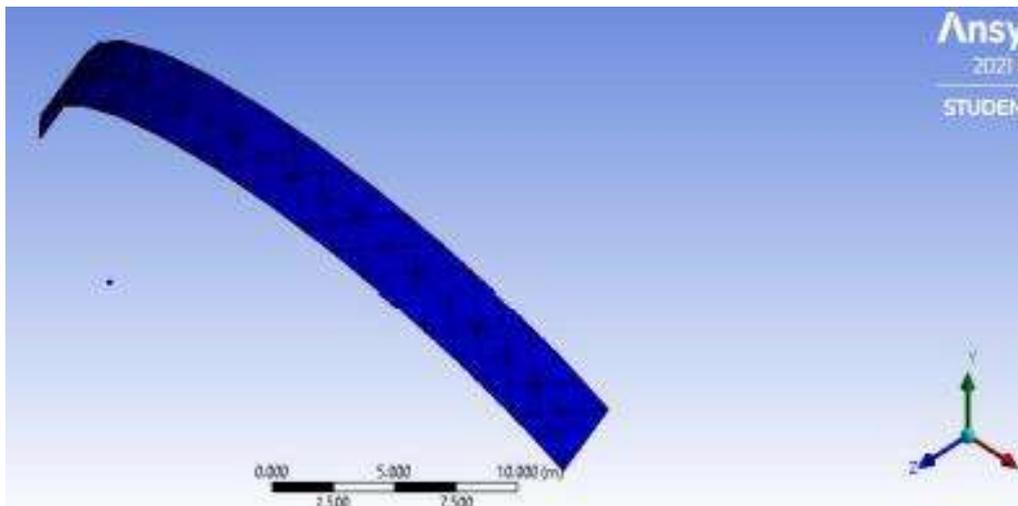


Figura 4.15 Viento en la superficie interna y externa de la cometa.

Fuente: Ansys.

Cuando el viento se expande por la cometa genera energía en Ansys se observa de color azul como está teniendo una interacción el viento con la cometa de forma positiva para la generación de energía como se muestra en la Figura 4.15.

4.2. Pruebas con recursos eólicos fijos

La simulación del viento es el proceso por el que va ser sometida la cometa ya que la energía se extrae de las alturas controlando la cometa para que vuele a una gran velocidad si el viento es cruzado, esto desarrolla una gran fuerza de tracción que hace girar la cometa y a su vez el generador que está en tierra para obtener electricidad.

Sin embargo no se puede tirar constantemente de la cometa porque la longitud de la cuerda es limitada, tanto en la simulación como en un prototipo o un diseño real, por lo que debe periódicamente volver a su posición inicial, este funcionamiento da lugar a un sistema cíclico de generación y consumo en el que cada ciclo tiene dos fases una de tracción y una fase de recuperación como muestra la Figura 4.16.



Figura 4.16 Cometa en ciclo de generación.

Fuente: Ansys.

En este caso el software realiza un análisis estacionario que implica que la cometa no se está moviendo de forma variada pero permite determinada interacción con el viento. Esto permite conocer el movimiento, la generación de energía y la interacción de la cometa con el entorno, tanto en la base que está en tierra como en la cometa que esta elevada en el cielo.

Ansys permite que el diseño pueda ser expuesto a la simulación que permita conocer los resultados más cercanos a lo que se obtiene en un diseño real, conociendo la interacción de la turbina cometa desde la obtención de energía cinética.

Al tener una ráfaga de viento constante la elevación de la cometa no sufre menor contratiempo o afectación, ya que la elevación va en aumento con cada ráfaga de viento cómo se muestra en la Figura 4.17 fácilmente pasa de 0 a 10 m sin ninguna pausa, debido a que tiene un viento constante y fijo. Pero si e viento no es constante la elevación de la cometa no será directa y tampoco de forma rápida como se muestra.

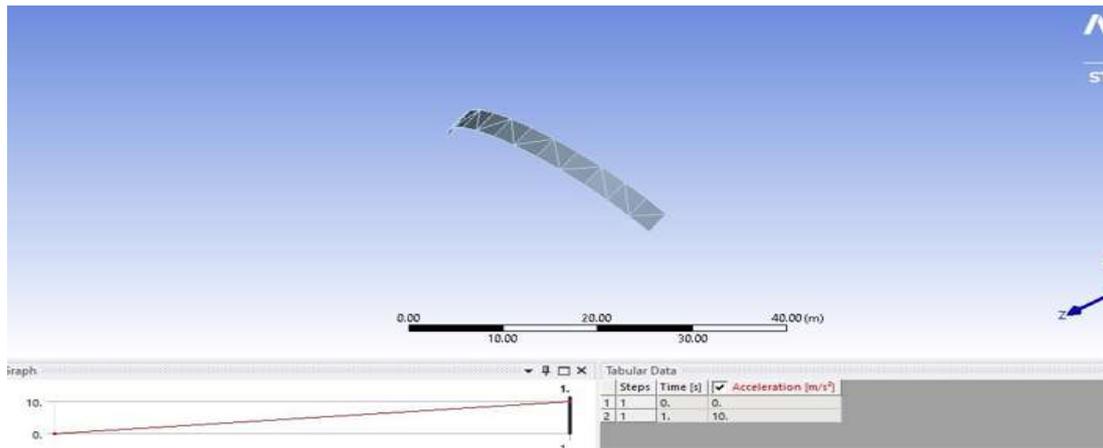


Figura 4.17 Elevación constante de la cometa.

Fuente: Ansys.

Esto también puede implicar que la generación de energía no va tener picos en su obtención, que es el objetivo de la cometa al estar a una distancia tan grande que la energía obtenida sea constante y logre abastecer la demanda energética.

Después cuando la cometa se encuentra en su punto más alto, se observa la rotación y la velocidad que sufre al estar en un viento fuerte y constante como se muestra en la Figura 4.18.

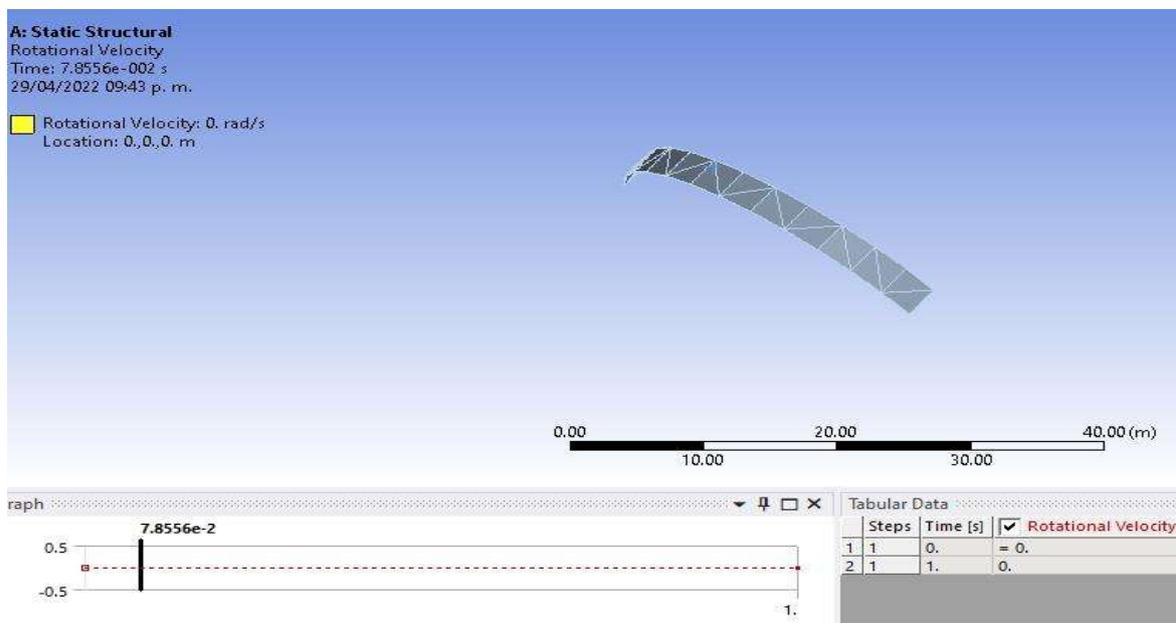


Figura 4.18 Rotación de la cometa.

Fuente: Ansys.

En la simulación se puede observar que la cometa no genera una rotación, por lo que no genera una órbita en forma de 8 como debería esto corresponde a que requiere de una pequeña variación para generar el movimiento, en los casos donde la cometa necesita el empuje los sistemas de control en tierra en este caso será en la simulación para obtener los resultados correctos.

Como muestra la Figura 4.19 al corregir la rotación comenzamos a obtener los resultados de máxima y menor potencia, en esta parte se muestra como la energía del viento es mayor conforme se va elevando y su captación sigue un flujo constante debido a que el viento es fijo.

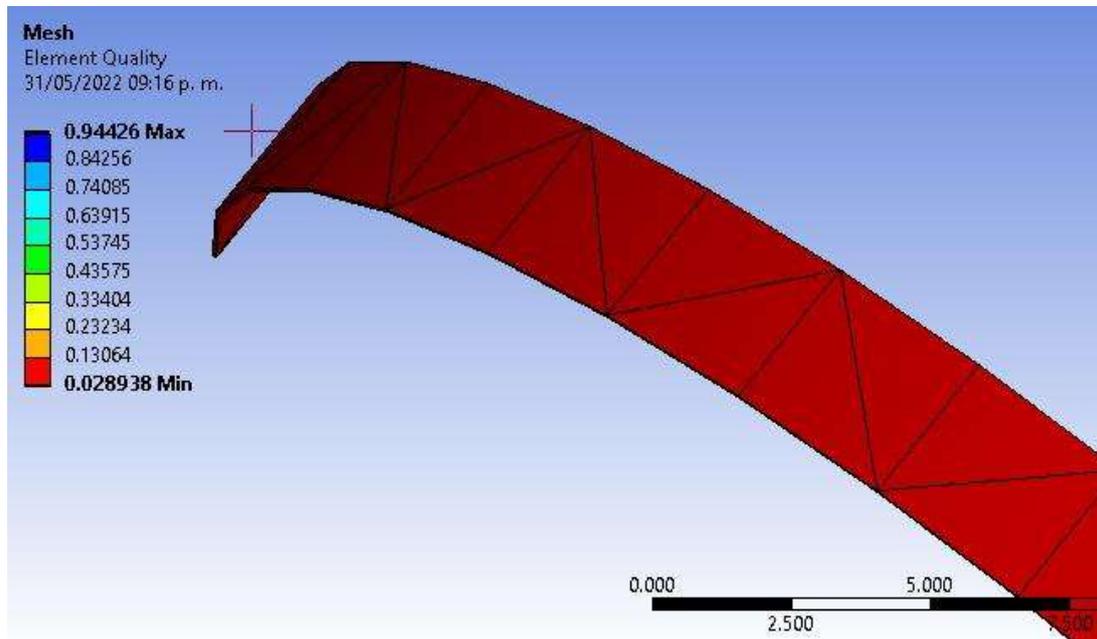


Figura 4.19 Punto Max y Min.

Fuente: Ansys.

En la Figura 4.20 se observa como al simular en el software ansys podemos conocer como al tener un viento fijo la cometa tiene una obtención de energía en aumento, debido a la tensión de amplitud marcada por la línea verde y azul, de forma constante, también se observa como su elasticidad no sufre grandes cambios y se mantiene su forma.

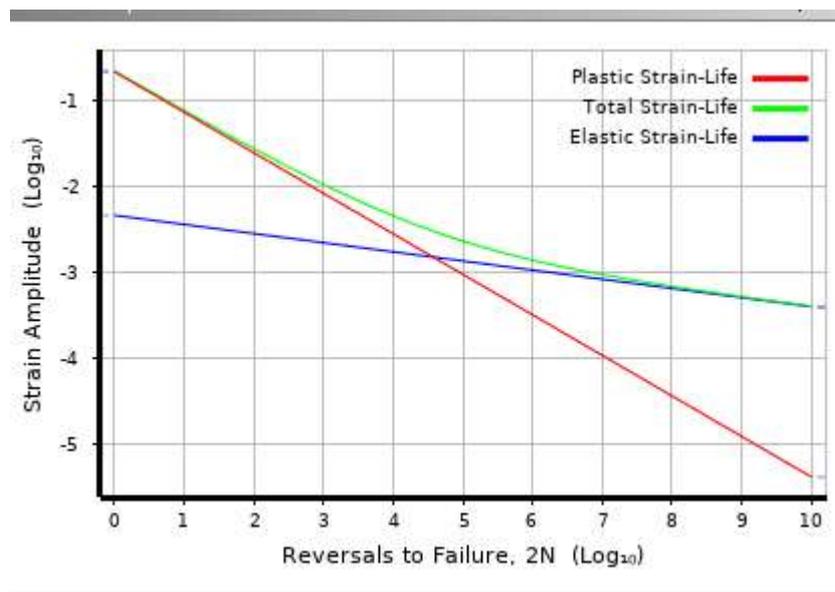


Figura 4.20 Gráfica de amplitud y fracaso en ansys.

Fuente: Ansys.

En la Figura 4.21 se observa la gráfica que nos da ansys para conocer la tensión alterna a la que está sometida la cometa y de igual forma sigue un ciclo constante y en aumento para generar energía de forma constante.

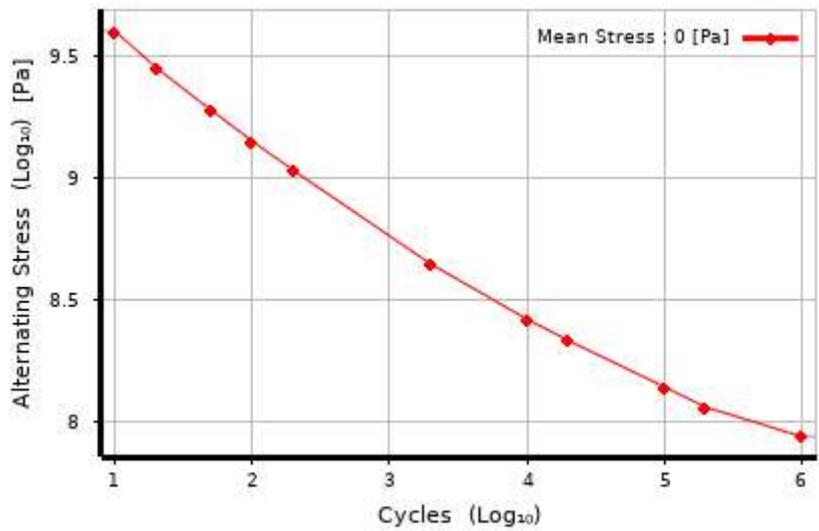


Figura 4.21 Gráfica de ciclos.

Fuente: Ansys.

Es entonces cuando la cometa muestra como el mallado no requiere refinamiento, por su constante flujo, determina donde recibe mayor esfuerzo, resulta sencillo y no requiere de un mesh o mallado más fino como se muestra en la Figura 4.22 , con un mallado se puede observar las zonas de interacción de la cometa con el viento, dándole 3 grados de libertad por nodo.

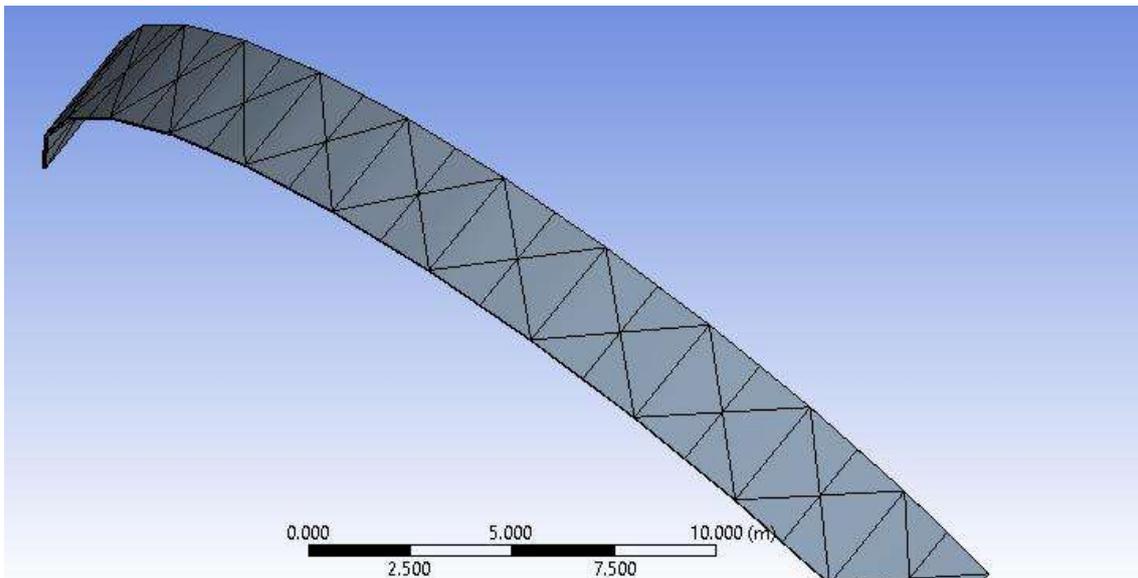


Figura 4.22 Mallado simple.

Fuente: Ansys.

En la Figura 4.23 se observa los resultados obtenidos en la simulación con recursos fijos desde la conductividad, la presión constante, la resistividad y permeabilidad, todos muestran un resultado positivo lo que indica un buen funcionamiento en la cometa eólica al ser sometida a recursos eólicos fijos.

Thermal	
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W/m·°C
Specific Heat Constant Pressure	434 J/kg·°C
Electric	
Isotropic Resistivity	1.7e-07 ohm-m
Magnetic	
Isotropic Relative Permeability	10000

Figura 4.23 Valores de la cometa.

Fuente: Ansys.

Por último se muestra como la cometa fue sometida a una deformación y a una fuerza mientras tiene una interacción con el viento de forma constante con un valor fijo como se muestra en la Figura 4.24

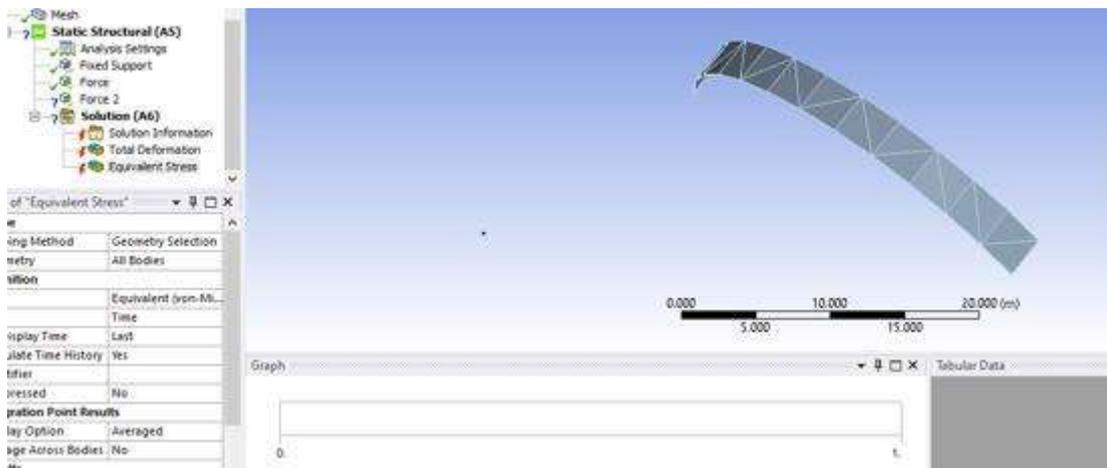


Figura 4.24 Generación eólica con la cometa.

Fuente: Ansys.

Se configuran algunos parámetros en los que se incluye el fluido a utilizar, en este caso aire, que ahora pasa a sufrir una interacción más fuerte pero de forma constante, no con menor fuerza si no con mayor velocidad y mayor impacto en la cometa, su densidad, la velocidad y la temperatura, pero se sigue obteniendo un resultado positivo para la generación de energía, incluso se tienen picos de energía en la que la cometa genera más y en la que el movimiento de la cometa causa una tensión mayor en las cuerdas o cables que sostienen la cometa. Al ser constante los picos de generación tienden a tener un patrón de seguimiento, que se puede manejar al ser conocido, para que la caja que está generando energía no sufra un desgaste.

4.3 Pruebas con recursos eólicos variables.

En esta parte la simulación del viento va ser variado e intermitente pero con fuerza, debido a la altura en la que está la cometa será sometida a vientos fuertes.

La altitud depende en gran medida de la fuerza del viento, la fuerza de sustentación y la longitud de la cuerda como se muestra en la Figura 4.25.

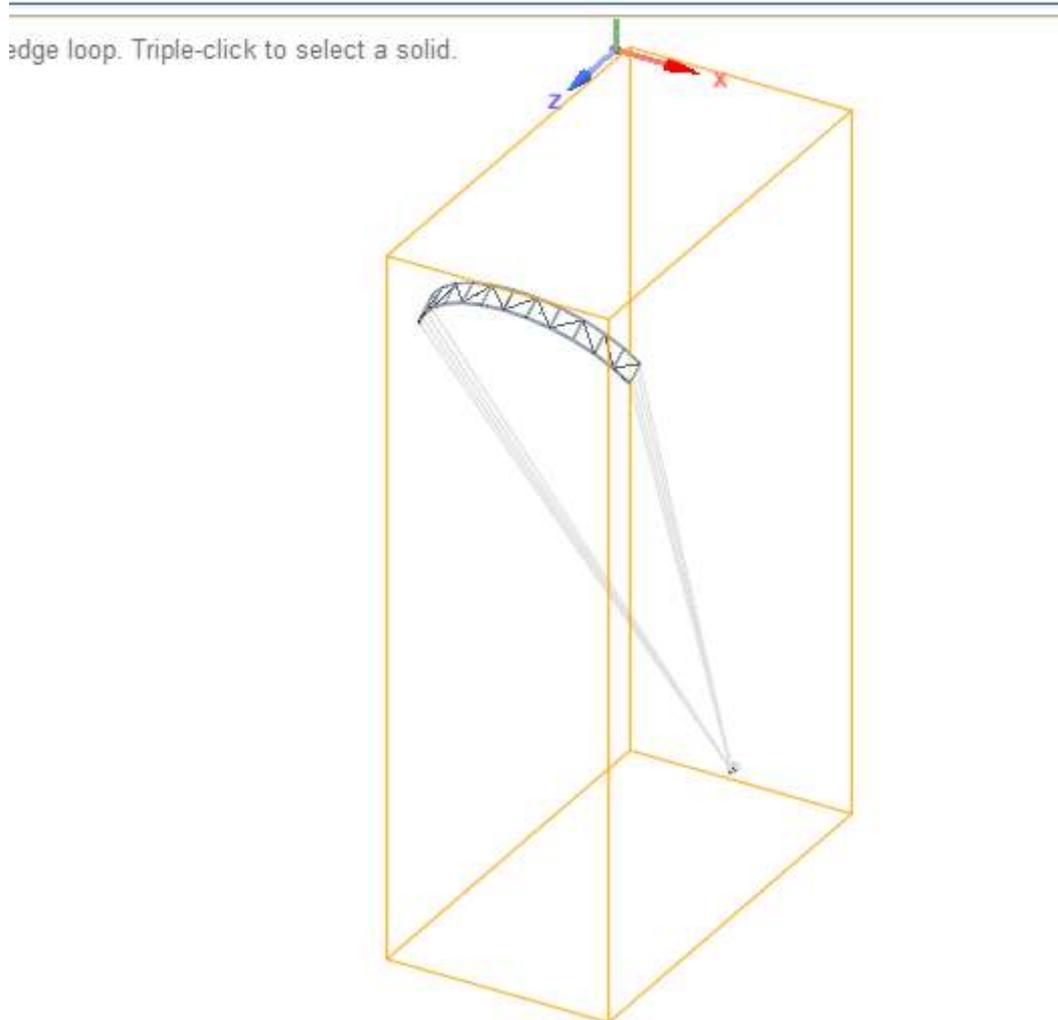


Figura 4.25 Tensión de la cuerdas.

Fuente: Ansys.

Ya que la tensión que produce la cometa, en las cuerdas o cables puede generar una fractura en ellas, pero también se puede aprovechar para generar energía al momento de tener esa tensión.

Al obtener los resultados requeridos, el software ansys acomoda todos los datos necesarios que se obtienen de la simulación de esta forma se da a conocer los resultados de la cometa durante la simulación.

Para una variación o pandeo en la cometa se necesita un alto módulo de Young y un alto momento de inercia, como se muestra en la Figura 4.26, para obtener los resultados que se requieren en la simulación

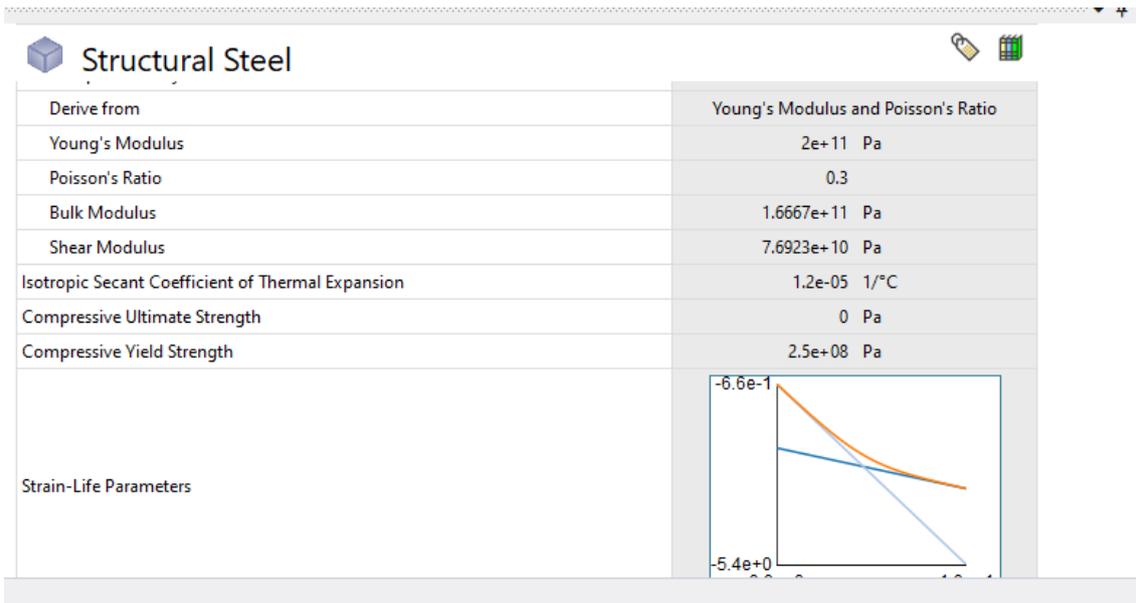


Figura 4.26 Asignando valor al módulo de young's.

Fuente: Ansys.

En la Figura 4.27 se observan dos gráficas donde se muestra la variación que diferencia la prueba con un valor fijo a la prueba con un valor variable, y como esto logra que la curva sea más fluida ya que cuenta con el empuje necesario para entrar en la órbita en forma de 8 que requiere la cometa.

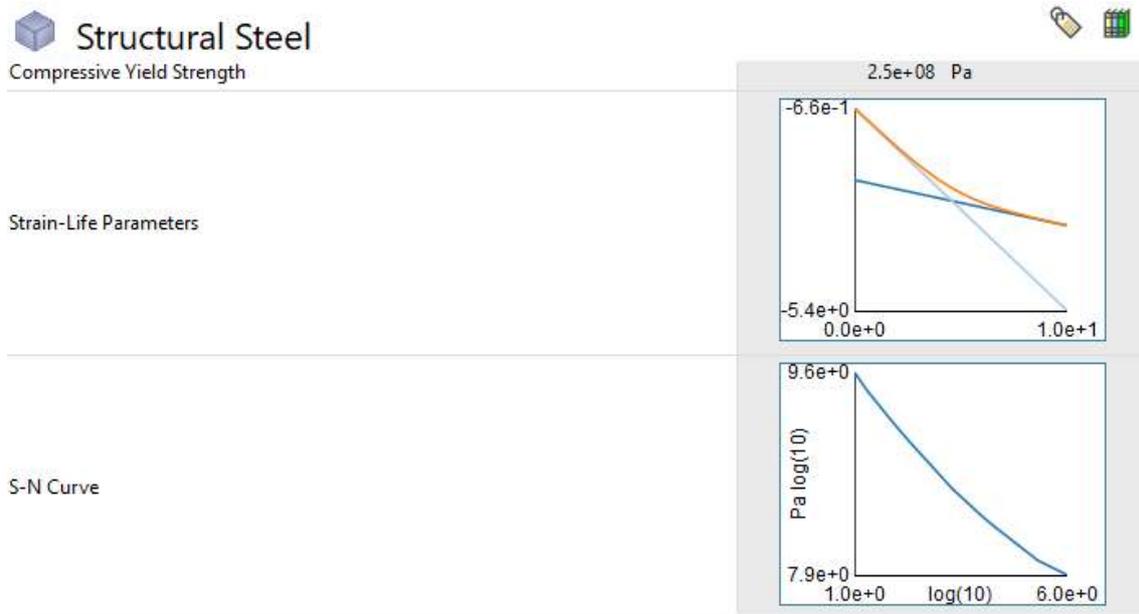


Figura 4.27 Gráficas de los parámetros y curvas obtenidas en ansys .

Fuente: Ansys.

Como se muestra los parámetros de vida de la tensión en la cuerda y la cometa sufren más desbalance, pero el valor sigue siendo elevado solo en uno de los casos decae totalmente, también se observa como la curva va en aumento y de forma constante.

En la Figura 4.28 se muestra la variación del viento y sus valores obtenidos después de la simulación en el software ansys, se observa que en este caso si existe un valor negativo.

Air	
Other	
Molecular Weight	28.966 kg/kmol
Lennard Jones Length	3.711 m
Lennard Jones Energy	78.6 J
Thermal Accom Coefficient	0.9137
Velocity Accom Coefficient	0.9137 m/s
Formation Entropy	1.9434e+05 J/°C
Reference Temperature	25 °C
Critical Pressure	3.758e+06 J/m ³
Critical Temperature	-140.85 °C
Acentric Factor	0.033
Critical Volume	0.002857 m ³
Absorption Coefficient	0 1/m

Figura 4.28 Valor del aire en la cometa.

Fuente: Ansys.

El mallado o mesh requiere ser más fino para el caso de un flujo variable en el aire para conocer de forma más refinada donde está teniendo mayor esfuerzo la cometa así como donde puede sufrir una deformación que se muestra en morado que se muestra en la Figura 4.29.

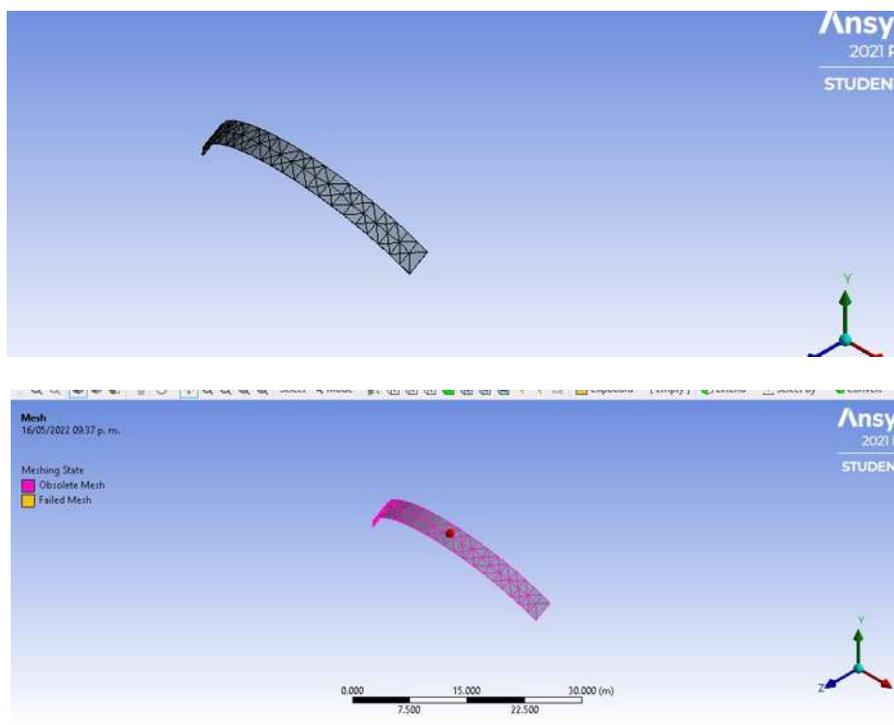


Figura 4.29 Mesh más fino.

Fuente: Ansys.

Anslys muestra en la Figura 4.30 como la parte central de la cometa tiene mayor esfuerzo al ser sometido a una variación eólica a diferencia de cuando es constante, el esfuerzo se dispersa en toda la cometa aquí la mayor fuerza cae en la parte central de la cometa.

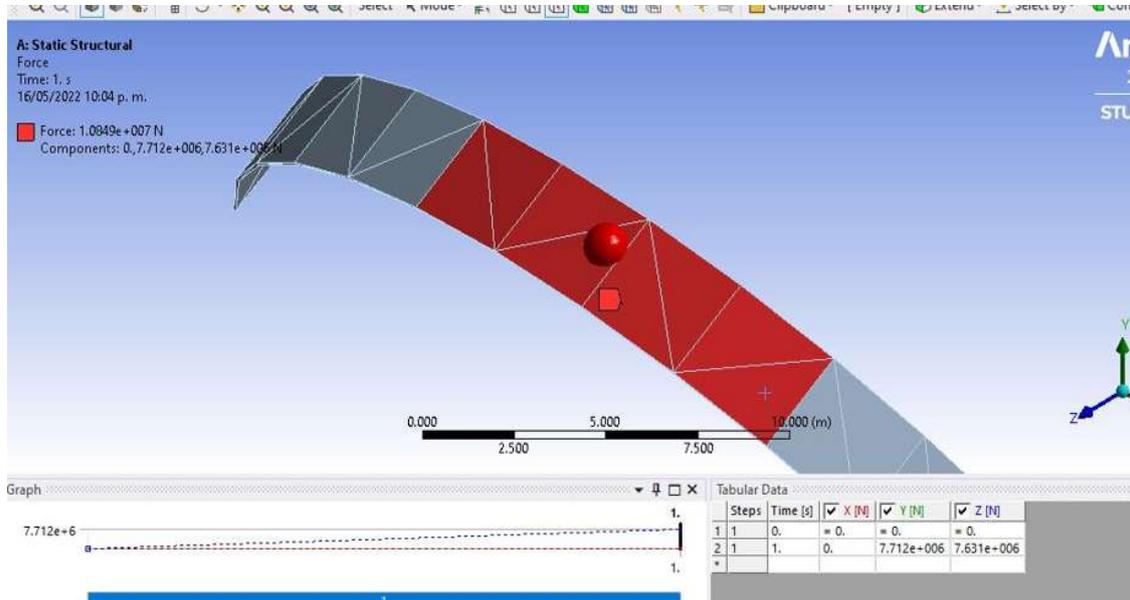


Figura 4.30 Esfuerzo en la cometa.

Fuente: Ansys.

Pero la fuerza de empuje resulta en un mayor aprovechamiento eólico a diferencia de con el recurso eólico fijo, el empuje aprovechado de mejor forma como se muestra en la Figura 4.31, la cometa se eleva de manera más rápida, comienza a generar de forma más rápida pero sigue teniendo un pico en la generación de energía.

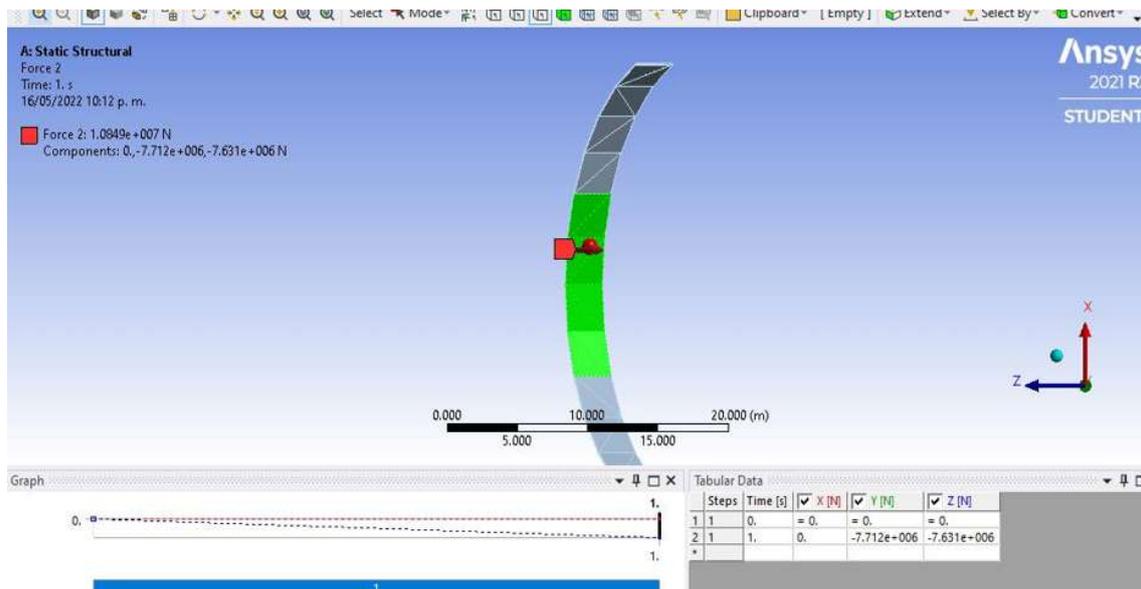


Figura 4.31 Empuje del viento.

Fuente: Ansys.

En la Figura 4.32 se observa como dos fuerzas que interactúan con la cometa, debido a la variación en la fuerza A el borde o lados de la cometa están generando de forma fluida, pero en el centro de la cometa la fuerza B sufre mayor esfuerzo y está generando mayor energía que los bordes.

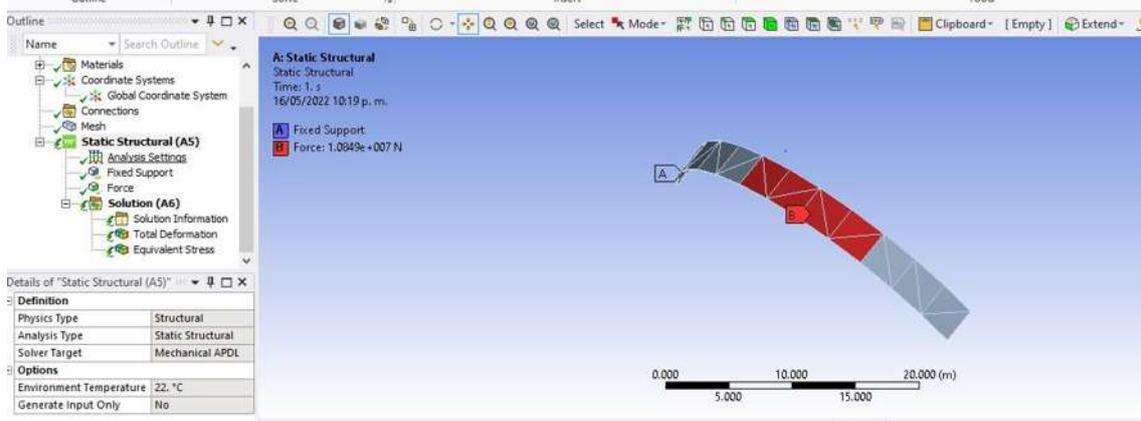


Figura 4.32 Fuerza A y fuerza B.

CAPITULO 5.- CONCLUSIONES

La cometa aerogeneradora es un sistema que permite generar la energía necesaria para abastecer la necesidad energética, ya sea marítima o en tierra, la cometa tiene una geometría que permite su instalación en distintos terrenos y su diseño permite que la contaminación visual no sea permanente como en el caso de las turbinas convencionales que tienen torre, al no tener una pesada estructura que obstruye la vista y es difícil de mover.

El diseño de esta turbina permite que los ingenieros puedan realizar mantenimiento al sistema sin tener que correr riesgo a grandes alturas con un menor costo tanto en transportación como en materiales, piezas o herramientas. La reducción de costos para su construcción mejora no solo económicamente la inversión, sino que también el rendimiento que se obtiene, además su diseño le permite funcionar en superficie terrestre y marítima ampliando su implementación para una reducción de consumo de combustible fósil y obtención de energía. Al tener una estética simple la ingeniería se enfoca más en generar energía y no en la estructura del aerogenerador ya que es ligera y fluye con el viento.

La simulación realizada ayuda a entender el rendimiento de la cometa y nos da un acercamiento a los resultados que se obtendrían en un diseño real o a escala. Como muestra la simulación la cometa tiene una gran eficiencia en la captación de energía a gran altura si el viento es constante la energía no sufre picos y si la velocidad sufre variaciones a pesar de sufrir picos de energía sigue generando de forma eficiente, sin embargo su elevación puede ser complicada si no existe un viento fuerte que ayude a elevar el peso de la tela de la cometa, el software Ansys ayudo a conocer los puntos donde existe más interacción con el viento, donde sufre mayor esfuerzo la cometa, le tensión que sufren los cables y a conocer la variación que puede existir en la generación eólica con la cometa.

BIBLIOGRAFIA

- J. Rifkin.(2013, mayo 6) *La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder de la tierra. Soluciones energeticas para hoteles(HES por sus siglas). Energía hidráulica.* <https://www.unwto.org/es/desarrollo-sostenible/hotel-energy-solution>
- Axelsson, G. and Gunnlaugsson, E., (2000). *Background: Geothermal utilization, management and monitoring. In: Long-term monitoring of high- and low enthalpy fields under exploitation, WGC 2000 Short Courses, Japan, cap. 3-10.*
- Sanches Arriaga & Pastor Rodriguez (2019) *Un simulador de vuelo langragiano para sistemas aerotransoortados de energía*
- Ribera L.(2019) *Centrales de biomasa y sus tipos., ENDESA.* web.fundacionendesa.org
- IBERDROLA (2021) *Energía renovable para el mundo hidráulico ibedrola .es*
- Emilio Rousad (2007).*La energía hidráulica, factor energía, factorenergia.com*
- Energia-VM (2021). *Gestion de energia s.l.u. Energias Especiales, pertenece al grupo Villar Mir.* <https://www.energyavm.es/>
- Daniel Balbera (2018). *ITESO. La energía fotovoltaica, factor energía.* https://cegint.iteso.mx/web/general/detalle?group_id=31058386
- ¿Cuáles son los factores que afectan la eficiencia de los paneles solares? (2020, 4 junio). *Trace software* <https://www.trace-software.com//es/cuales-son-los-factores-que-afectan-la-eficiencia-de-los-paneles-solares/>
- Luis Salvador G.H.(2020) *Energia eólica y desarrollo sostenibl, de CICESE colegio de la frontera norte.* [www. colef.mx](http://www.colef.mx)
- Cesar Heriberto O.R. (2011) *Modelo de la generación eólica para estudios dinámicos en redes eléctricas, de UANL.* [www. eprints.uanl.mx](http://www.eprints.uanl.mx)
- Juan Bernardo Rivera (2019). *Una cometa la nueva forma de producir energía. Prensa Libre, 5.*
- Ing. Técnico Industrial Oriol P.(2015). *Energía solar pasiva y técnicas, ventajas y ejemplos, de energía solar.* www.solarenergia.net
- S.Jimenez (2012) *Combustion de biomasa, de energía sostenible para todos.* www.energia2012.es
- Foro científico (2005) *Energía eólica, de energías alternativas.* www.textoscientificos.com
- Yaiza Martinez (25 junio 2009) *Aerogenerador con forma de cometa captara la energía eólica de la atmosfera,* www.levante-emv.com
- kitepower.(2021,12 abril) *kitepower systems Airborne Wind Energy- plug & play mobile* <https://thekitepower.com/>
- Skysails Yacht.(2015).*skysails yacht se une a race for wáter para desarrollar su cometa para tracción., Skysails Yacht.* <https://raceforwater.org>

Blanco, Tesa A. (2022, 13 junio). *¿Qué es la energía eólica? La importancia del viento como renovable.* BBVA NOTICIAS. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-eolica-la-importancia-del-viento-como-renovable/>

Dickson, M.H & Fanelli, M. (3 de julio de 2019). *¿Qué es la energía geotérmica?* Instituto di Geoscienze Recuperado el 4 de febrero. http://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1_d505_4825_9db3_8438d78a406c.PDF

Comó generar energía eólica con una cometa o dron. (2019, 19 febrero) Agencia SINC. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Como-generar-energia-eolica-con-una-cometa-o-un-dron>

La nueva generación de la energía eólica: una central con cometas que iguala la potencia de una plan/GTD Blog. (2008,13 agosto). <https://www.gtd.es/es/blog/la-nueva-generacion-de-la-energia-eolica-una-central-con-cometas-que-iguala-la-potencia-de-una>

W. (2021,16 junio) *Open-source Hohenwindkraftwerk (Drachen) in freecad- Free CAD Forum.*(open-source airborne wind energy Project in freecad). AWESystems Forum. <https://forum.awesystems.info/t/open-source-hohenwindkraftwerk-drachen-in-freecad-freecad-forum-open-source-airborne-wind-energy-project-in-freecad/1657>

Gallardo S., Tajada, D.E. (2021,22 noviembre). *Innovación de la propulsión eólica en el transporte marítimo.* Universidad del País Vasco. <https://addi.ehu.es/handle/10810/53965>

Gregori Colomar, L. (2012,31 junio). *Medios de propulsión eólica alternativos a la vela trasicional.* Nautica y Transporte Maritimo de <https://upcommons.upc.edu>

Free CAD Designs, Files & 3D Models (2020)/ *The Grab CAD Community Library*

Gerhard Samulat. (2013, 13 marzo). *El futuro de la energía eólica.* Investigación y Ciencia. <https://gii.udc.es>

Prats, J. (2007, 11 junio). *5.500 años de navegación a vela.* El país. Prats Elpais.com

AQUAE Fundacion.(2019) *Los primeros navegantes de la historia,* fundacionaquae.org

Bienvenidos al futuro de la energía eólica: la nueva generación de aerogeneradores de Siemens Gamesa en (2002, abril) <https://www.siemensgamesa.com/es-es/sala-de-prensa/2019/12/191213-siemens-gamesa-first-turbine-5x-sweden-en>

Gilberto Enriquez. *Tecnología de generación de energía eléctrica.*(2018,mayo). Google Books, de books.google.es

T. (2017, 29 mayo). *Makani, la cometa de Google que produce energía limpia: el futuro de la energía eólica eficiente.* twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/curiosidades/makani-la-cometa-de-google-que-produce-energia-limpia-1656/#:~:text=La%20revolucionaria%20tecnología%20de%20Makani,ver%20en%20los%20campos%20eólicos.

Access Denied.(2021,15 de diciembre). PNOMA. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. <https://www.gob.mx/semarnat>

Edgar Santoyo & Rosa María Barragon.(2010, 16 marzo) *Energía geotérmica*. <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencia-academia-mexicana-de-ciencias/articulo/energia-geotermica>

Lannini.R.G.J (2004) *Energía eólica teorica y característica de instalación.. Biblioteca virtual*.

David Stewart (2019, 2 diciembre) *Aerogeneradores suspendidos en el aire*. Norvento enerxia. <https://www.norvento.com/blog/aerogeneradores-suspendidos-aire/>

Manuel Torres Bua(2020) <https://www.norvento.com/blog/aerogeneradores-suspendidos-aire/>

Mariam Ahmed, Ahmad Hably, Seddik Bacha (2013) *Kite Generator System Modeling and Grid Integration*. *IEEE Transactions on Sustainable Energy* , IEEE. <https://reneweconomy.com.au/massive-wind-power-kite-generator-to-be-tested-by-germanys-biggest-utility/>

G. Masters(2004) *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

O. Ceyhan,(2012) "Towards 20mw wind turbine: High reynolds number effects on rotor design," *Wind Energy*, vol. 2011, p.

Colón, C. (1892). *Relaciones y cartas de Cristóbal Colón*. Madrid: Imprenta de la viuda de Hernando y C.

Jacobo, F.(2007,10 marzo) *El sol como fuentes de energía, solar resumen.pdf*. Recuperado 10 marzo. <https://fjarabo.webs.ull.es>

Tamaño de aerogeneradores, (2003 de julio 29). Danish wind industry association, Asociacion danesa de la industria eólica de www.windpower.org

Mecanica III, (2016, diciembre 5). *Mecanismo y sistemas de aeronaves*. Apunte de correas .

Rodriguez Pazo, M.(2018 junio). *Estudio de la propulsión de un prototipo de barco mediante una turbina autorrotante*. Univeritat politécnica de cataluya. <https://upcommons.upc.edu>

Cobreiro Rodriguez,P. (2014,10 julio). *Aerogeneradores funcionamiento y marco normativo*.Wind Turbines. <https://aeeolica.org>

Saavedra,A.,& Alejos, R. (2019,30 agosto). *Diseño de geometría de un aerogenerador de eje vertical*. <https://Scribbr.es>

Garcia, A.D.I.E.Z. (2016,10 septiembre). *La energía eólica*. Red de agentes para la innovación, eio.es.

Moragues,J.,& Rapallini,A. (2003, 17 diciembre). *Energía eólica.*, Instituto argentino de la energía. [https:// Sistemamid.com](https://Sistemamid.com)

Lopez, J., (2014, abril 23.) *Eólica ¿Una historia de éxito sin final feliz?*, Asociación Empresarial Eólica (AEE). www.Aeeolica.org

Ortiz Florez, R. (2011, 1 enero). *Hidraulica, generación de energía*. Google Books. books.google.es

H. Dickson, M., & Fanelli, M. (2020, 4 octubre). *¿Qué es la energía geotérmica?* lis.edu.es

Dr. Hiriart L. (2011, 17 octubre). *IDB Geotermia., Evaluación de la energía geotérmica de México*, www.researchgate.net

Soria, E. (2008, 12 septiembre). *Energía renovable para todos, hidráulica*. [Energía-renovable.com](https://energia-renovable.com)

Arellano Gómez, V.M., Iglesias Rodríguez, E., & García Gutiérrez, A. (2019, 8 septiembre). *La energía geotérmica: una opción tecnológica y económicamente madura*. <https://ineel.mx>

Jarabo, F. (2007, marzo 10). *El libro de las energías renovables*. fjarabo.webs.ull.es

F. (2016, 25 abril). *Energía eólica., Grupo 15*. [De grupo15fluidos.wordpress.com](https://degrupo15fluidos.wordpress.com)

QUINTERO Brian, JARAMILLO Hector Enrique, LAÍN Santiago. *Estudio aerodinámico de aerogeneradores de eje horizontal de potencia nominal superior al MW*. *Revista Energía y Computación Vol. 14, N° 2, 2006, p.23-30* [citado: 23 Abril de 2016].

Zachary (2014, 23 abril). *History of Wind Turbines*. [Renewable energy world](https://renewableenergyworld.com).

Dickson, M.H., & Fanelli, M. (2019, julio 3). *¿Qué es la energía geotérmica?*. *Instituto di Geoscienze, CNR., Italia*.

Lopez Obradors, O. (16 junio.) *Estudio aerodinámico de un perfil NACA*. [De upcommons.up.edu](https://upcommons.up.edu)

(2021, noviembre 4). *Perfil alar*. [De la enciclopedia libre](https://de.la.encyclopedia.libre.org).

Pinzon Paz, S. (2013, 4 julio). *Vista del perfil alar y su nomenclatura NACA*. *Ciencia y poder aéreo*. [Htpss://publicacionesfac.com](https://publicacionesfac.com).

Anzastiga Gonzalez, C., Martinez Chaparro, I., & Ramirez Mondragon, J. (2018, 13 diciembre). *Importancia de la simulación en procesos productivos*. www.redibai-myd.org

Andres Vasquez, M. (2008, 22 febrero). *Diseño de una turbina eólica de eje vertical con rotor*. <https://cybertesis.uach.cl>.

Stefan Haug, (30 october 2012). *Design of a kite Launch and retrieval system*. *High altitude wind power generator*.