



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES (FES) ARAGÓN

“DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO Y PRÁCTICAS DE
LABORATORIO EN SISTEMAS HÍBRIDOS DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA”.

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO EN GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO EN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.

PRESENTA:

DIEGO SEBASTIÁN SÁNCHEZ MOCTEZUMA

ASESOR:



M. en C. RODRIGO OCÓN VALDEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS:

Agradecimiento al proyecto PAPIME

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME No. PE114519. “Modernización de Prácticas e implementación de módulos didácticos y recursos digitales para el laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos en el área de máquinas eléctricas y potencia de la FES Aragón”.

Quiero dejar un profundo agradecimiento a mis padres, mi padre Fernando Sánchez Cruz y mi madre Sara Moctezuma Cervantes, que me apoyaron no solo monetariamente hablando, si no, emocionalmente dándome ánimos y paciencia a lo largo de todo mi trayecto académico.

A mis abuelos, María de la Luz Cervantes y Sabino Moctezuma Telles, por su apoyo incondicional, en especial de mi abuelo que, en paz descansa.

Mis amigos cercanos, primos, tíos, tías y hermanos; Daniel Fernando Sánchez Moctezuma y Carlos Alberto Sánchez Moctezuma, especialmente su esposa Elena y su familia que me desearon buena ventura.

Y a quien más, que, a mi profesor y asesor, el M. en C. Rodrigo Ocón Valdez, por otorgarme esta oportunidad. Y a la Ingeniera Karina Martínez Romero, jefa del laboratorio L3 por otorgarme el material necesario para la realización de este trabajo.

“Este trabajo no solo es mío, es suyo también, gracias por todo, espero sea suficiente”.

Diego Sebastián Sánchez Moctezuma



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

INTRODUCCIÓN:

RESUMEN:

La producción de energía se ha visto incrementado exponencialmente en los últimos años debido a la demanda de servicios de consumo por el incremento poblacional, lo que nos ha llevado a invertir más y más recursos alrededor del mundo. Sin embargo, también nos ha llevado a que cientos de personas piensen en maneras más simples de generar energía eléctrica, desde grandes empresas hasta aficionados en la materia de energías renovables, con la finalidad de encontrar la manera de superar estas máquinas y adaptarlas a sus hogares o ampliar la red de consumo público.

La tesis presentada cuenta con cuatro capítulos, siendo el primer capítulo enfocado meramente en los paneles solares desde; como están fabricados, como funcionan (como conectarlos e instalarlos) y como adaptarlo a un sistema autónomo real. Los dos subsecuentes (capítulos 2 y 3) en especial el capítulo 3, está enfocado meramente en los generadores de energía eólica, cuáles son sus fundamentos matemáticos y teoría de la aerodinámica, que resultan ser fundamentales para el sistema de generación eléctrica, captación y control de un aerogenerador de alta potencia, en cuanto al sistema de captación y medición del viento se añade en el capítulo 2 conocimientos sobre meteorología y| la razón de porque se han tomado dos capítulos, es porque, la información que se necesita para comprender a este tipo de máquinas es más extensa y densa de aprender. Y por último el capítulo 4, que está enfocado en la construcción, diseño y desarrollo del módulo didáctico pensado para ser usado en las clases del laboratorio de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Aragón en materia de Sistemas de distribución y protección eléctricos para los jóvenes estudiantes a través de dos prácticas de laboratorio elaboradas a partir de lo expuesto en este documento.

El trabajo que se muestra a continuación, no solo tiene el simple propósito de recopilar información básica sobre los generadores de energía renovable híbridos, sino a introducir al alumnado de ingeniería y docentes o a cualquier persona interesada en la materia de energías renovables, a comprender esta tecnología de manera breve y lo más completa posible, claro haciendo menciones importantes a conceptos que son complicados de entender en corto tiempo y recomendando al lector a buscar fuentes de información que estén orientadas a este campo en específico recomendadas en el apartado de bibliografías -y de esta manera-, para que en el futuro, puedan llevar las energías renovables, por y para el beneficio, de los hogares de



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

ciudades de mayor consumo energético y lugares marginados (o con difícil acceso al servicio de electricidad) y también sea para desarrollarse en este campo y volverse profesionales independientes en la materia.

Al mismo tiempo, que este trabajo sea el punto de partida para llevar la materia de energías renovables a un nuevo nivel -con referencia-, a un nuevo panorama de enseñanza y, así mismo, invitar a cualquier alumno o profesor en ciencias a innovar o actualizar el trabajo ya elaborado o mostrar un mejor diseño de estas máquinas generadoras de energía limpia.

OBJETIVOS

- Generales:

- Construir un módulo didáctico y diseñar prácticas de laboratorio, enfocado en sistemas híbridos de generación de energía eléctrica para los alumnos de ingeniería eléctrica electrónica.

- Particulares:

- Enriquecer los conocimientos de los alumnos en la carrera de ingeniería en eléctrica y electrónica, en materia de energías renovables.
- Exponer y enseñar como está constituido y funciona un panel solar al igual que un aerogenerador.
- Diseñar dos prácticas de laboratorio en relación a la generación de energía solar y eólica.



ÍNDICE:

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS	III
INTRODUCCIÓN	IV
Capítulo 1: La Energía del Sol	9
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 ¿Qué es la energía?.....	11
1.3 Energía Térmica	17
1.4 Sistema de Energía Solar Fotovoltaica	19
1.4.1 Panel solar.....	19
1.4.2 Baterías	25
1.4.3 Controlador	27
1.4.4 Inversor	28
Capítulo 2: La Energía del Viento	31
2.1 Fuentes de energía hidráulica.....	31
2.1.1 Energía mareomotriz y undimotriz.	32
2.1.2 Energía hidroeléctrica	34
2.2 La historia detrás de la energía eólica	38
2.3 Conceptos básicos	40
2.3.1 Características y explicación sobre el origen del viento.....	40
2.3.2 Meteorología básica.....	42
2.3.3 ¿Cómo interpretamos un mapa meteorológico?	46
2.4 Sistema de orientación.....	50



2.4.1 ¿Cómo cuantificar los parámetros del viento?.....	53
Capítulo 3: Sistemas Eólicos	55
3.1 Aerodinámica de máquinas.....	55
3.1.1 Potencia teórica	55
3.1.2 Coeficiente de potencia	57
3.1.3 Perdidas en la maquina	57
3.1.4 Potencia eólica real.....	58
3.1.5 Relación entre área de barrido y potencia	58
3.1.6 Numero de aerogeneradores necesarios	59
3.2 Estadística de Weibull y Rayleigh.....	60
3.3 Acerca de los aerogeneradores.....	61
3.3.1 Aspectos generales de los aerogeneradores	61
3.3.2 Sistemas de captación	65
3.3.3 Sistema de transmisión.....	69
3.3.4 Sistema generador de energía	71
3.3.5 Sistema de control.....	74
3.3.6 Sistema hidráulico	76
3.4 Aerogeneradores de eje vertical.....	77
Capítulo 4: Diseño y Construcción de un Módulo Didáctico	79
4.1 Diseño y construcción del módulo didáctico.....	79
4.2 Manual de instrucciones.....	85
4.3 Practicas de laboratorio	100
4.3.1 Practica No.1	101
4.3.2 Practica No.2	110



COMENTARIOS Y CONCLUSIONES 120
BIBLIOGRAFÍAS 121
ANEXOS..... 125
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS 130



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

Capítulo 1: La Energía del Sol.

1.1 Antecedentes

En la historia de la humanidad, la necesidad de satisfacer la dura vida y hacerla aún más sencilla resulta un trabajo que puede tomar décadas o incluso miles de años pues, uno de los más problemáticos es el sector energético.

Desde el descubrimiento de la electricidad con **Tales de Mileto** (filósofo griego del siglo VI a.C) que observo como al frotar una roca de ámbar con un pañuelo, este podía generar una fuerza de atracción invisible hacia unas pequeñas plumas, el cual bautizo con el nombre de "**electricidad**"¹. A partir de ese acontecimiento resulto ser un fenómeno de un tema de debate y discusión de grandes mentes, que ocasiono que empezaran la elaboración de herramientas rudimentarias que entendieran este nuevo fenómeno físico. Muchos años después, tras recabar todos los nuevos descubrimientos sobre la electricidad, en **1833 Samuel Morse** presenta al público su telégrafo y empieza a desarrollar el código Morse siendo este, el primer sistema de comunicaciones con hilos para después, construir la primera línea telegráfica del mundo en **1844**. Irónicamente en ese mismo periodo de tiempo, en **1838 Rober Davidson**, construyó un prototipo eléctrico de locomotora llamada Galvani, capaz de moverse a 4 millas por hora², para posteriormente en el futuro fuera bautizando este invento como el **tranvía**. Y unos pocos años más, en **1879** tras obtener la patente, **Tomas Alba Edison** fundó la "**Edison Illuminating Company**" e inauguró en **1882** la primera central eléctrica, debido a que la energía que se transportaba en aquel momento era de corriente directa (CD), sin embargo, presentaba un defecto bastante notable en su alcance y su forma de ser transportada esta forma de energía y no fue hasta que **Nicola Tesla**, un brillante físico e ingeniero, que propuso el uso de la corriente alterna (AC) para que así, se pudiera transportar la energía eléctrica y de esa manera, dar paso a la segunda revolución industrial, cabe mencionar que Tesla y Edison no convergieron en la misma idea cuando se hizo la pregunta; ¿Qué tipo de corriente era más fácil de controlar y por ende, transportar?. A lo cual llego a la "**guerra de las corrientes**", guerra en la que Tesla obtuvo la razón.

Como has leído, la manipulación de la energía eléctrica comenzó como simples servicios de transporte y comunicación, para posteriormente ser aprovechada para satisfacer nuestras necesidades más complejas como el sector agrónomo, alimenticio o servicios más comunes; agua potable, calefacción, iluminación, etc.

En **México** a fines del **siglo XIX** inicio la generación de energía eléctrica con la primera planta generadora que se instaló en el país en **León, Guanajuato** en **1879** para una fábrica textil, al ser un éxito, en **1889** operaba la primera planta hidroeléctrica en **Batopilas, Chihuahua**.

1.- Electricidad deriva del griego "elektron": 'ámbar'.



Poco después, se prestaría esta tecnología para el sector de minería y poco después, a la iluminación residencial y pública -solo para las elites privilegiadas de aquella época-, no fue hasta el gobierno de **Porfirio Díaz** que otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público. Posteriormente en **1937** el presidente **Lázaro Cárdenas del Río** ampliaría este servicio fundando con ello la **CFE (Comisión Federal de Electricidad)** en México.

En **1952** fue instalado e inaugurado el **Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPAM)**, con la finalidad de experimentar, evaluar y determinar el equipo y material de infraestructura para el sector de generación de energía eléctrica en México.

Años después, da comienzo los primeros trabajos de campo en exploración geotérmica en **Pathé, Hidalgo**, y gracias a esto, se instala la primera planta geotérmica de México, en 1990 se apuesta por la energía nuclear dando como resultado la planta nuclear de **Laguna Verde, Veracruz**.

Hasta 2007 se inaugura por primera vez el parque eólico llamado **Venta II** en **Oaxaca**.

Desde 2019 y hasta la fecha, **CFE (Comisión Federal de Electricidad)** ha otorgado el servicio de energía eléctrica a millones de mexicanos, además de llevar a cabo obras en infraestructura eléctrica en zonas rurales, construyendo distintas centrales eléctricas de ciclo combinado, termoeléctrica, hidroeléctrica, carboeléctrica, turbo gas, combustión interna, geo termoeléctrica, eólica y solar fotovoltaica.⁵

Al final, la energía eléctrica tiene una trayectoria histórica amplia, lo anterior relata uno de los cuantos eventos significativos en la historia de la humanidad y la trayectoria de México a través del sector industrial. Es por eso que empezamos abarcando nuestro tema de estudio con un minucioso análisis sobre la energía, como se muestra en la siguiente página.



1.2 ¿Qué es la energía?

Para explicar a detalle el principio de funcionamiento de un sistema de generación de energía eléctrica debemos tocar conceptos relevantes a profundidad ya que serán importantes para más adelante.

Como leíste anteriormente, la energía se aprovecha de cualquier manera, para otorgar calefacción o electricidad, etc. Pero si lo analizamos desde el punto de la física, cualquier sistema, sin importar su: estado, constitución, posición o propiedad, este cuerpo puede ser susceptible a fuerzas del exterior o ser responsable de las fuerzas que alteran el entorno (generan un cambio, manifestándose comúnmente, como movimiento) es a lo que denominamos **trabajo**. Esto nos permite concluir que; **“Cualquier cuerpo que posea la característica de realizar un trabajo, sin importar el entorno, medio o causa que lo genere”**, lo denominamos **energía** y solo podemos medir la manifestación de dos maneras ya sea, por la cantidad de trabajo que puede generar o bien, el trabajo que fue necesario para llevar al cuerpo a su estado presente, todo lo anterior puede resultar en la **ley de la conservación de la energía** ¹.

Por no ser una **magnitud escalar**² esta puede interpretarse de distintas maneras, tal como:

Nombre	Magnitud
Ergio	$gr \frac{cm^2}{s^2}$
Joule (J)	$Kg \frac{m^2}{s^2}$

Tabla 1.1: Unidades de medida de la energía.

La energía deriva principalmente del producto de la fuerza y el entorno donde acontece ($M \frac{L^2}{t^2}$), sus unidades van acorde al **Sistema Internacional de Unidades y Medidas**³ de la región correspondida.

Y dado lo anterior la energía puede manifestarse de diversas maneras y con ello se clasifican en dos grupos, que son:

- **Energía externa (Macroscópica):**

Dos ejemplos claros para esta clase es la **energía cinética y potencial**; el primero se debe al producto de la mitad de la masa del objeto arrojado a cierta velocidad elevada al cuadrado, se expresa de la siguiente manera:

1.- “La energía no se crea ni se destruye solo se transforma”. José María de Juana Sardónes, (2003), “Energías renovables para el desarrollo, Capítulo 1: La Energía”, Pag.5, Lugar: Magallanes 25, 28015 Madrid-España, ed. Parafina S.A, No. Pág. 336, (ISBN: 9788428328647, 8428328641), Recuperado el 21 de abril de 2023.

2.- Es una cantidad representada por una única magnitud (unidad) y al no ser representado en un plano de dos dimensiones no tiene dirección ni sentido, es constante.

3.- Véase en “ANEXOS” (pag.125) Tabla 1.2: Sistema internacional de Unidades, Sistema Ingles y Sistema Cegesimal. Añadiendo el sistema Ingles de Unidades.



$$E_c = \left(\frac{1}{2}\right)(m)(v^2) = \left[\left(\frac{1}{2}\right)(kg)\left(\frac{m^2}{s^2}\right)\right] \quad [J] \quad (1.1)$$

Mientras que la energía potencial resulta del producto de tres magnitudes como se muestra en la siguiente expresión matemática:

$$E_p = (m)(g)(h) = \left[(kg)\left(\frac{m}{s^2}\right)(m)\right] \quad [J] \quad (1.2)$$

Lo anterior nos explica que la energía ira en función de la cantidad de masa de un objeto inerte al posicionarlo en algún punto del campo gravitacional de la tierra.

Gracias a lo anterior, podemos decir que se denomina **energía macroscópica** aquella que podemos observar y percibir con bastante facilidad, y esta energía puede relacionarse con la gravedad o velocidad a la que es sometido el objeto en cuestión. La adición de ambas energías, potencial y cinética dan como resultado la **energía mecánica**:

$$E_m = E_p + E_c \quad [J] \quad (1.3)$$

- **Energía interna (Microscópica):**

Esta clase de energía se le atribuye su nombre, debido a que la energía es más perceptible a nivel molecular o atómico, hasta este punto, la única manera de expresar esta manifestación es a través de las matemáticas o instrumentos especializados debido a la reacción violenta o repentina que suele suscitarse, lo que lo hace casi imperceptible para los sentidos del ser humano. Existen múltiples ejemplos que se mencionaran a continuación:

- **Energía Química:** Se encuentra almacenada dentro átomos o moléculas y son producto de la unión o separación de los enlaces covalentes de distintas sustancias para formar compuestos nuevos. Ejemplos claros seria la combustión, el metabolismo, electrolisis, etc.
- **Energía Nuclear:** Una clase de energía más inestable y que radica en el interior de los núcleos atómicos. Este se manifiesta en forma de espectros de gran longitud que pueden transmitirse a través del vacío, un ejemplo; los rayos X, luz ultra violeta, llamaradas solares, microondas, radioondas y la más común de todas, **la fusión nuclear**, que es la reacción en cadena de liberación de energía térmica por la ruptura de los núcleos radioactivos. Conceptualizada por **Albert Einstein (1879 - 1955)** que menciona que todo cuerpo que ocupa un lugar en el espacio, contiene dentro de sí una cantidad mínima de energía, y se expresa matemáticamente como:

$$E_c = (m)(c)^2 [J] \quad (1.4)$$

Donde:

E_c = Energía Másica.

m = Cantidad de masa del cuerpo.

c = Velocidad de la luz equivalente en el vacío. Con valor igual a **300,000** $\left(\frac{km}{s}\right)$.

4.- El calor se estableció como forma de energía por el físico alemán Hermann Von Helmholtz (1818 - 1894) y la relación existente entre el calor y la energía fue determinado por el físico ingles James Prescott Joule.



- **Energía térmica:** La más común de todas que, desde esta perspectiva, se determina como la velocidad a la que vibran y se desplazan aleatoriamente las moléculas y estas se manifiestan como calor o frío dependiendo de la energía cinética desempeñada en las moléculas, se mide con la magnitud de temperatura con unidades de grados Celsius (**°C**), Fahrenheit (**°F**) o kelvin (**K**).⁴
- **Energía Eléctrica:** Resulta de la cantidad de energía requerida para mover los electrones alrededor de los átomos y desplazar estos a través de los conductores (como medio de desplazamiento) generando campos magnéticos o eléctricos.

Existen dos variantes de esta clase de energía y son:

- **Corriente Alterna:** La característica principal es esta clase de energía eléctrica, es por su forma de onda senoidal periódica, por lo cual no cuenta con una polaridad definida además de que única forma de medir el voltaje es a través de su frecuencia y amplitud de onda de pico a pico.
- **Corriente Continua:** A diferencia de su contraparte, se le denomina corriente continua porque solo se mantiene en una única polaridad o sentido de flujo de corriente, es decir, solo puede ser de polaridad positiva o negativa y por esto mismo es aperiódica.

La mejor expresión matemática que puede expresar el comportamiento de electricidad es la muy conocida **Ley de Ohm**⁵:

$$R = \frac{(V)}{(I)} \quad [\text{Ohms}] \quad (1.5)$$

Donde:

V = Tensión de la corriente eléctrica (**V**).

I = Intensidad de la corriente eléctrica (**A**).

R = Resistividad hacia la corriente eléctrica (**Ω**).

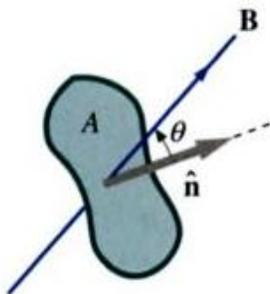


Imagen 1.1: Flujo magnético.

La ecuación anterior interpreta matemáticamente el flujo de la electricidad sobre un conductor cualesquiera, sin embargo, también existe un fenómeno de la electricidad llamado “**campo electromagnético**” a causa de un flujo magnético:

$$\Phi_m = \int_S B \cdot \hat{n} dA = (B)(\hat{n})(A) = (B)(\cos \theta)(A) \quad [\text{Wb}] \quad (1.6)$$

Donde:

Φ_m = Flujo magnético **Weber (Wb)** [$(T)(m^2) = \text{Tesla} \cdot \text{metro cuadrado}$].

5.- Menciona que: “la resistencia de un conductor se manifiesta al inyectar en sus extremos un diferencial de potencia (Voltaje) y por consiguiente una intensidad de corriente eléctrica (A)”.



Facultad de Estudios Superiores Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

B = Campo magnético ($T = \text{Teslas}$).

\hat{n} = Dirección del vector unitario.

dA = Diferencial de la superficie del conductor ($[A]$ = Área sobre la superficie casi cerrada).

S = Integral definida por la superficie (Área) del conductor.

Lo anterior se entiende como; el flujo magnético dependerá de dos vectores del área sobre la superficie fijada, uno será el vector unitario (\hat{n}) y el otro la dirección del campo magnético (B), entre estos dos vectores forman un ángulo (θ). (Observa la **Imagen 1.1**⁶).

Dado a que una bobina está constituida por un número determinado de vueltas de alambre de cobre (espiras), se añade un parámetro nuevo a la ecuación, dando como resultado una nueva expresión:

$$\Phi_m = (N)(B)(\cos \theta) (A) \quad [\text{Weber}] \quad (1.6)$$

El flujo magnético que atraviesa por cada espira es por igual, sin embargo, no hay que olvidar que cada espira encimada, es un área casi cerrada por lo cual podemos denominarlo como un semicírculo.

$$\Phi_m = (\mu_0)(N)(n)(I)(A) = \frac{(\mu_0)(N^2)(I)(\pi)(r^2)}{\ell} \quad [\text{Wb}] \quad (1.7)$$

Donde:

B = Campo magnético dado como: $[B = (\mu_0)(n)(I)]$.

n = Numero de vueltas por unidad de longitud dado como: $[n = (\frac{N}{\ell})]$.

A = Área de la circunferencia de la superficie de cada espira. $[A = (\pi)(r^2)]$.

I = Intensidad de la corriente eléctrica medida en Amperios (A).

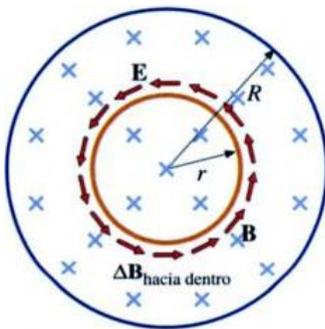


Imagen 1.2: Esquema que interpreta la interpretación de la Ley Faraday.

La nueva expresión deriva del campo magnético ya mencionado y considerando que es un solenoide (bobina cilíndrica), no se deben ignorar variables fundamentales tales como la Intensidad de la corriente eléctrica, longitud del solenoide y **la permeabilidad magnética absoluta** (μ_0) que es el valor del campo magnético existente en el vacío o en la densidad del aire. Y su valor constante esta dado por ($4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$) y todo esto da como resultado al fenómeno que denominado, **inducción magnética**.

De esta manera podemos determinar la **Ley Faraday**⁷, una ley del

6.- Imagen recuperada del libro. Paul Allen Tipler, (octubre 2004), "Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 28.1: Flujo Magnético" Figura 28.1 Pag.832, Versión al español impresa Quinta edición, España - Barcelona por Ferre Olsina, Editorial: REVERTE, S.A., No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 21 de abril de 2023.

7.- Postulado propuesto (en 1830) por el físico Michael Faraday y Joseph Henry, mencionaban que: "un campo magnético generaba una corriente eléctrica sobre el conductor del flujo magnético que atravesaba la superficie de una espira conductora en reposo, sin importar si este era variable o no".

electromagnetismo que es usado en los motores eléctricos de hoy en día, de tal forma que matemáticamente, se expresa de la siguiente manera:

$$\oint_C E d\ell = - \int_S \frac{\partial B}{\partial t} ds \quad [\text{Volts}] \quad (1.8)$$

Donde:

E = Campo Electromagnético (**Fem**).

B = Campo magnético variable en el tiempo ($T/s = \text{Teslas/segundo}$).

$d\ell$ = Diferencial de longitud del conductor (ℓ).

ds = Diferencial de la superficie del conductor (s).

C = Integral de superficie cerrada del Campo Electromagnético.

S = Integral definida por la superficie (**Área**) del conductor.

La anterior expresión, es explicada como: **“dado un flujo magnético alrededor del área circular generado por la espira, induce un campo eléctrico (fem) que es proporcional al primer campo magnético generado”, (el signo negativo es debido al sentido de la fem, debido a que, el resultado es un campo eléctrico en la superficie derivado de un campo magnético en una curva cerrada resulta ser una fuerza no conservativa⁸)**. Dicho esto, último, podemos determinarlo como un campo **electromagnético** como se observa en la **Imagen 1.2⁹**. En cuanto a la **FEM (Fuerza Electro Motriz)** este término es utilizado para referirse a cualquier dispositivo que es capaz de suministrar energía eléctrica, por ejemplo, las baterías o pilas (hacen uso de la energía química para convertirla en energía eléctrica) o un generador (hace uso de la energía cinética para transformarlo en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica), concluimos que **fem¹⁰** es **la cantidad de trabajo requerido para cambiar la diferencial de potencial en el circuito de carga, es por eso que la unidad de medida por excelencia será Volt (V)**. Sin embargo, no podemos dejar de lado a la **Ley Lenz**, la cual se estipula de la siguiente manera: **“La fem y las corrientes inducidas poseen una dirección y sentido tal que tienden a oponerse a la varia-**

8.- La fuerza no conservativa se denomina así porque el trabajo (cantidad de energía) que tiende a seguir la misma trayectoria de desplazamiento, es decir, depender del trabajo de otro cuerpo.

9.- Imagen recuperada del libro. Paul Allen Tipler, Gene Mosca, (2004), “Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 28.2: Fem Inducida y Ley de Faraday” Figura 28.6 Pag.835, Versión al español, Quinta edición, España Barcelona por Ferre Olsina, Editorial: REVERTE, S.A., No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 21 de abril de 2023.

10.- “Una batería ideal es una fuente de fem que mantienen una diferencia de potencial constante entre sus dos terminales independientemente del flujo de carga que exista entre ellos”. Podemos corroborar esto si el voltaje de la batería ideal es idéntico al valor absoluto de la fem de la batería. Información recuperada del libro Paul Allen Tipler, Gene Mosca (2004), “Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 25.3: La energía en los circuitos eléctricos, subtema: FEM y Baterías” Pag.736, Versión al español Quinta edición, España - Barcelona por Ferre Olsina, Editorial: REVERTE, S.A., No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 07 de junio de 2023.



ción que las produce¹¹ esto quiere decir, que al acercar u atravesar una barra de imán a través de una espira esta tendera a dirigir una trayectoria de repulsión, y esto es más que nada porque, un campo magnético producido por la intensidad de una corriente, esto hace que se comporte como un imán. Posiblemente, lo que genere más confusión es el vector que juega el imán y la bobina en este fenómeno, para ello observa la **Imagen 1.3**¹², donde explica de manera más detallada que comúnmente el norte de un imán ejerce vector de fuerza por la izquierda lo que significa que, la bobina ejercerá una fuerza hacia la derecha siendo el polo norte de esta. Además, esto se puede confirmar con el uso de la regla de la **mano izquierda**¹³ para determinar la dirección de flujo magnético alrededor de un conductor que lleva corriente y la **regla de mano derecha (para motores)**, indica la dirección del conductor a la que se moverá dentro de un campo magnético.

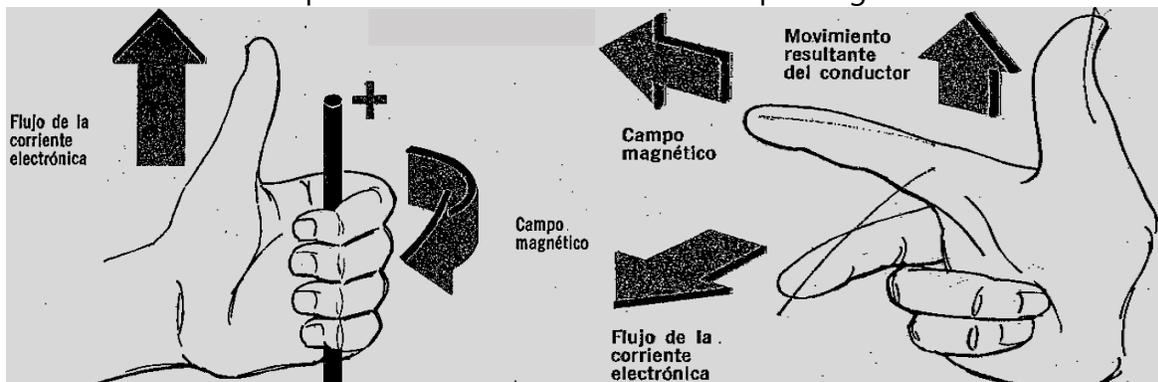


Imagen 1.3: La regla de la mano izquierda y derecha al igual, que el comportamiento de los vectores de fuerza magnéticos.

Después de haber comprendido lo anterior, es importante hacer mención de **la potencia**, debido a que, en un sistema generador es fundamental tomar en cuenta esta característica y al tratarse de máquinas de potencia (motor o generador) lo determinaremos como **Vatios** que se puede calcular de la siguiente manera:

$$W = (I^2)(R); W = (V)(I); W = \frac{(V^2)}{(R)} \quad [\text{Watt}] \quad (1.9)$$

Donde:

W = Potencia eléctrica en watts ($W = J/s$).

V = Tensión de la corriente eléctrica (V).

I = Intensidad de la corriente eléctrica (A).

R = Resistividad hacia la corriente eléctrica (Ω).

11.- Información recuperada del libro Paul Allen Tipler, Gene Mosca (2010), "Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo/Luz, Capítulo 28.3: Ley de Lenz" Pag.965, Versión al Español 6ª- edición, España - Barcelona por Ferre Olsina, ed. REVERTE S.A., No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144307, Recuperado el 24 de abril de 2023.

12.- Imagen recuperada del libro Mileaf Harry (1985), "ELECTRICIDAD 1-7: Motores de c-c" Pag.7-6, tercera edición, Balderas 95 Primer piso 06040 México 1 D. F., ed. LIMUSA, S.A., ISBN: 9681809734, Recuperado el 24 de abril de 2023.

13.- El dedo pulgar indica el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por el conductor, el resto de los dedos apretados hacia la palma, indican el sentido del campo magnético, este método también es conocido como "saca corchos".

Lo anterior se denomina la **Ley Watt** y estipula que: *“Es la cantidad de energía mecánica o eléctrica, producida por un dispositivo que transfiere o es alimentado por otra fuente de energía auxiliar”*.

1.3 Energía Térmica.

Comencemos definiendo el concepto de **Energía solar**, podemos definirlo como: *“La radiación emitida por la enorme estrella localizada en el centro de nuestro sistema solar, cuya radiación o energía, golpea la superficie del planeta tierra”*, y es a la vez; responsable de que la tierra -gracias a su calor- generara una atmosfera rica en oxigeno que permite la existencia de vida en nuestro planeta. Al principio la humanidad veneraba al sol como una deidad, después de miles de años, la humanidad comprendió que podía aprovechar el calor emanado del sol, para otras cosas como, por ejemplo:

- Designados como **colectores solares**, llamados así por que otorgan servicios de calefacción o agua caliente, ya que, son dispositivos que convierten los rayos ultravioletas en **calor de baja temperatura**, un ejemplo claro son el calentador de agua solar, como se observa en la **Imagen 1.4**¹⁵.
- El método de **calefacción pasiva** y se denomina de esta manera porque al construir los muros o paredes de un edificio, se utilizan elementos como madera, tabique o elementos estructurados especialmente para aclimatar el interior de los edificios.

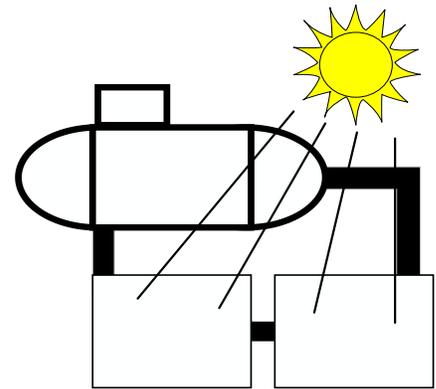


Imagen 1.4: Calentador de agua (Boiler) solar.

En el sector energético, las **plantas termo solares** funcionan conjuntamente con el uso de paneles solares especializados denominados **“Concentradores de radiación”**, el principio de funcionamiento de estas plantas es sencillo. La ración solar es transformada en energía térmica (calor), el cual calienta el agua de la primer estanque denominado **“estanque con sales calientes”** a muy alta temperatura, para evaporar el agua concentrada en la **Caldera**, a través de un canal de guía que pasa a través de la caldera, cabe mencionar, que existe un sistema de control denominado **“barras de control”**, que se encargan de que se libere suficiente calor para evaporar el agua a un ritmo no tan alarmante para no evaporar todo en agua y dañar el interior del sistema. Ese vapor se dirige a las turbinas del generador a través de un sistema de distribución de tuberías, por consiguiente, mueve las turbinas por principio de expansión; la pre-15.- Imagen obtenida de la página web oficial “Sustentar tv”, Federicos Berón (2017), “Reciclando basura de electrónica para crear colectores solares”, recuperado el 21 de mayo del 2023, de <https://www.sustentartv.com/proyecto-social-colectores-solares/>

sión, velocidad y fuerza del vapor de agua hace posible mover las turbinas y estas hacen funcionar el mecanismo para generar energía eléctrica, posteriormente el vapor se dirige a la caldera para que vuelva a su estado original líquido por efecto de **condensación** donde se genera grandes cantidades de rocíos (gotas de agua) se acumulan y mantienen la caldera a un nivel de agua aceptable.

Para regular la temperatura el tubo que pasa por la caldera, está conectado a un segundo estanque denominado **estanque de sales frías o aceite sintético** los cuales se encargan de regular la temperatura de la caldera a consecuencia del primer estanque, y de esta manera se repite el proceso llevando el agua a lo más alto de la torre gracias a una bomba de agua de alta potencia. (Observa la **Imagen 1.5**¹⁶).

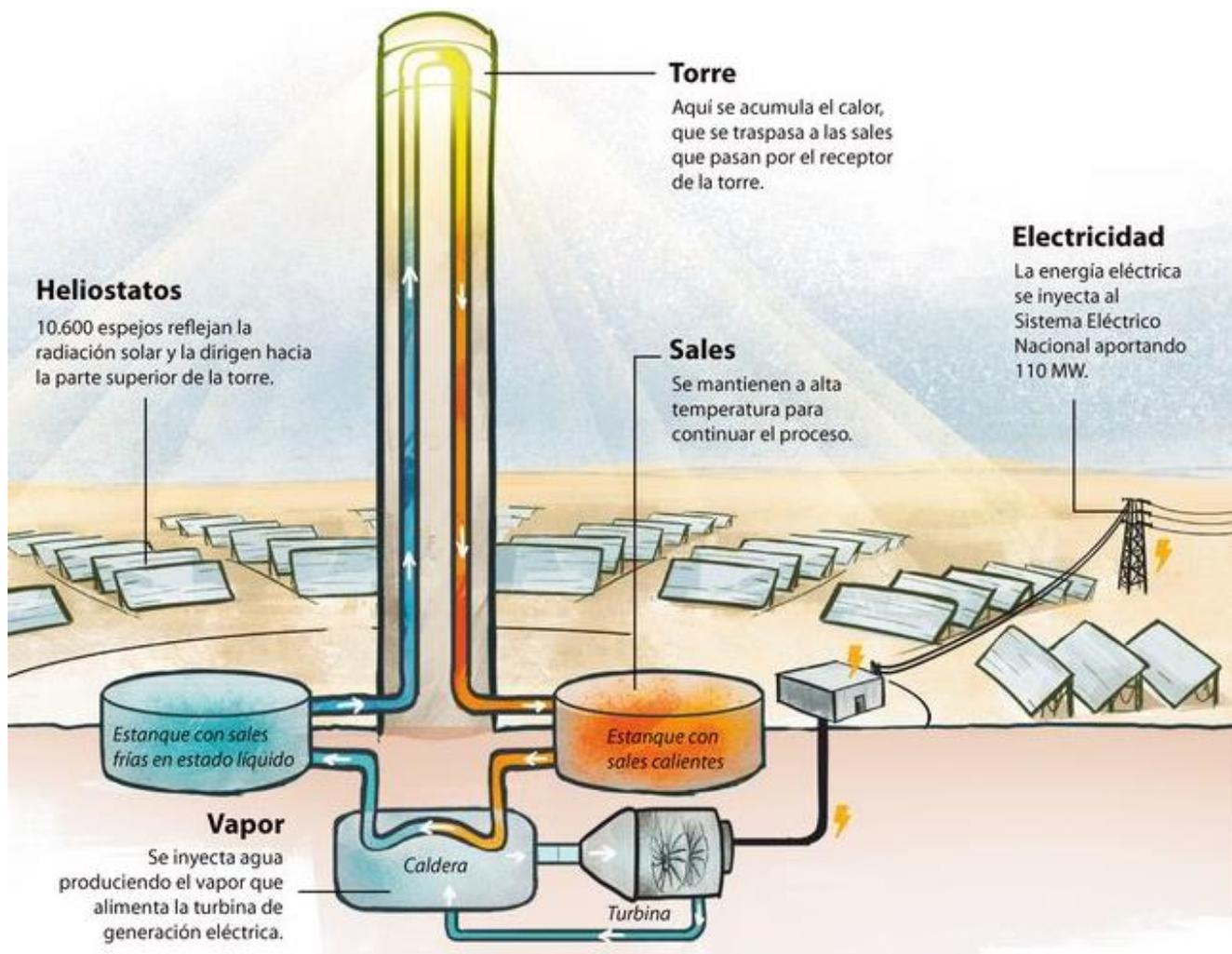


Imagen 1.5: Planta Termo eléctrica.

16.- Imagen obtenida de la página web oficial "FLANLATE", Administrador, (2020), "Instalan el último espejo de la planta solar Cerro Dominador: son 10.600.", recuperado el 21 de mayo del 2023, de <https://www.flanlate.com/2019/11/instalan-el-ultimo-espejo-de-la-planta.html>



Facultad de Estudios Superiores Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

1.4 Sistema de Energía Solar Fotovoltaica.

Para entender mejor esta tecnología nos tendremos que remontar en el pasado. Para ser preciso en **1839**, cuando el físico francés **Alexander Edmond Bequerel**, descubrió el “**efecto fotovoltaico**”, un fenómeno, por el cual, al incidir luz (**los fotones**) sobre la superficie de un material **semiconductor** (material que se comporta -dado las circunstancias- como un aislante o un conductor), éste liberará electrones que pueden generar una corriente eléctrica (observe la **imagen 1.6**)¹⁷, 44 años después, **Charles Fritts** fabricó la primera celda solar en **1883**, misma que tenía, una delgada capa de aleación semiconductor de oro.

En un sistema de generación de energía solar básico, dirigido a los hogares está conformado de la siguiente manera¹⁹:

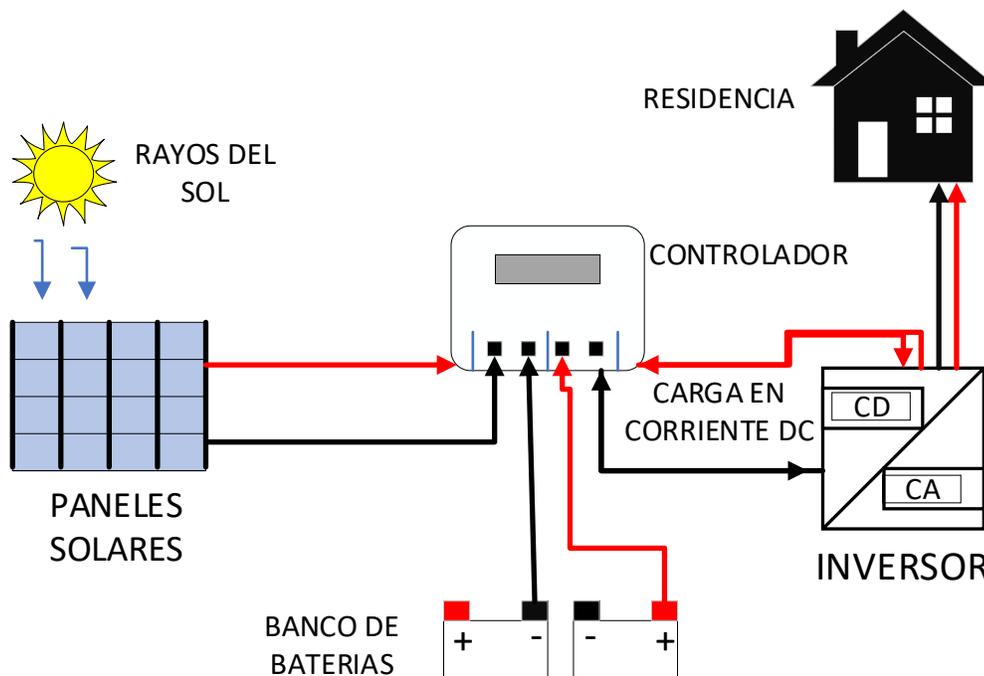


Imagen 1.7: Esquema de un sistema de control de generación de energía solar de un hogar común.

1.4.1 Panel solar.

Esta tecnología trabaja en base al uso de **semiconductores** como principio fundamental; se empieza captando la radiación solar, los fotones golpean la capa de **vidrio** la cual primordialmente está compuesta de **Silicio** tipo monocristalino con base al duro método de fabricación de procesos químicos, mecánicos y siderúrgicos llamado **proceso Czochralski**, que *19.- Información recuperada de la página web “RSOLAR® 2023”: García Lara (2023), “5 claves para la compra de tu sistema aislado”, Recuperado el 03 de julio de 2023, de <https://rsolar.com.mx/claves-para-la-compra-de-sistema-fotovoltaico-aislado/>*



Imagen 1.6: Esquema en vista vertical de los componentes de una celda solar.

dan como resultado, **silicio policristalino**, que resultan ser cristales de alta pureza. Seguida de una capa conductora de **Oxido de estaño**, este material se caracteriza por presentar una conductividad eléctrica inferior a la de un conductor metálico convencional, pero, superior a la de un aislante. No obstante, una de sus propiedades más importantes es que al ser iluminados, mejoran su capacidad de conducción eléctrica. Esto se debe a que, al inducir los fotones sobre un semiconductor, los electrones tienen una mayor capacidad para moverse y, por ende, generan una corriente eléctrica. No obstante, para que ocurra el efecto fotovoltaico no es suficiente con liberar electrones, también es necesaria la presencia de un voltaje para que los electrones liberados puedan ser direccionados. En resumen, el óxido de estaño atrae a los electrones que yacen en la superficie de policristalino a los semiconductores, que a su vez trabajan de la siguiente manera, de un lado debe tener un exceso de electrones (**tipo n**)¹⁸, mientras del otro, debe presentar una deficiencia de electrones (**tipo p**). La unión de dichos semiconductores, “n” y “p”, forma una celda solar.

- **Tipos de paneles solares:**

- **Monocristalino.**

Son las celdas más comunes que puedes encontrar en un panel solar, a diferencia de sus demás contrapartes, estas generan una mayor eficiencia energética mayor al 20%, son los más recomendables en el uso de un sistema de generación eléctrica de pequeña potencia que es más común en los hogares. Sin embargo, su ciclo de vida es más corto, esto es porque pueden ser más susceptibles a sufrir daños por la misma exposición del sol que degrada el cristal hasta quebrarlo y las láminas se oxidan y se contraen poco a poco debido a la exposición del exterior, esto es debido a que las células que entregan la energía, están configuradas en serie y cualquier célula que este dañada compromete por completo a la celda entera.

- **Policristalinos.**

Como lo indica su nombre, está compuesto de múltiples elementos de cristal que lo hacen

17.- Información recuperada de Lic. Agustín Rela (2010), “Electricidad y Electrónica, Capítulo 4: Fundamentos de la electrodinámica -> Tensión, corriente, resistencia y potencia” Pag.48, 1ª edición, Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica Saavedra 789. C1229ACE. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina, ed. Colección: Las ciencias naturales y la matemática, No. Pág. 285, ISBN: 978-950-00-0751-1, Recuperado el 03 de julio de 2023.

18.- Los semiconductores tipo “n”, son denominados “donantes” debido a que tienen en su mayoría electrones con carga negativa y el tipo “p” son “aceptadoras”, estos cuentan con mayor carga de protones positivos.

más resistente a las condiciones climatológicas como, altas temperaturas, humedad y brizas heladas. Su eficiencia es menor al 20% esto debido a que las pequeñas células de cada celda estas conectados en paralelo-serie, lo cual quiere decir que, si el circuito es abierto en una sección de la celda -independientemente la causa-, el resto de la celda se mantendrá generando energía eléctrica.

Existen otros tipos de celdas fotovoltaicas, como la aleación de silicio, que están hechos de una lámina de silicio delgada que se extiende alrededor de toda la celda, son muy poco efectivos si se trata de captar la luz solar y generar energía, además, son muy delicados, cualquier entorpecimiento puede dejar inutilizable la celda entera.

- **Eficiencia de los paneles solares:**

El éxito para que un panel solar pueda generar tanta energía como sea posible, no solo recae en el lugar donde reposamos el panel solar, al igual que su el ángulo de posición para captar la luz solar. Tenemos que tomar en cuenta las dimensiones de nuestro panel y con eso nos referimos, al tamaño de cada celda o célula que se encuentren, la siguiente expresión matemática calcula el aproximado de la eficiencia de cualquier panel solar:

$$\eta = \frac{\frac{(W_p)}{(A)}}{(1000) \left[\frac{W}{m^2} \right]} \quad (100) \quad (1.10)$$

Donde:

W_p = Potencia eléctrica pico otorgado por el panel (W).

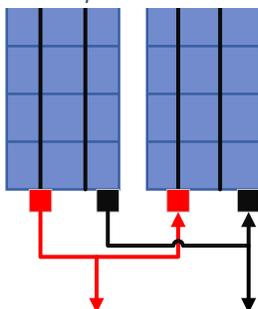
A = Área del panel solar (m^2).

La eficiencia esta comúnmente señalada por el fabricante, en la parte trasera del panel.

Los paneles solares son los dispositivos intermediarios que hace que la luz solar nos sirva como fuente de energía. Su diseño es simple, muy eficaz y permite el autoconsumo, lo que fomenta la sostenibilidad.

Como este dispositivo es de carácter activo (genera energía eléctrica), podemos configurarlas de la siguiente manera;

Imagen 1.8: Paneles en paralelo.



- Paralelo: En este tipo de configuración entregan la misma cantidad de voltaje, sin embargo, la intensidad de la corriente se ven incrementado considerablemente. En esta clase de configuraciones hay que tomar en cuenta que es recomendable cuando los ángulos de guía de la luz solar no se pueden abarcar hacia todas direcciones, sin embargo, si estos pudieran abarcar cada punto de captación solar podría generar sobrevoltaje o bajo voltaje si ignoramos por completo el comportamiento del clima el cual es arbitrario a esta clase de cálculos. Solo usaremos esta

clase de configuraciones cuando la cantidad de potencia e intensidad de la corriente no sean suficientes.

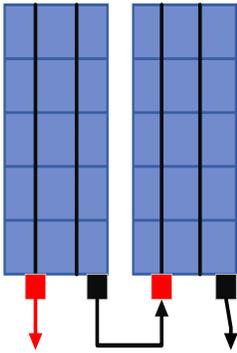


Imagen 1.9: Conexión en serie.

- Serie: Resulta ser el caso contrario, el voltaje se ve incrementado, mientras que la intensidad de la corriente se mantiene sin sufrir cambio alguno. Para este tipo de configuraciones son más raras debido a la enorme demanda de electricidad.

Por último, se podría mencionar la configuración mixta, que resulta la combinación de estas dos últimas. Es la más común en sistemas de generación de energía solar en parques ecológicos y hogares, esta manera de configurar los paneles solares es recomendable no solo por las coberturas ocasionadas por obstáculos, si no, por la cantidad de potencia a la cual someteremos nuestro sistema, es decir, al momento de calcular la potencia total del consumo diario, estamos calculando la potencia total que debe entregar nuestro arreglo definitivo de nuestro sistema, es importante que esta información que es otorgada por el mismo usuario debe de ser lo más precisa y confiable posible. Tomando el siguiente ejemplo, se puede comprender de mejor manera:

	Electrodoméstico	Consumo	Cantidad	Horas de uso diario	Consumo Diario
1	Modem	15 W	1	24 h	360 W/h
2	Computadora portátil	65 W	1	4 h	260 W/h
3	Equipos celulares	18 W	2	2 h	72 W/h
4	Focos LED	10 W	3	6 h	180 W/h
	Total	108 W		36 h	872 W/h

Para elegir la cantidad de paneles necesarios para instalar un sistema para cubrir la demanda de consumo diario debe de seguirse los siguientes criterios:

- Menor a 250 Wh en consumo diario, se recomienda un sistema de 12 V.
- Mayor a 250 a 1,400 Wh en consumo diario, se recomienda un sistema de 24 V.
- Mayor a 1,500 Wh en consumo diario, se recomienda un sistema de 48 V.

Las siguientes ecuaciones están elaboradas con el fin de obtener la cantidad de paneles solares que debemos considerar en nuestro sistema, Tomando los datos del ejemplo anterior obtenemos los siguientes valores:

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{((+Ef) * (Consumo\ diario)) + Consumo\ diario}{Periodo\ de\ captacion\ solar\ minima\ (PSH)} \quad (1.11)$$



$$\frac{(W_T * 0.2) + 872 \text{ Wh}}{5 \text{ h}} = \frac{1046.4 \text{ Wh}}{5 \text{ h}} = 209.28 \text{ W}$$

$$\text{Numero de modulos solares} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del panel solar elegido}} \quad (1.12)$$

$$\frac{209.28 \text{ W}}{250 \text{ W}} = 0.83712 = 1 \text{ panel solar}$$

El consumo diario se le añade un **factor de mínimo 20%** del mismo consumo diario. Esto por motivos de seguridad por pérdidas de potencia pues, el sistema nunca entregara una potencia efectiva del 100% y este factor añadido compensa esta pérdida. En cuanto el **periodo de captación solar pico (PSH)** se refiere a la cantidad de tiempo con el cual se cuenta que el sol tiene la mejor disponibilidad durante el día para alimentar los paneles solares, en este caso desde que amanece hasta que atardece.

Existen parámetros dados por el fabricante de los paneles, ciertos datos importantes son los siguientes:

- Potencia Máxima (**Pm**).
- Voltaje Máximo (**Vmp**).
- Intensidad de la Corriente Máximo (**Imp**).
- Voltaje entregado en circuito abierto (**Voc**).
- Corriente entregado a corto circuito (**ISC**).

A partir de aquí independientemente de los valores otorgados por el fabricante, debemos hacer nuestro arreglo para alimentar cada dispositivo eléctrico, así como establecer su respectivo controlador, banco de baterías e inversor para asegurar que la alimentación se mantenga continua e ininterrumpida.

- ***Acoplamiento y orientación:***

Por ultimo y no menos importante, la orientación de los paneles solares. Muchos expertos y manuales aconsejan al usuario o técnico en jefe, que dependiendo del hemisferio de donde se encuentre la residencia o edificio en el cual se planea instalar los paneles, es decir;

- Si la residencia se encuentra en el hemisferio Norte, el ángulo de captación los paneles solares deben apuntar hacia el Sur en dirección a la rosa de los vientos y si se encuentra ubicado en el hemisferio Sur, los paneles solares deben posicionar su ángulo de captación al Norte.



Independientemente si se planean poner en el patio o sobre puesto en alguna de las estructuras laterales del edificio o en el tejado (techo), es importante acoplarlo correctamente, esto último, se comenta porque la estructura del edificio es completamente arbitraria, así que se tendrá que tomar la mejor decisión en base a como acontezca la situación.

Dicho esto, el acoplamiento de la orientación puede ser fijo o variable, en caso de ser variable (lo más recomendado) debe acoplarse en base a las estaciones del año. Como se muestra en la siguiente imagen¹⁹:

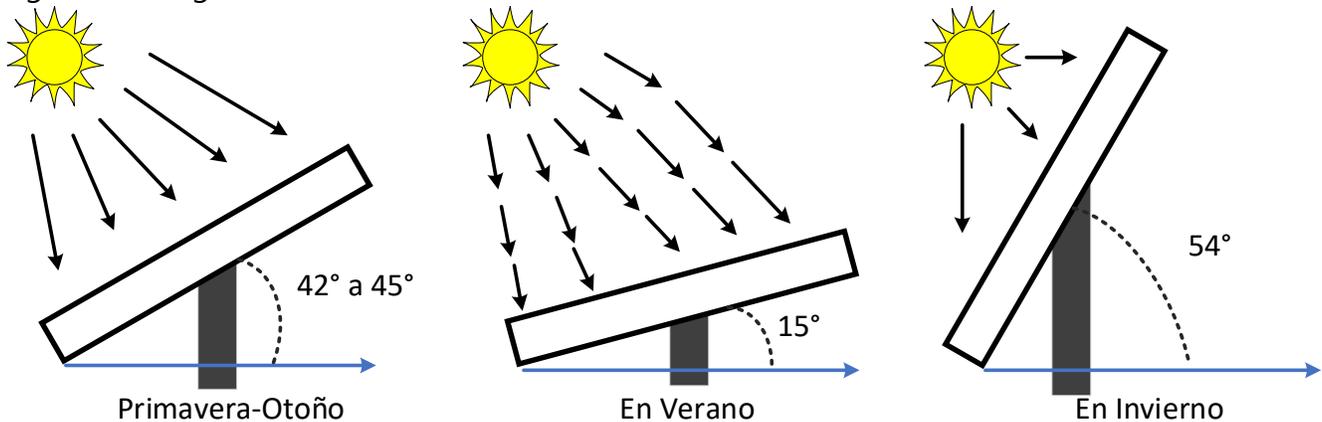


Imagen 1.10: Angulo de captación de la luz solar en base a la estación del año.

En resumen, el ángulo que adopte el panel solar ira en función del lugar, estación del año y relieve de donde se encuentre situada la residencia, no obstante, cabe mencionar que hay parámetros y otros factores utilizados en cálculos de mayor precisión que nos ayudan a elegir el mejor ángulo y la orientación más adecuada para aprovechar la luz del sol, dichos factores son:

- Altura de inclinación del panel.
- Angulo de inclinación con respecto a la latitud de la tierra.
- La distancia existente entre cada fila o hilera de paneles.

NOTA: No se debe olvidar que en cada una de las estaciones del año existen fenómenos naturales adversos que pueden perjudicar la el funcionamiento o eficacia de los paneles solares, por ejemplo, la lluvia puede degradar la superficie de vidrio de los paneles al igual que estar cerca de las costas donde, la sal marina puede degradar o presentar corrosiones sobre el material del panel y su cableado de conexión y en invierno, la nieve puede descompensar el ángulo de orientación del panel por la inercia del peso de la nieve o generar cristales de hielo que impidan captar la luz del sol de manera adecuada.

19.- Información recuperada del libro Harper Enríquez Gilbertos, Enríquez Ruiz Paola (2017), "Las energías renovables y la electricidad para todos, Capitulo 4: Energía Fotovoltaica" Pag.284, Primer edición, Balderas 95, México D.F, ed. Limusa S.A. de C.V Grupo Noriega Editoriales, No. Pág. 360, ISBN: 9786070508295, Recuperado el 17 de junio de 2023.



1.4.2 Baterías²⁰.

Es el corazón de nuestro sistema, estos se encargan de mantener la carga eléctrica para seguir alimentando el sistema o el consumo del usuario cuando el panel solar ya no se encuentra operativo durante la noche. Ya sea en sistemas de baja potencia, se puede configurarse la batería de dos maneras si se cuenta con más baterías:

- Paralelo: Las baterías entregan la misma cantidad de voltaje durante un periodo prolongado de tiempo, sin embargo, la intensidad de corriente otorgado por hora (Amperaje por hora) se ven incrementado considerablemente.
- Serie: Es el caso contrario, el voltaje incrementara, manteniendo sus máximos valores durante un corto periodo de tiempo, debido a que la intensidad de corriente otorgado por hora (Amperaje por hora) mantiene sus valores, sin sufrir cambio alguno.

Hay muchas características que de debemos calcular al momento de elegir la batería que vamos a utilizar en nuestro sistema.

Dicha característica que se debe ser considerada, además, de la potencia total, es el **ciclo de vida de la batería**. La cual esta señalizada por un parámetro importante:

- Ciclos: Comprendido como el periodo de tiempo entre carga y descarga de la batería.

Dependiendo, si el número de ciclos es menor, el ciclo de vida de la batería es mayor. Pero, si el número de ciclos de carga son mayores, puede que la vida útil de la batería se vea decrementado.

Esto último puede entenderse que a mayor consumo de la batería menor será el periodo de vida útil de la misma. Y todo esto obedece a la velocidad de descarga y carga a la que sometemos a la batería lo que puede genera un desgaste prolongado y rápido. Poniendo como ejemplo una batería de 100Ah a 24 V tendríamos los siguientes resultados.

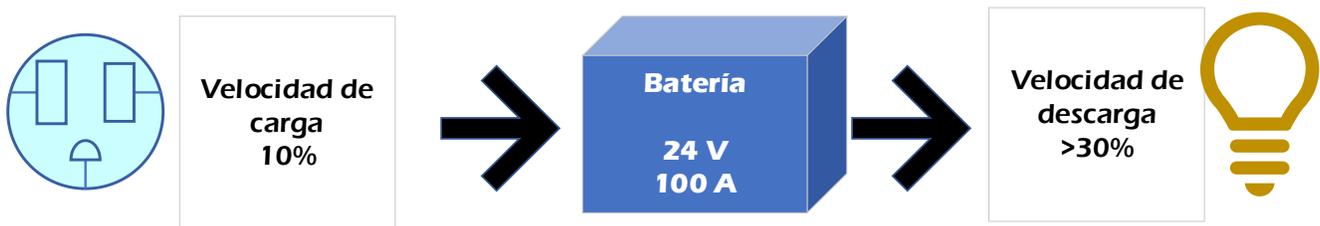


Imagen 1.11: Velocidad de carga y descarga de una batería.

20.- Véase en "ANEXOS" (pág. 125) Imagen 1.10: Componentes de una batería convencional.

%	Ciclos	Tiempo	
		Vida útil	Descarga y Carga
100	250	8 meses	1 h
<50	500	1.3 años	2 h
<30	1300	3.5 años	3.3 h
>30	2000	5.4 años	50 h

Tabla 1.3: Parámetros de la batería.

Los valores de consumo y vida útil se calculan a partir de los principales parámetros que se muestran en la **Tabla 1.3**:

$$\begin{aligned}
 \text{vida util} &= \frac{\text{Ciclos}}{365 \text{ dias del año}} = ([\text{años}])(12 \text{ meses del año}) = [\text{meses}] \\
 t = \frac{I_B}{I_C} &= [H] \quad \text{Ejemplo; } \frac{I_C}{100A} \rightarrow \frac{2\%}{100\%} = 2A \quad (1.13)
 \end{aligned}$$

Donde:

- t = Tiempo de descarga y carga, medido en horas (h).
- I_B = Intensidad de la corriente de la batería otorgado por una hora (Ah).
- I_C = Intensidad de la corriente consumida por la carga (A).

Esta última fórmula menciona dos resultados; el primero, si la batería es de una capacidad reducida y se planea alimentar a múltiples dispositivos, el tiempo de descarga se verá reducido, y la segunda es el caso contrario, la batería es de una mayor capacidad de carga y los dispositivos que se alimentan son menores, el tiempo de descarga de la batería se ve incrementado. Se recomienda que se procure usar menos del 30% de la capacidad de la batería para alimentar dispositivos de baja potencia, si se debe alimentar múltiples dispositivos se recomienda usar una batería de mayor potencia.

Para calcular el tiempo de carga es la misma ecuación para calcular el tiempo de descarga, con el ligero cambio de que el cargador no debe exceder una velocidad de carga mayor al 10% para cargar la batería.

Lo siguiente sería que, hay que calcular la cantidad de baterías que debemos utilizar para nuestro sistema en base a los siguientes parámetros:

$$\text{Cantidad de corriente total} = \frac{(W_D)(H_T)}{(V_D)(V_B)} = [Ah]; \frac{(\text{Cantidad de corriente total})}{(\text{Corriente otorgado por la batería})} \quad (1.14)$$

Donde:

- W_D = Consumo diario medido en watts (W).
- H_T = Tiempo de consumo medido en horas (h).
- V_D = Profundidad de voltaje de descarga, por protocolo, se recomienda que la velocidad de descarga no debe revase del 30 %.



$V_b = \text{Voltaje otorgado por la batería (V)}$.

Si te preguntas porque el amperaje por hora no coincide con el tiempo de trabajo, esto se debe a que consideramos el 70% de la capacidad de la batería, ya que ninguna batería puede descargarse al 100%. Para entender mejor la ecuación observe el siguiente ejemplo que se plantea utilizando los mismos datos de los ejemplos anteriores.

$$\text{Cantidad de corriente total} = \frac{(872 \text{ W})(36 \text{ h})}{(70\%)(24 \text{ V})} = 1,868.57 \text{ Ah} \cong 1,869 \text{ Ah}$$

Resultado: Necesitamos una batería de 24V_{CD} a 1,869 Ah, pero suponiendo que solo contamos con baterías comerciales de 24V_{CD} a 100 Ah, entonces tendríamos que conectar **19 baterías** en paralelo para conseguir la cantidad de corriente que necesitamos. Comprobémoslo con la fórmula de tiempo de carga y descarga.

$$t = \frac{I_B}{I_C} = [h] \quad t = \frac{1,868.57 \text{ Ah}}{(872\text{W})/(24 \text{ V})} = \frac{1,868.57 \text{ Ah}}{36.33 \text{ A}} = 51.43 [h]$$

$$\frac{100\%}{70\%} = \frac{51.43 \text{ h}}{t_D} ; t_D = (51.43 \text{ h})(0.7) = 36.001 [h] \cong 36 [h]$$

El último procedimiento nos indica que las baterías trabajan a una capacidad de descarga del 70%, las cuales tendrán una durabilidad de 36 hrs y en voltaje flotante a 51.43 hrs (100%).

1.4.3 Controlador.

Es el cerebro del sistema, es el encargado de modular el nivel de carga de las baterías y rastrear la cantidad de voltaje generado por el panel solar, además de servir como un excelente dispositivo de seguridad contra sobrevoltaje, corto circuito, etc. En sistemas aislados existen 2 tipos de controlador:

- **PWM.** (Modulación por Ancho de Pulso). Son más comunes en sistemas donde el voltaje generado de los paneles sobre pasa ligeramente el voltaje del banco de baterías, lo que permite cargarlas correctamente, este tipo de cargadores puede adaptarse al nivel de carga de la batería lo que hace que el flujo de carga se mantenga constante o pueda parar.
- **MPPT.** (Punto de Máxima Potencia de Tención Generada). A diferencia de otros controladores, este tipo de controlador mejora a lo que se trata de eficiencia, ya que regula y controla no solo la entrada de carga de las baterías, si no también, la tensión generada en la salida por los paneles solares lo que hace que este controlador sea más caro, pero más confiable si se quiere tener un control absoluto sobre el sistema.



Para elegir el controlador correcto que se encargara de estos procesos tomamos como ejemplo los datos previos al ejercicio anterior:

Si la velocidad de carga no debe de sobrepasar el 10%, entonces en una batería de 24V_{CD} a 100 Ah, podemos decir:

$$\frac{I_c}{100Ah} \rightarrow \frac{10\%}{100\%} = 10A ; \frac{I_c}{1,868.57 Ah} \rightarrow \frac{10\%}{100\%} = 186.75Ah \therefore (19 \text{ Baterias})(10A) = 190 Ah$$

Esta es la cantidad de corriente mínima que debe de entregar los paneles y la corriente que admite nuestro controlador para cargar nuestro banco de baterías. Además, podemos corroborar la potencia de nuestro panel solar como se muestra a continuación:

$$(10A) (+10\% 24V_{CD}) = 264 W ; \text{panel recomendado a } 300 W \text{ o } 250 W.$$

1.4.4 Inversor.

Es el dispositivo encargado de transformar el tipo de voltaje de corriente directa V_{CD} en voltaje de corriente alterna V_{CA}, para otorgar el servicio de consumo del usuario que necesita.

Existen dos tipos de inversores; los de **onda senoidal pura** y los de **onda cuasi senoidal modificada**. La primera emula una señal casi idéntica a la que produciría un transformador original, esto debido al uso de la configuración de circuito del **punto de Wien**, en la actualidad es común utilizar microprocesadores que hacen uso de la modulación de ancho de pulso (**PWM**) lo que permite emular con mejor precisión esta señal. En cuanto al **inversor de onda senoidal modificada**, da una aproximación a la forma de señal de onda AC, es decir, envían una señal cuadrada con menos ancho de pulso, lo que hace que estos no sean muy confiables. Solo alimentan dispositivos de baja potencia como secadores, pequeñas estufas, equipos portátiles o focos incandescentes, y no aparatos más robustos y complejos como lavadoras, estufas, refrigeradores, licuadoras, etc. O en dispositivos con circuitos complejos donde se requiere alimentar capacitores e inductores de alta potencia.

Para entender mejor cómo funciona un inversor, fíjese en la **Imagen 1.12²¹** la forma en cómo trabaja este inversor básico es igual para cualquier inversor, su forma de operar es la siguiente:

Comenzamos con una alimentación de **12 V_{CD}** que pasa por el resistor **2k7** para alimentar únicamente a los transistores **2sc1983** a un voltaje óptimo, posteriormente se observa un **tap central** que parte del resistor hacia un par de embobinados, este par serán utilizados para inducir la corriente en la segunda bobina que se encuentra en la parte de la derecha esto es gracias a los transistores **2sc1983** que estarán enviando pulsos de corriente eléctrica en distintas direccio-

21.- Información recuperada del libro Lic. Agustín Relá (2014), "Electrónica y Servicio No.174: Tarjetas invertir en monitores de computadora, Curso de electrónica básica-Lección No.10 --> Inversor simple" Figura 6, Pag.33, Ecatepec de Morelos, Estado de México. ed. México Digital Comunicación S.A. de C.V., No. Pág. 54, ISSN: 1405-8294, Recuperado el 05 de julio de 2023.



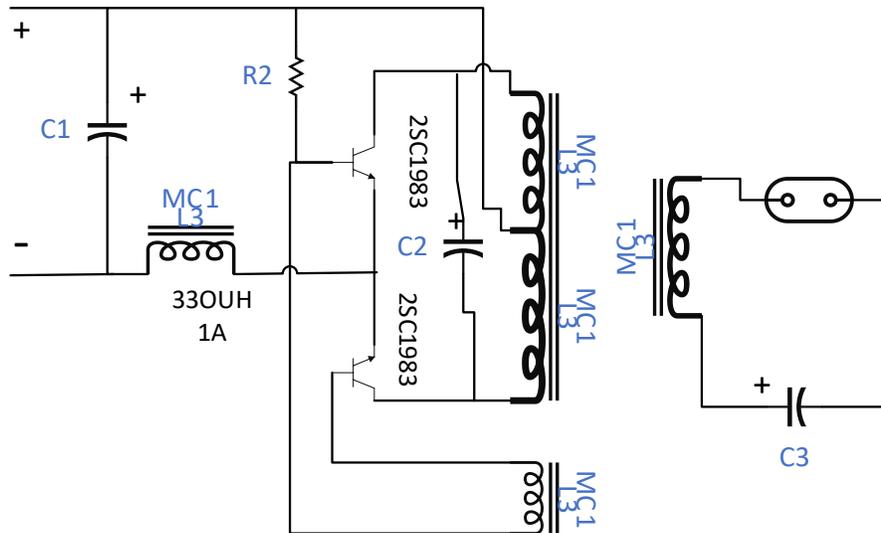


Imagen 1.12: Inversor simétrico, un inversor sencillo de construir.

nes, de esta forma yendo de arriba abajo pueden simular una señal de onda senoidal y engañar a la segunda bobina, sin embargo, para que pueda lograrse este fenómeno de invertir el flujo, se hacen uso de las **bobinas auxiliares 330UH 1 y 2**, esto permite que el primer transistor funcione mientras el segundo transistor este apagado y viceversa.

En cuanto a los capacitores, solo son utilizados para mantener el flujo de carga constante, es decir, mantener alimentado sus respectivos componentes en todo momento, obviamente utilizando **capacitores hidrolíticos** para el circuito de la izquierda, ya que, se está alimentando con corriente continua y del lado de la terminal de salida, un **capacitor cerámico** ya que se está alimentando con corriente alterna.

En conclusión, un inversor es un arreglo del circuito de componentes semiconductores (**transistores o tiristores y condensadores**). Que tienen como finalidad tomar el voltaje de corriente directa (CD) a un suministro de corriente alterna (CA). Funcionan en base a un principio de **switcheo** ocasionado por los mismos tiristores, a este voltaje de oscilación se denomina **Modulación de amplitud de pulso** esto quiere decir que la frecuencia es controlada, pues al ser corriente directa debe generar dos semiciclos uno negativo y otro positivo a través de pulsos de los transistores en cada mitad de periodo, sin embargo, este ancho de voltaje debe estar cuidadosamente calculado para otorgar 127 V_{CA} a 60 Hz, a esto lo llamamos **modulación por ancho de pulso**. En cuanto a los **transistores** deben estar fabricados para resistir altas frecuencias de voltaje, un ejemplo serían los transistores: **Bipolar, MOS-FET o IGBT**²².

22.- Resulta de la combinación de un transistor bipolar y MOS-FET, a diferencia de sus otras contrapartes este transistor trabaja con altos niveles de potencia.

Con respecto a las aplicaciones de la energía solar (fotovoltaica), podemos nombrar el sector industrial²³, las grandes plantas de generación de electricidad por medio de paneles solares, que han sido de gran importancia para la iluminación de servicio público. Hoy es posible adquirir un panel fotovoltaico a bajo costo, cabe mencionar que actualmente son usados en los programas, estaciones y satélites espaciales. Una única desventaja es que el periodo de vida de un panel solar puede oscilar entre 20 a 25 años de vida útil, por lo cual requiere mantenimiento constante.



Imagen 1.13: Los sectores que componen una planta de energía fotovoltaica (imagen obtenida de la página web oficial de IBERDROLAS).

Como has leído en este primer capítulo abarcamos la principal tecnología generadora de energía renovable que existen en la actualidad y es la energía solar, a pesar de ser una de las formas de obtener energía de las maneras más efectivas y que tienen una gran promesa en el futuro en el mundo. ¿Pero qué hay de la energía eólica? como te has dado cuenta no se ha incluido la energía eólica, aun, y esto es debido a que es nuestro el segundo objeto de estudio en esta tesis, inicia en el "Capítulo 2: La energía del viento".

23.- Información recuperada de la página web IBERDROLA®: IBERDROLA® (2022), "¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA?: ¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas? -> Funcionamiento de una planta fotovoltaica", recuperado el 12 de mayo del 2022, de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>.



Capítulo 2: La Energía del Viento.

Permaneciendo en la actualidad como la segunda energía renovable más prometedora dentro de la rama energética, resulta ser la forma más moderna de obtener energía pues, al ser una predecesora de la energía hidráulica -la cual lleva más de un siglo en uso-, es igual de efectiva que si se tratase de la energía mareomotriz o hidroeléctrica. Debido a que su infraestructura como todas las obras en construcción- es costoso al principio, pero con el paso del tiempo presentan resultados satisfactorios, no solo hablando en la capacidad energética que puede traer en el futuro, si no, en el costo de mantenimiento de la central y del servicio de energía eléctrica que resultan ser accesibles y rentables. Sin embargo, los factores que abarcaremos en este capítulo y el siguiente, siendo este el segundo capítulo del documento, enfocado en entender los conceptos de meteorología y un poco de astronomía, esenciales para entender el funcionamiento de las máquinas de aerogeneradores. No sin antes mostrar un antecedente de estas máquinas y, por último, exponer los sistemas de captación de los aerogeneradores.

2.1 Fuentes de energía hidráulica.

Desde tiempos muy remotos, el agua ha sido un elemento indispensable para múltiples tareas domésticas, económicas, alimentarias, etc. En el **siglo III a.C** fue utilizado la rueda hidráulica por los griegos para bombear agua y durante el **siglo XII** era utilizado por los Persas y campesinos en los molinos de trigo, y no fue hasta que se descubrió que podía ser utilizado en el sector energético, gracias a él ingeniero británico **John Smeaton**, en **1880** se construyó la primera instalación que aprovechaba la fuerza del agua que caía desde una cierta altura para accionar una turbina que a su vez hacía girar un alternador que producía la electricidad, para después construir la primera central hidroeléctrica en **Northumberland (Gran Bretaña)** y en **Appleton**, en el **Estado de Wisconsin (Estados Unidos)** en **1882**. Estas primeras centrales debían emplazarse cerca de los centros de consumo debido las dificultades para el transporte efectivo de la electricidad. Con la aparición de la corriente alterna a principios del **siglo XX** parece haberse resuelto el problema.



2.1.1 Energía mareomotriz y undimotriz.

También conocida como **energía de las olas**, resulta una de las cuantas formas de energía renovable más desconocidas del público en general. Pues esta fuente de energía consiste en aprovechar la fuerza de las mareas y las olas del océano provocadas por la fuerza gravitacional del sol y la luna, dichas mareas son llamadas **plenamar** y **bajamar**, por ende, se produce electricidad al mover las hélices del alternador, sobre la estructura reposada. Esta tecnología data de hace casi 60 años. Las desventajas de esta manera de obtener energía es que; se necesitan grandes desniveles de marea para hacer funcionar al generador de energía eléctrica –por desgracia, la mayor parte de las playas del mundo no cuentan con dicho requisito-, causa un daño considerable a los ecosistemas acuáticos, ya que, al ser elevado su precio para su edificación e instalación, resulta perjudicante a las reservas marinas. Por otro lado, las ventajas son; su vida útil es larga (aproximadamente 60 años) y es silenciosa, no genera tanta contaminación general y acústica que puede ser incomodo o hasta perjudicial con el tiempo.

La energía mareomotriz y undimotriz se caracterizan por lo siguiente:

- **Presa de Marea:** Estas presas son como diques que se construyen en la boca de un estuario, bahías o en estrechamientos, cuya función es usar el agua que fluye dentro y fuera de la cuenca de los ríos, el cual es provocado por la diferencia de alturas entre las mareas (véase en la **imagen 2.1¹**). El agua entra a la cámara de aire y mueve la gigantesca hélice horizontal, posteriormente la marea retrocede y la cámara se vuelve a llenar de aire para repetir el proceso.

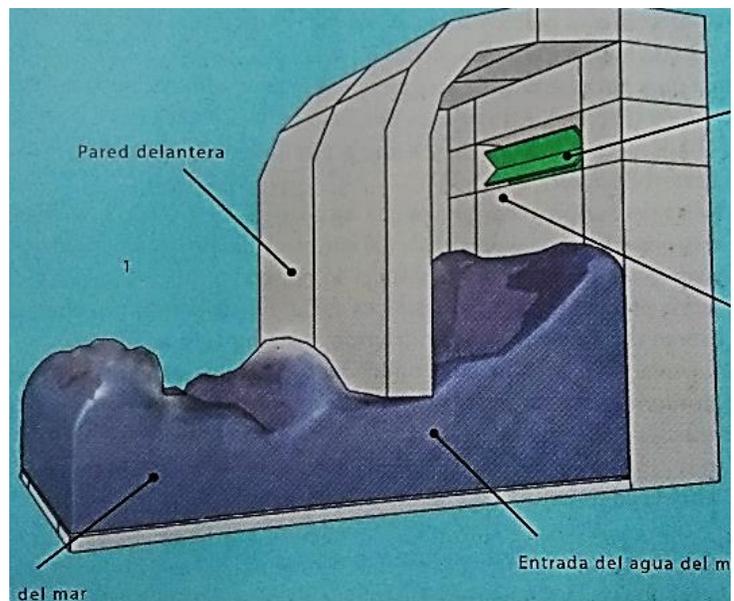


Imagen 2.1: Una presa de marea.

1.- Información recuperada del libro Vicente Madrid Antonio (2009), "ENERGIAS RENOVABLES (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), Capítulo 12: ENERGIA DE LAS OLAS Y LOS MARES --> 12.1 Centrales undimotrices" Figura 12.1, Pag.221, Calle Almansa, 94, 28040-Madrid y Calle Castellano, 37, 28001-Madrid (España), ed. AMV Ediciones, Mundi-Prensa, ISSN-13 (AVM Ediciones): 978-84-96709-10-2, ISSN-13 (Mundi-Prensa): 978-84-8476-358-1, Recuperado el 25 de julio de 2022.

• **Generador de corriente de marina:** Este tipo de tecnología es de clase undimotriz, ya que, usa una hélice de cierto número de palas que capturar la energía cinética de la corriente marina para mover la turbina, la cual están conectada a un alternador el cual genera la energía eléctrica. Para estos generadores son sometidos a fuertes corrientes de agua marina por lo cual deben estar fabricada la estructura de la torre y hélice de materiales fuertes y resistentes, además de ser fijados a una distancia de 1.5 - 3 m de la costa a una profundidad de 40 m, como mínimo (véase en la **imagen 2.2**).

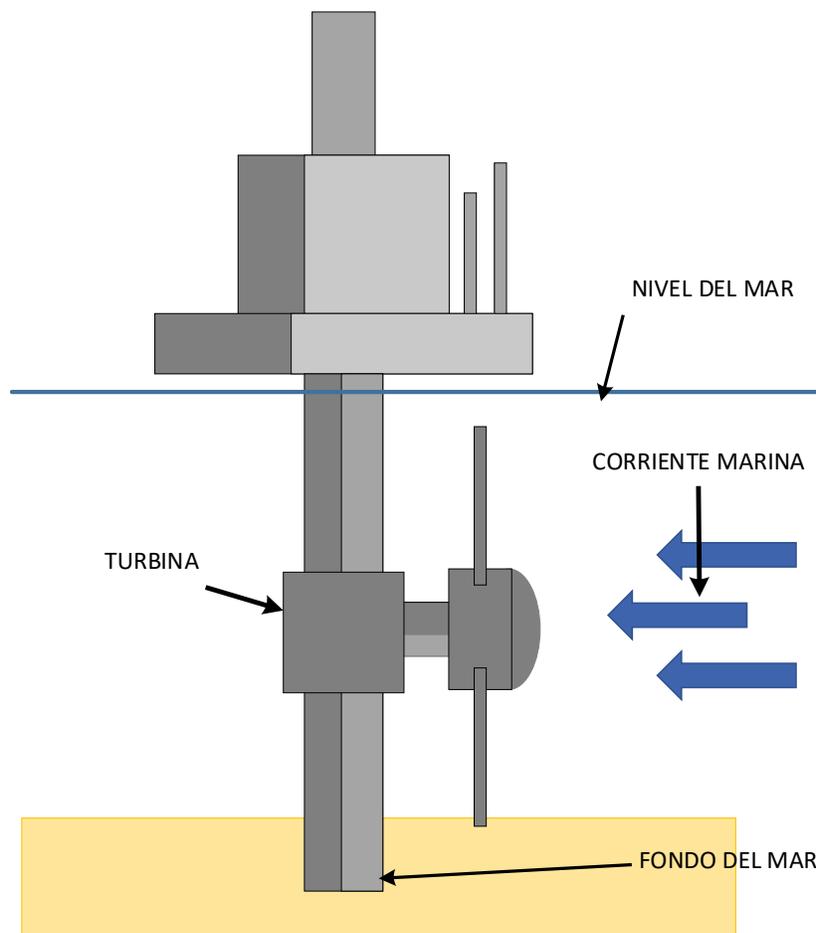


Imagen 2.2: Una presa de marea.

2.- Información recuperada del libro Vicentes Madrid Antonio (2009), "ENERGIAS RENOVABLES (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), Capítulo 12: ENERGIA DE LAS OLAS Y LOS MARES --> 12.6 Turbinas marinas" Figura 12.5, Pag.226, Calle Almansa, 94, 28040-Madrid y Calle Castellano, 37, 28001-Madrid (España), ed. AMV Ediciones, Mundi-Prensa, ISSN-13 (AVM Ediciones): 978-84-96709-10-2, ISSN-13 (Mundi-Prensa): 978-84-8476-358-1, Recuperado el 25 de julio de 2022.

2.1.2 Energía hidroeléctrica.

Una **central hidroeléctrica**, en esencia, aprovecha la energía potencial de una cantidad de agua situada en el cauce de un río para convertirla en energía mecánica (moviendo una turbina) y posteriormente para generar energía eléctrica.

Los componentes esenciales que lo constituyen son:

- **Presa.** Se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse.
- **Sala de máquinas.** Construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación y control de la central.
- **Turbina.** Es el componente encargado de absorber la energía cinética y transformarlo en energía mecánica de una corriente de agua.
- **Alternador (generador).** Tipo de generador eléctrico destinado a transformar la energía mecánica en eléctrica.
- **Conducciones.** Los canales responsables de hacer fluir el agua a través de canales directo a la sala de máquinas donde se encuentra el alternador.

Hay que aclarar que las centrales mareomotrices e hidroeléctricas no son idénticas, siguen el mismo principio de funcionamiento -que es aprovechar el flujo de la densidad del agua para mover la turbina-, lo que los hace distintos es la manera en la cual estas centrales están construidas y la estructura que siguen para aprovechar la energía potencial generada por el agua, es decir, la energía mareomotriz aprovecha las olas marinas, y por otra parte, la energía hidroeléctrica aprovecha el caudal de los ríos.

Las centrales hidroeléctricas pueden clasificarse en base a la capacidad de generación energía eléctrica (medido en Watts), hay que mencionar que no en todos los países del mundo siguen este mismo criterio de clasificación, sin embargo, mencionare la clasificación en base a los datos recolectados de los documentos de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME).

Clasificación	Energía generada en Watts (KW)
<i>Pico centrales</i>	Entre 0.5 - 5 kW.
<i>Micro centrales</i>	Entre 5 - 50 kW.
<i>Minicentrales</i>	Entre 50 - 500 kW.
<i>Pequeñas Centrales hidroeléctricas (PCH)</i>	Entre 500 - 10,000 kW.
<i>Centrales hidroeléctricas (CH)</i>	Mayor a 20 MW (en este caso, centrales de 200 MW y 600 MW).

Tabla 2.1: Clasificación de las centrales hidroeléctricas.



La mayor ventaja de una planta hidroeléctrica es que comúnmente el agua que utilizan para mover las turbinas proviene de reservas de agua captadas de la lluvia, además, de no generar residuos tóxicos o contaminantes al agua. El gran problema de estas centrales es el mismo que se tratase de una central mareomotriz; el coste inicial del proyecto es elevado, esto es debido a que, conlleva a la destrucción de ecosistemas y esto genera una indemnización económica y demás impuestos elevados, además de que el relieve debe de ser adecuado para que se construya estas obras pues, la gravedad y las precipitaciones fluviales son claves para que funcione la central y por último, el clima de la región, no presente daños perjudiciales durante épocas de sequía las que resultan el principal enemigo de las centrales hidroeléctricas.

Cabe mencionar que no todas las centrales son iguales, ya que, a partir de las condiciones ortográficas y climatológicas de la región va en función de la construcción de estas centrales generadoras de electricidad.

Dicho lo anterior, las plantas hidroeléctricas pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

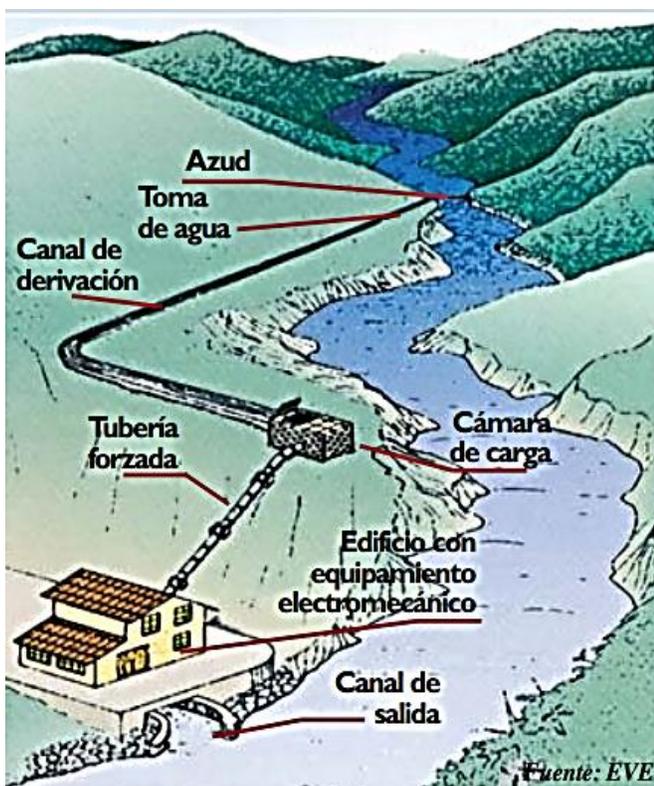


Imagen 2.3: Componentes de una central de agua fluyente.

➤ **Centrales de agua fluyente:** Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y, una vez utilizado, se devuelve al río. El proceso suele iniciarse en un azud o presa de derivación, donde se desvía el agua por un canal hasta una cámara de carga. Desde allí parte para llevar el agua hasta la turbina, situada en el edificio de la central, junto con el generador eléctrico. Luego el agua se devuelve al río a través de un canal de desagüe. (Observe la **Imagen 2.3**³).

3.- Imagen recuperada de Gilbertos Harper Enríquez, Paola Ruiz Enríquez (2017), "Las energías renovables y electricidad para todos, Capítulo 3: LA ENERGIA HIDRAULICA Y LAS HIDROELECTRICAS -> ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE AGULUYENTE" Pág. 201, Primera edición, Balderas 95, México DF, C.P,06040, ed. LIMUSA, S.A de C.A. GRUPO NORIEGA EDITORES, No. Pág. 360, ISBN: 978-607-05-0829-5, Recuperado el 06 de julio de 2022.

↳ **Centrales de pie de presa:** Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros fines (riego, por ejemplo), 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. Normalmente son las que regulan la capacidad del sistema eléctrico y con las que se logra de mejor forma el balance de consumo/producción. (Observe la **imagen 2.4**⁴).

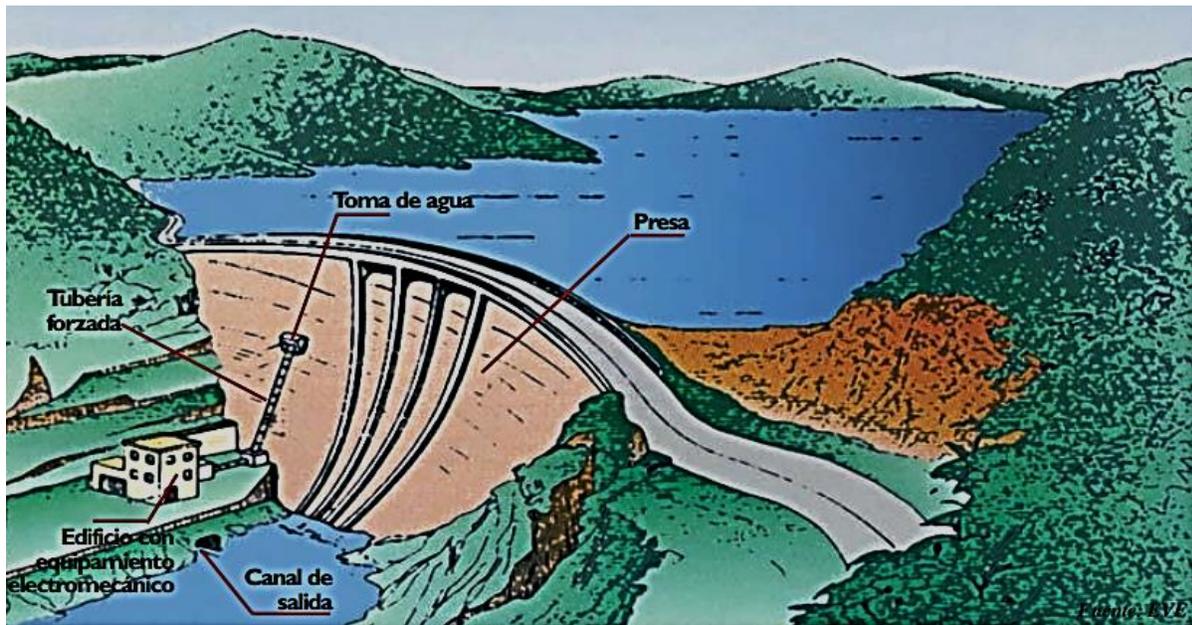


Imagen 2.4: Componentes de una central a pie de presa.

4.- Imagen recuperada de Gilbertos Harper Enríquez, Paola Ruiz Enríquez (2017), "Las energías renovables y electricidad para todos, Capítulo 3: LA ENERGÍA HIDRAULICA Y LAS HIDROELECTRICAS -> ESQUEMA DE UNA CENTRAL A PIE DE PRESA" Pág. 202, Primera edición, Balderas 95, México DF, C.P,06040, ed. LIMUSA, S.A de C.A. GRUPO NORIEGA EDITORES, No. Pág. 360, ISBN: 978-607-05-0829-5, Recuperado el 06 de julio de 2022.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

- **Central de acumulación por bombeo:** Disponen de dos embalses situados a diferente nivel; cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, el agua almacenada en el embalse superior hace girar el rodete de la turbina asociada a un alternador funcionando como una central convencional, generando energía. Después el agua queda almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día en las que la demanda es menor, el agua se bombea al embalse superior para que inicie nuevamente el ciclo productivo. Para ello la central dispone de un grupo de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores, (observe la **imagen 2.5**).

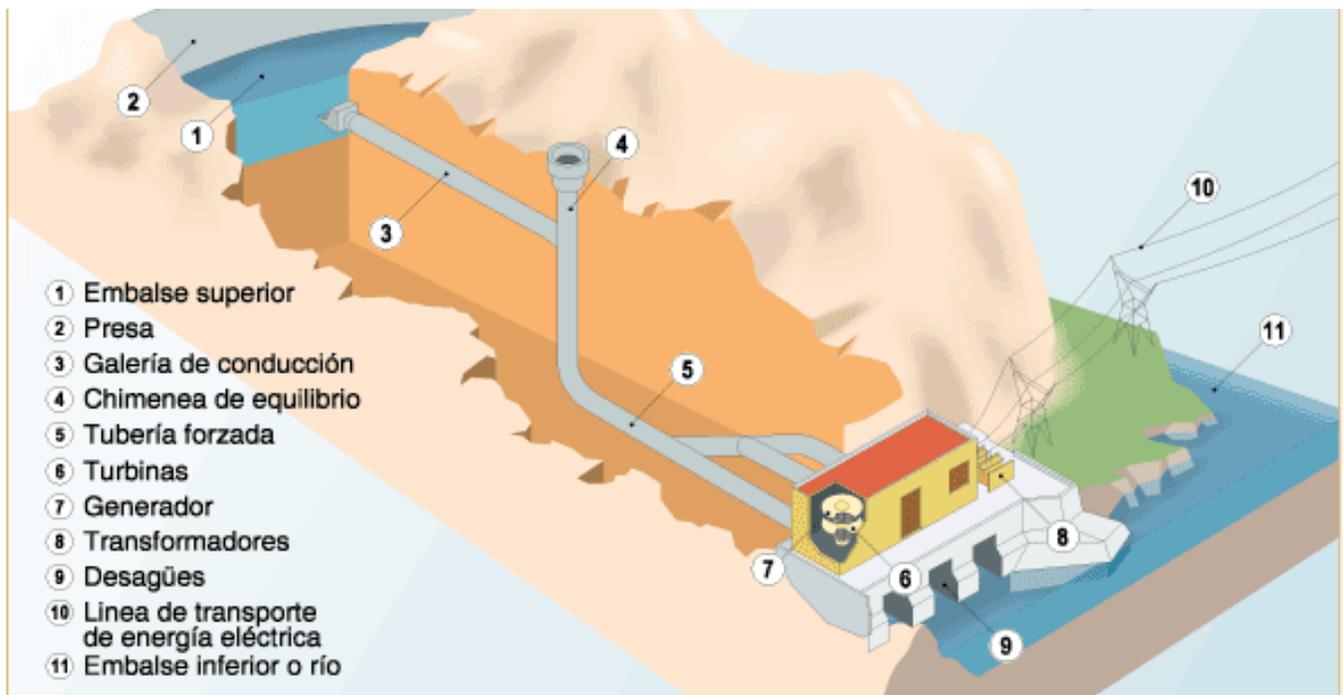


Imagen 2.5: Central de acumulación por bombeo o inversa.

5.- Imagen recuperada de Vicente Madrid Antonio (2019), "ENERGIAS RENOVABLES (Fundamentos, Tecnología y Aplicaciones), Capítulo 8: LA ENERGIA HIDRAULICA -> Figura 8.3: Central hidroeléctrica reversible" Pág. 138, Primera edición, Calle Almanza, 94, 28040-Madrid (España), Calle Castellano, 37, 28001-Madrid (España), ed. AMV EDICIONES y MUNDI-PRENSA, ISBN-13 (AMV Ediciones): 978-84-96709-10-2, ISBN-13 (Mundi-Prensa): 978-84-8476-358-1, Recuperado el 30 de junio de 2022.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

2.2 La historia detrás de la energía eólica.

De antemano sabemos que al principio y hasta ahora, los barcos eran impulsados por velas izadas en los mastines que aprovechaban la gran fuerza de las corrientes de aire de los océanos, desde el **3,000 a.C** este método fue implementado en especial por las primeras civilizaciones que existieron en el oriente del mundo como los egipcios, Romanos y Fenicios para mover sus embarcaciones. Y no fue durante el **200 a.C**, que los persas usaron esta tecnología rudimentaria para construir molinos de grano, para posterior mente ser usados durante la edad media en la industria textil, carpintera y metalúrgica. Sin embargo, en el año **1350** los holandeses mejoraron esta tecnología haciendo uso de ejes horizontales y de cuatro palas (como se observa en la **Imagen 2.6**), el cual sería el modelo básico a seguir para las futuras máquinas.

Hasta el **siglo XX** hacen la aparición de las primeras maquinas equipadas con generadores eléctricos y en la década de los **50's**, da los primeros pasos de una tecnología rudimentaria que apenas podía generar alrededor del **3KW** de potencia energética, países como Dinamarca, EEUU y Francia implementaron las primeras maquinas eólicas especialmente en zonas rurales y campesinas (véase en la **Imagen 2.7**)⁶, sin embargo, esta tecnología no se desarrolló hasta los **70's**, debido a que el combustible por excelencia del momento era el petróleo, por lo cual, no se tuvo la necesidad de buscar fuentes alternativas de combustible, además, la tecnología de **1958** limitaba el avance de desarrollo de la misma, lo cual, hizo perder el interés de los gobiernos de países más desarrollos. Pero después de 22 años, cuando los precios del crudo se dispararon desorbitadamente, obligo a los gobiernos de dichos países, a retomar esta tecnología.

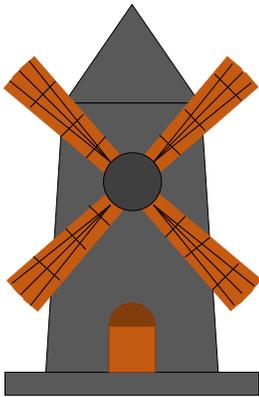


Imagen 2.6 Molino de viento.

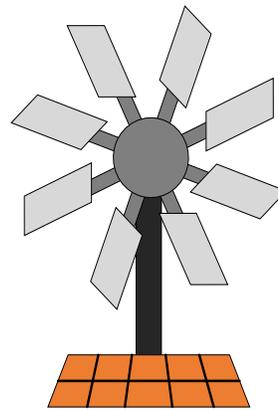
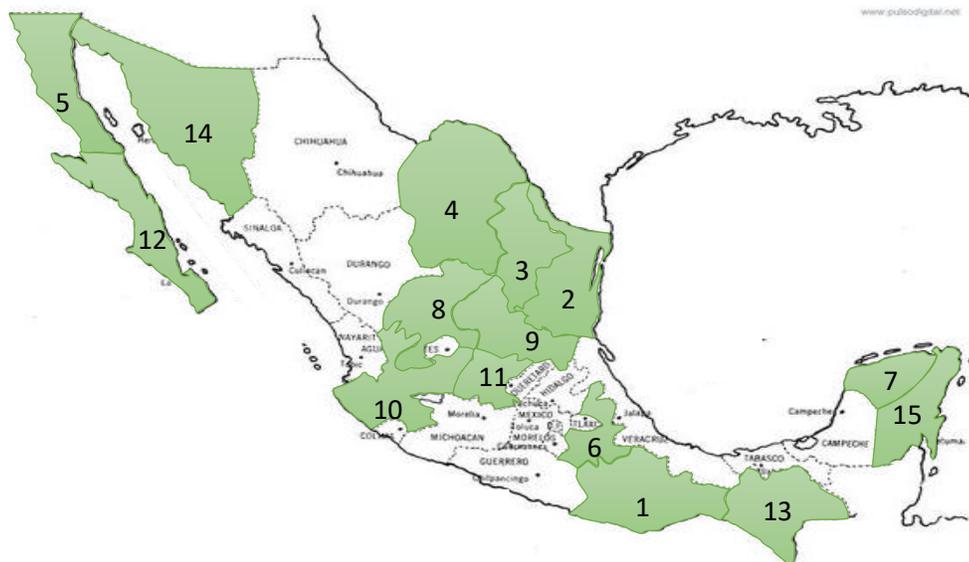


Imagen 2.7 Generador eólico rudimentario, usado durante las décadas de 1930 y 1950.

6.- Julieta C. Schallenberg Rodríguez, Gonzalo Piernavieja Izquierdo, Carlos Hernández Rodríguez, Pedro Unamunzaga Falcón, Ramón García Déniz, Mercedes Díaz Torres, Delia Cabrera Pérez, Gilberto Martel Rodríguez, Javier Pardilla Fariña, Vicente Subiela Ortin (2008), "Energías renovables y eficiencia energética; Bloque 2: Energías renovables", pág. (83), Primera edición, ed. © ITC (Instituto Tecnológico de Canarias), ISBN 978-84-69093-86-3, depósito legal TF 1000-08, recuperado el 18 de julio de 2022, de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

A partir del **2006** los principales países que generaban energía eólica eran Alemania, España, Estados Unidos, India, China y Dinamarca, generando conjuntamente más de 70,000 M Watts, y en la actualidad Taiwán, Canadá, Finlandia, Italia y más países decidieron unirse para adquirir esta tecnología.

En México contamos con la central eólica del **Istmo de Tehuantepec, “la venta II”**, Oaxaca (la más importante hasta ahora), esto es gracias a que la **Comisión Reguladora de Energía (CRE)**, que ha expedido permisos a empresas privadas y la **Comisión Federal de Electricidad (CFE)** al elaborar acuerdos y compromisos con dichas empresas, para el financiamiento y la construcción de una línea de transmisión eléctrica. (Visualiza el **Mapa 2.1** y la **Tabla 2.1**)⁷.



Mapa 2.1: Principales parques eólicos de la república mexicana.

No.	Entidad	Generación energética (Watts)	No.	Entidad	Generación energética (Watts)
1	Oaxaca	2,758 M	9	San Luis Potosí	200 M
2	Tamaulipas	1,725 M	10	Jalisco	179 M
3	Nuevo León	793 M	11	Guanajuato	105 M
4	Coahuila	397 M	12	Baja California Sur	50 M
5	Baja California Norte	303 M	13	Chiapas	49 M
6	Puebla	287 M	14	Sonora	2 M
7	Yucatán	244 M	15	Quintana Roo	1.5 M
8	Zacatecas	230 M			

Tabla 2.2: Cantidad de energía generada en los principales parques eólicos de la república mexicana.

7.- Información obtenida de la página web oficial @amdee: @amdee: Asociación Mexicana de Energía Eólica (2018), “Proyectos →Parques eólicos de México →Mapas eólicos; 2022”, recuperado el 15 de julio de 2022, de <https://amdee.org/mapas-eolicos.html>



Actualmente las empresas que tienen una segura inversión en México en materia de energía renovable son **IBERDROLA**, empresa española de gran influencia, al igual que **Saavi Energía** (una empresa inglesa), las cuales ha invirtiendo en energías renovables más de 20 años en México construyendo parques eólicos y en centrales de energía solar, por otro lado, también contamos con **ENEL Green Power** (empresa italiana con 10 años realizando operaciones en México), **Mitsui Power Américas** (empresa japonesa con su principal cede en la ciudad de Tokio), **Naturgy** (empresa italiana contando con 15 años realizando operaciones en México) y demás empresas que ejercen y promueven las energías verdes como una opción más viable en la región de los estados unidos mexicanos, siendo un ejemplo es la empresa **amdee: Asociación Mexicana de Energía Eólica (2018)** una asociación que colabora con demás empresas para promover e impulsar los proyectos en materia energética renovable en la república mexicana.⁸

2.3 Conceptos básicos.

2.3.1 Características y explicación sobre el origen del viento.

La tierra está regida por dos principales movimientos: **traslación** y **rotación**, el primero es el movimiento que efectúa la tierra de manera elíptica en torno al sol, otorgando el calor que controla el proceso climatológico (las estaciones del año) y el segundo es el movimiento de la tierra en su propio eje lo cual hace que se genere el día y la noche debido a su inclinación de $23^{\circ} 27'$, además de influir en los procesos atmosféricos.

El viento lo podemos definir como el desplazamiento de masas de aire y esta causado por la **presión atmosférica** y por la rotación de la tierra (**fuerza de Coriolis**)⁹, cabe mencionar que el

8.- Véase en "ANEXOS", (pág. 126), obtenido de la página web oficial: @amdee: Asociación Mexicana de Energía Eólica (2018), "Nosotros → Consejo directivo", recuperado el 16 de julio de 2022 de <https://amdee.org/consejo-directivo.html>

9.- Atribuye su nombre al ingeniero y matemático francés Gaspard G. de Coriolis (1792-1843), se conceptualiza como; "el efecto del perceptor en movimiento de rotación aprecia sobre cualquier cuerpo que se mueve con respecto a él, y como resultado nota una desviación lateral de su trayectoria", en resumen, este efecto de rotación solo podemos percibirlo al observar el cielo y, al igual que todo fenómeno natural, tiene efectos posicionales sobre cuerpos que se mueven sobre la superficie de la tierra, tales efectos son:

- Los cuerpos que se desplazan horizontalmente en el hemisferio norte se desvían hacia la derecha independientemente de su rumbo, tanto más cuanto más alejados estén del ecuador, mientras que en el sur se desvían hacia la izquierda.
- Los cuerpos que viajan horizontalmente en la dirección de un paralelo experimentan un aumento aparente de su peso si van rumbo oeste, y una disminución si es hacia el este, tanto mayor cuanto más cerca del ecuador.
- Si el movimiento es en vertical, tenderán a una desviación lateral, aproximada en el ecuador, y que los desvía hacia el este si el movimiento es de caída o hacia el oeste si es de ascensión.

Información obtenida de: García Verdugo Delmas Andrés, Algarabide Marín Cristian, Gil Martínez Guillermo, San José Pérez Miguel Teseo (2012), "LA FUERZA DE CORIOLIS: MITOS Y EVIDENCIAS, LA FUERZA DE CORIOLIS Y EL MOVIMIENTO DE LA TIERRA", recuperado el 10 de agosto del 2022, de http://www.enciga.org/files/boletins/76/FQ_La_fuerza_de_Coriolis.pdf



relieve también juega un papel importante, por ejemplo, en depresiones el viento no sopla con tanta fuerza y en una colina resulta todo lo contrario, las corrientes de aire suelen ir a una mayor velocidad. En valles rodeados de montañas el aire viaja a gran velocidad entre los surcos de las montañas, a este efecto se le denomina “**Efecto túnel**”.

A continuación, la **tabla de Beaufort**, es una tabla internacional que estandariza las velocidades a la cual corre el viento. Comúnmente usado en la marina (observe la **Tabla 2.3**).

No.	Velocidad del viento en (km/h)	Clasificación	Descripción
0	0 a 1	Calma	Despejado, en calma
1	2 a 5	Ventolina	Se presentan pequeñas olas, muy débiles ráfagas de viento
2	6 a 11	Brisa muy débil	Pequeñas crestas vítreas, se mueven las hojas de los arboles
3	12 a 19	Brisa débil	Crestas rompientes, se agitan las hojas y ondulan banderas
4	20 a 28	Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, olas cada vez más grandes
5	29 a 38	Brisa fresca	Olas medianas y largas, movimientos pequeños en árboles
6	39 a 49	Brisa fuerte	Olas grandes, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	50 a 61	Viento fuerte	Los árboles grandes se mueven, mar se encuentra agitado
8	62 a 74	Viento duro	Grandes olas rompientes, se quiebran las copas de los árboles
9	75 a 88	Temporal fuerte (muy duro)	Visibilidad en la mar mermada, es imposible caminar contra el viento
10	89 a 102	Temporal muy duro (temporal)	Olas muy gruesas, daños considerables en árboles y edificios
11	103 a 117	Temporal muy duro (borrasca)	Olas excepcionalmente grandes y visibilidad reducida en el mar, desprendimiento de árboles y tejados
12	Mayor a 118	Temporal huracanado (huracán)	Tormenta total, la visibilidad en la mar nula, daños colaterales en muelles, costas

Tabla 2.3: Escala de Beaufort, una tabla de estándares para medir la fuerza del viento de manera internacional.

Como ya hemos comentado, la presión atmosférica es fundamental, pues es la que influye en la dirección y la energía o fuerza con la que corre el viento mientras que el sol calienta la tierra y, por consiguiente, eleva la temperatura de la tierra firme. Además de contar como una fuente de oxígeno y un **anhidrido**¹⁰. Para medir la presión de nuestra atmosfera es común usar un

10.- Termino poco usual para referirse al dióxido de carbono, en este caso óxidos ácidos u óxidos no metálicos.

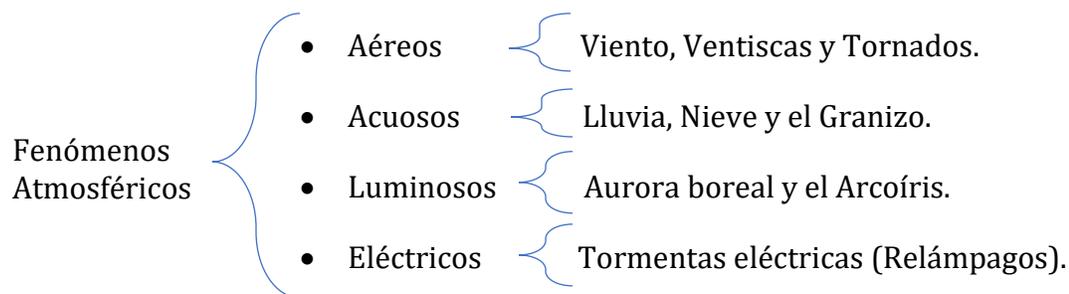


Barómetro¹¹ pues a medida que uno asciende su altura, la presión atmosférica disminuye y esto Obedece a una relación de 1mm de mercurio por cada 11m de altura, debido al principio de la **ley general de los gases ideales**¹². Cabe mencionar que en capas bajas de la atmosfera terrestre ocurre un descendimiento de presión rápida y en capas altas esto sucede de manera lenta, lo cual, indica que estas lecturas no ocurren de manera geométrica, esto es debido a que, no existe una frontera o altura determinada que nos indique donde termina de manera precisa la atmosfera.

Como dato final, la presión atmosférica no será la misma en todas las partes del mundo y esto no es solo por la altura o la temperatura, la humedad juega un papel muy importante, un ejemplo claro, es el vapor de agua que es menos denso que el aire y por lo cual disminuirá aún más la presión del ambiente donde estemos situado.

2.3.2 Meteorología básica.

Un campo importante a considerar es la **meteorología**. Primero que nada, es el estudio de los fenómenos que ocurren dentro de la atmosfera terrestre al igual que las causas que generan el estado del tiempo. Al igual que cualquier campo de investigación existente, este se rige por distintos tipos de fenómenos atmosféricos (observe el **cuadro sinóptico 2.1**).



Cuadro sinóptico 2.1: Principales fenómenos atmosféricos o meteoros.

El estudio de la atmosfera se fragmenta en diferentes escalas para su mejor comprensión y estudio, que van en función de la altura y radio de lectura de datos:

- **Micro-Escala:** Los datos son recopilados a una altura mínima de 200m y en zonas

11.- Instrumento perfeccionado por Torricelli (1608-1647), físico y matemático italiano, el cual consistía en medir la cantidad de masa heterogénea del aire usando un tubo de vidrio sellado de un extremo y abierto del otro y a medida que se aumentaba presión del entorno este derramaba el mercurio dentro de otro recipiente, esto fue confirmado por Blaise Pascal (1623-1662) al subir una montaña para confirmar estas teorías. Es por esta razón que la medida de referencia por excelencia en el mundo para medir la presión atmosférica es de 1atm = 760mm de mercurio con respecto al nivel del mar.

12.- Estipula que la densidad de un gas está sometida a una presión determinada.



comprendidas entre 5 y 10 Km de radio, para el diseño de aerogeneradores y la forma del aprovechamiento energético eólico estos resultan muy útiles debido a que, al estar en rozamiento de la superficie terrestre, pero amenazado, por los obstáculos del relieve.

- **Meso-escala:** Se estudian los vientos generados en la superficie terrestre en dimensiones radiales comprendidas entre 10 y 100 Km y a una altura mínima de 1 a 10 Km, en esta escala podemos clasificar dos clases de vientos:

- **Vientos Estacionales:** Son vientos que varían en función de las estaciones del año, esto es debido a que, en verano los continentes presentan vientos más fríos procedentes del mar y en invierno hay vientos más fríos procedentes de los continentes que van directo a los océanos.

- **Vientos Locales:** Interviene la orografía¹³ y el relieve en la conducción de masas de aire. Se producen en proximidades de la tierra, a baja altura y pueden llegar a 50 Km de superficie en horizontal dentro y fuera de tierra firme.

Aquí podemos encontrar dos tipos de brisas locales:

- ❖ **Brisas marinas:** El aire caliente producido durante el día en el mar se dirige directo hacia la tierra firme donde el aire caliente es remplazado y es elevado para ser redirigido al mar y remplazar el aire frío del mismo.

- ❖ **Brisas terrestres:** Ocurre durante la noche y resulta ser un proceso inverso al anterior, el aire frío desciende sobre la tierra y se dirige hacia el mar y el aire caliente se eleva y se dirige a la tierra.

- **Macro-Escala:** Se estudian vientos que tienen lugar en zonas en orden de los 1,000 Km en horizontal radial, denominados también "vientos globales o terráqueos" son los que determinan las características del tiempo (clima).

En esta escala pueden situarse dos tipos de vientos, por la fuerza de Coriolis:

- **Vientos anticiclónicos (anticlones, altas presiones):** Son vientos que se producen en zonas de alta presión, hace que el hemisferio norte el aire se mueva en dirección a las manecillas del reloj alejándose de su centro.

- **Vientos ciclónicos (borrascas, bajas presiones):** Se producen en zonas de baja presión el aire se mueve en dirección contraria a las manecillas del reloj acercándose a su centro.

Ambos vientos forman el llamado **viento geostrófico**, se produce en una distancia de 1Km y hasta los 10Km de altura. Cabe mencionar que los vientos van de norte a sur en zonas de baja presión son denominados vientos "**vientos alisios**", estos vientos se comprenden de este a oeste debido al movimiento de rotación del eje de la Tierra esto

13.- La rama de la geografía que estudia y describe los relieves y elevaciones terrestres, en este caso montañas, mesetas, etc.



por efecto de la fuerza de Coriolis.

Como ya hemos mencionado anteriormente la temperatura juega un papel importante al igual que los dos movimientos astronómicos que realiza el planeta tierra y con ello obtenemos **Zonas climatológicas**, estas son causadas por la inclinación del eje terrestre y a la excentricidad de la órbita; la primera causa es con respecto al movimiento del eje pues, la iluminación o radiación solar no es la misma en todas las zonas, lo que genera diferentes temperaturas en distintas partes del planeta. En cuanto al movimiento de traslación, es responsable de dos fenómenos astronómicos, el primero son los **solsticios**; que ocurre dos veces al año -en junio y diciembre- y marca el inicio de una nueva estación, en este caso, el fin de verano y el inicio del invierno y el **equinoccio**; ocurre debido a que los hemisferios de la tierra (norte y sur) reciben la misma cantidad de luz solar, es decir, la noche y el día duran 12 horas, este fenómeno es común entre los meses de marzo y septiembre.

Por esta razón es que en un hemisferio de la tierra es verano mientras que en el otro es invierno y lo mismo ocurre cuando es primavera y otoño. (Observe la **Imagen 2.8**)¹⁴.

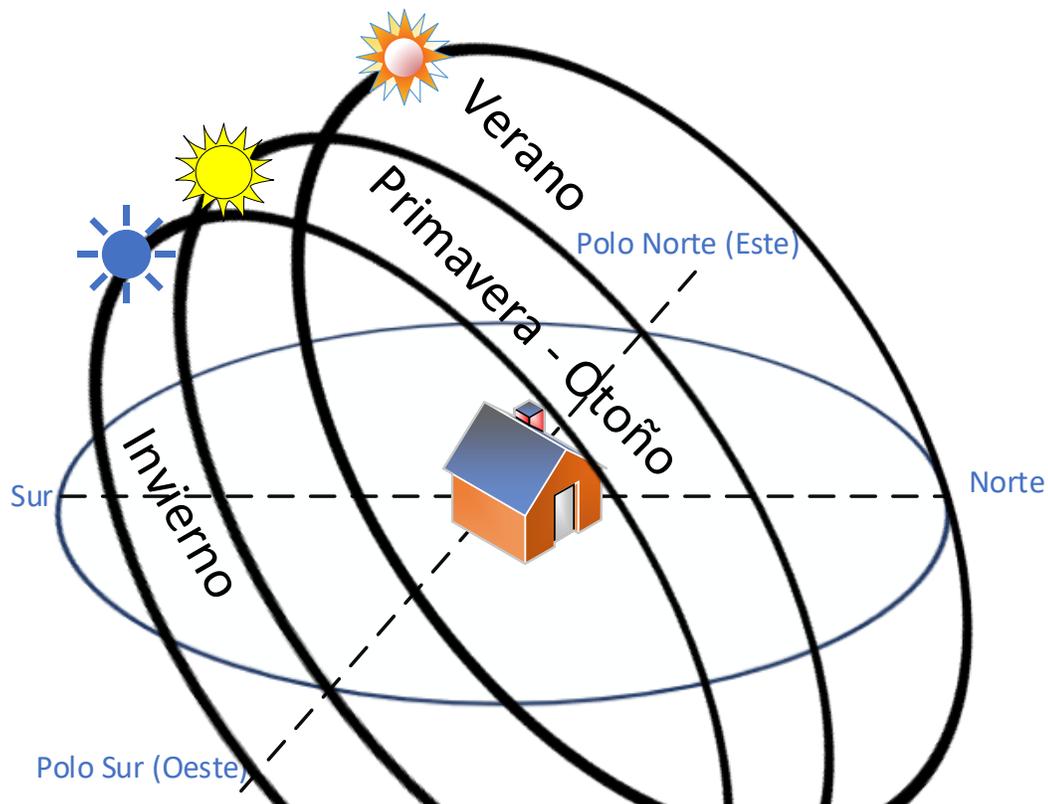


Imagen 2.8: Ilustración que explica las estaciones del año con respecto al eje terrestre.

14.- Imágenes obtenidas de J. M. Escudero López (2003), "Manual de energía eólica; Colección de energías renovables", 2ª Edición corregida, Pagina (44), Rio Panuco, 141-Col. Cuauhtémoc 06500 México, (Lugar natal Madrid-España), Ed. MundiPrensa (MP); No. De Paginas 475, ISBN: 978-84-8476-363-5, Deposito legal: M-28.378-2011 J. M. Escudero López, recuperado el 29 de agosto de 2022.

La diferencia de temperaturas ocasionadas por el movimiento del eje terrestre (inclinación del eje terrestre) y el movimiento de traslación del planeta tierra (la excentricidad de la órbita), contando también con la forma de la tierra, hace que la tierra se divida su habitad en cinco **zonas climatológicas principales**: una zona tórrida, dos zonas templadas y dos zonas glaciales.

- ⊕ **Zonas tórridas**: Comprendida entre los dos trópicos (paralelos de 23° 27' de latitud terrestre), zonas que registran temperaturas altas debido a que reciben rayos del sol de manera perpendicular.
- ⊕ **Zonas templadas**: Situadas a los extremos de las zonas tórridas (entre los trópicos de latitud 23° 27' y círculos polares a 66° 33' de norte y sur respectivamente), experimentan altas temperaturas durante la mitad del año y la otra mitad hay lluvias y frío, debido a que el sol se encuentra abajo del horizonte.
- ⊕ **Zonas glaciales**: Se localizan en los casquetes polares a 66° 33' de norte y sur, hay hielos permanentes (frío intenso) debido a la evasión del sol en el horizonte, las noches invernales pueden durar hasta seis meses.

Como has notado estas zonas climatológicas van en función de la cantidad de luz solar recibida por la posición de rotación (altitud) de la tierra, sin embargo, se tiene una mayor fiabilidad a la clasificación de cuatro grupos de clima que van en función de la temperatura, como se observa en la **Tabla 2.4**:

Clasificación	Temperatura	Descripción
Cálidos	Mayor a 21° C	- Monzónico: Verano lluvioso e invierno casi seco. - Subtropical (Mediterráneo): Invierno suave y verano caluroso. - Templado-Húmedo (Oceánico): Con un clima subtropical, pero, propio de las costas del Atlántico.
Templados	10° - 20° C	- Continental: Usualmente dentro de los continentes con veranos muy calurosos e inviernos muy fríos. - Continental frío: Con inviernos muy largos con temperaturas menores a los 6° C durante más de seis meses, con veranos cortos y poco cálidos.
Fríos	Inferior de 10° C	- Polar: No hay verano, común en los casquetes polares con temperaturas muy bajas todo el año.
Desérticos	Mayor a 21° C	- Se caracterizan por su gran sequedad (oasis o escasos mantos acuíferos) y sus alteraciones de temperatura, puede contar con pequeños climas en función de la situación geográfica de diversas regiones, común en estepas y desiertos.

Tabla 2.4: Clasificación del relieve en función de la temperatura.



2.3.3 ¿Cómo interpretamos un mapa meteorológico?

La atmosfera es parte fundamental que mantiene los gases importantes en la capa más baja de la tierra, manteniendo en su mayoría de materia en los primeros 30 Km altura. Debido a que estos elementos se encuentran suspendidos en el aire y dispersos en el mismo podemos clasificar estos gases como **Permanentes**¹⁵ y **Variables**¹⁶.

Para calcular la densidad del aire seco, hacemos uso de la ecuación de **gases ideales**:

$$\rho = \frac{p}{(R')(T)} \quad (2.1)$$

Donde:

ρ = Densidad (Kg/m^3).

p = Presión absoluta medida en **Pascales (Pa)**.

T = Temperatura medido en grados Kelvin (K).

R = Calor especifico del vapor de agua en aire seco (**287.05 J/(KgK)**).

Para entender mejor como actúan los gases en la atmosfera debemos mencionar las capas que componen a la atmosfera terrestre (observa la **Tabla 2.5**).

Homosfera	
Troposfera	- La capa más inferior de la atmosfera, aquí se desarrollan los fenómenos meteorológicos, su altura varía entre los 6 u 8km, la temperatura en esta capa puede variar en función del gradiente de térmico, es decir, la temperatura puede volverse más fría cuanto más se hacienda.
Estratosfera	- Se encuentra aproximadamente a una altura de 8 a 30 km; aquí se lleva a cabo la inversión térmica y la absorción de radiación ultravioleta por parte del ozono, por lo cual existirá un considerable incremento de temperatura.
Mesosfera	- Situado a unos 80 - 90 km de altura, tiende a tener una brusca disminución de temperatura llegando hasta los 90°C bajo cero.
Heterosfera	
Termosfera	- La temperatura aumenta de manera brusca (alrededor de los 227 a 1727°C en la parte superior) en función de la cantidad de radiación solar que pueda llegar a esta capa.
Metasfera	- En este punto la altura alcanza los 500 km y puede decirse que es donde empieza a perder la fuerza magnética o de atracción de la tierra (gravedad).
Exosfera: Es la pausa entre la entrada a la atmosfera terrestre y el espacio exterior, los gases son de baja densidad (enrarecidos) y existe el riesgo de exposición a la radiactividad.	

Tabla 2.5: Las capas que conforman la atmosfera terrestre.

15.- Se encuentran más concentrados por su simplicidad, ejemplos es el oxígeno, el nitrógeno, hidrogeno y los gases nobles.
16.- Debido a que no son tan comunes se pueden encontrar pocas partículas concentradas, tal es el caso del Ozono, vapor de agua.



Otras capas que pueden considerarse son la **Ionosfera**; una región comprendida entre los 60 – 600 km de altura donde existe radioactividad cósmica (rayos UV, X, etc.) y la **Ozonosfera** localizado entre 15 – 40 km de altura donde encontramos una gran cantidad de ozono, útil para absorber la radiación solar y estos rayos no lleguen directamente a la tierra.

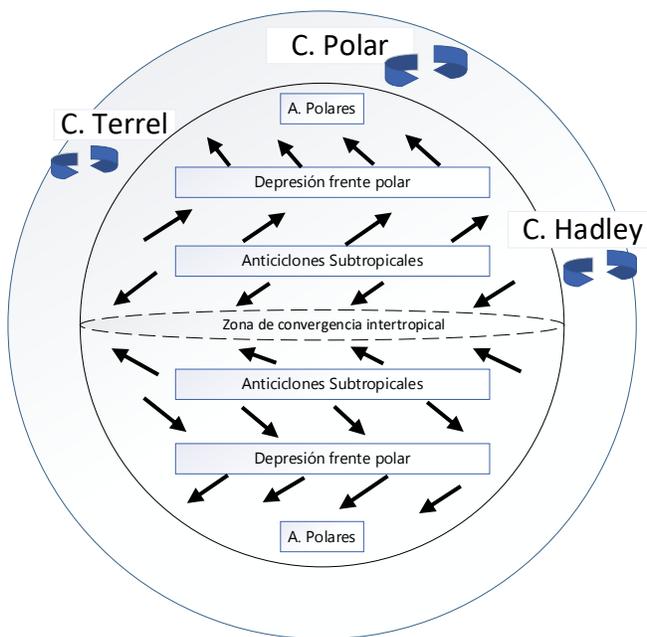
La razón existente entre la temperatura y la altura se le denomina **Gradiente de térmico**, esto quiere decir que la temperatura del aire incrementará o disminuirá abruptamente a medida que ascendamos en la atmosfera y este se comprende con la siguiente expresión:

$$\frac{dT}{dH} = \frac{^{\circ}C}{Km} \quad (2.2)$$

Donde:

dT = Temperatura ($^{\circ}C$).

dH = Altura ascendida en la atmosfera (Km).



Esta magnitud vectorial, es muy útil para calcular la presión dada en cada capa de la atmosfera. A demás de contar con dicha variante. Podemos entender, con mayor facilidad, los mapas meteorológicos si conocemos los tres principales ciclos existentes en cada hemisferio del Tierra. (Observe la **Imagen 2.9**¹⁷ donde se explica ilustrativamente como interactúan y se comportan estas corrientes de viento).

- **C. Hadley:** Se originan **vientos alisios**¹⁸ que van del este hacia el Ecuador donde se mantienen sin cambiar su curso, se originan debido a un incremento de temperatura en las capas más bajas de la troposfera. Por ello son zonas con un clima calurosos y húmedos.

- **C. Terrel:** Son zonas de altas presiones, las corrientes de aire son tranquilas, por ello

17.- Imagen obtenida del libro: Miguel Villarrubia López (2013), "Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 2: FÍSICA DE LA ATMOSFERA: EL VIENTO; 2.5 Circulación atmosférica general", página 34- Figura 2.4. Esquema de la circulación general de la atmosfera, Primera Edición, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., ed. Alfa Omega Grupo Editor México, recuperado el 12 de marzo de 2023.

18.- Se les denomina así a las corrientes de viento que se generan en el ecuador, producto del choque de corrientes de aire del hemisferio norte y hemisferio sur, que golpean en esa zona central intertropical, es decir, en el ecuador.

las precipitaciones suceden raras vez. La corriente de aire dominante puede variar en vientos alisios o vientos que vienen desde el oeste. Cuando este ciclo se encuentra con el ciclo polar las corrientes de aire frío y caliente chocan y hace que aumente la nubosidad en estas zonas lo que lleva a obtener precipitaciones concurrentes.

- **C. Polar:** Sigue perteneciendo a zonas de alta presión, con la diferencia de que la corriente de aire va desde el este hacia zonas de baja presión.

Los mapas meteorológicos no son más que la representación gráfica de la acumulación de variables obtenidas del resultado de medir la velocidad del viento, temperatura, radiación solar, presión atmosférica, etc. Siendo la presión atmosférica la que resalta más sobre la superficie de la tierra, a estas líneas que unen puntos entre si los denominamos **mapas de Isobaras**; estas líneas nos permiten determinar la dirección, procedencia y la intensidad de las corrientes del viento lo que permite determinar si el aire es frío del polo, cálido del desierto, húmedo del océano o seco de tierra firme de los continentes.

Las **isobaras** pueden ser afectadas por distintos vectores que son ingobernables y no pueden determinarse fácilmente dentro de Troposfera, observe la **Imagen 2.10¹⁹**:

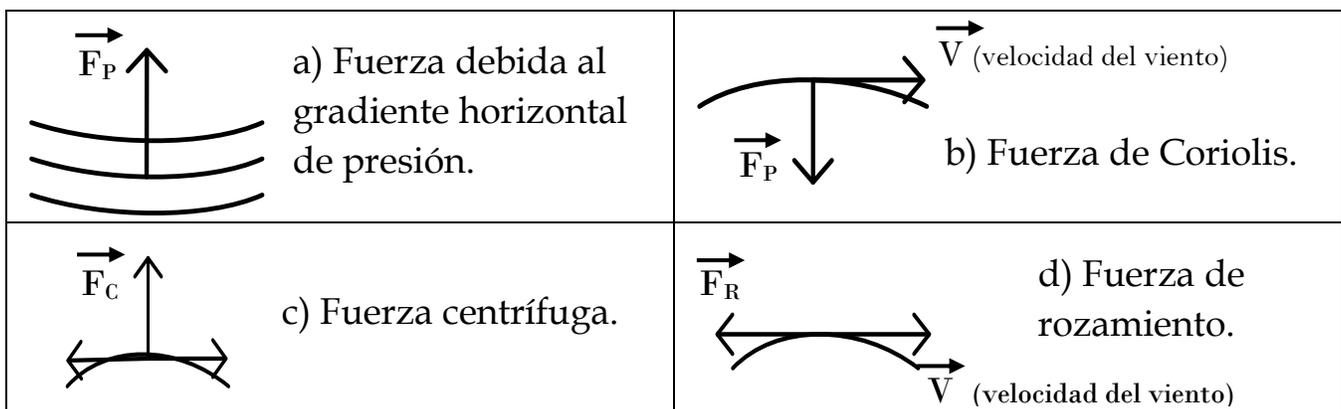


Imagen 2.10: Esquema que explica las fuerzas que influyen sobre la dirección y fuerza del viento.

- **Fuerza de gradiente horizontal de presión (F_p):** El vector que va de manera perpendicular a las isobaras, entre más altura, menor presión atmosférica.
- **Fuerza Coriolis (F_d):** La fuerza de desviación que sufren ambos hemisferios debido al resultado de la rotación de la tierra que va de oeste a este.
- **Fuerza Centrífuga (F_c):** Vector perpendicular del resultado de la curvatura de la trayectoria de las isobaras, que giran sobre su mismo eje.

19.- Imagen obtenida del libro: Miguel Villarrubia López (2013) "Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 2: FÍSICA DE LA ATMOSFERA: EL VIENTO, 2.6 El viento", página 34- Figura 2.10. Fuerzas que contribuyen a la velocidad del viento, Primera Edición, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., ed. Primera Edición Alfa Omega Grupo Editor México, recuperado el 12 de marzo de 2023.

- **Fuerza de rozamiento (F_r):** Esta magnitud involucra el rozamiento del viento con la superficie terrestre y los obstáculos, como: montañas, edificios, mesetas, etc.

En el mapa de isobaras existe una zona en la que la presión es más alta que a su alrededor, y lo señalamos con una letra "A" (H) y decimos que hay un **anticiclón**, lo que quiere decir, que estabilidad atmosférica será alta, puesto que el movimiento del aire es flojo, evitando la formación de nubosidad lo que hace que difícilmente llueva, pero, si la presión empieza a disminuir, lo determinamos con la letra "B" (L) y decimos que hay una zona de baja presión. En este caso habrá mayor inestabilidad, por lo que hay más probabilidad de obtener lluvia. Cuando una zona de baja presión mantiene un tiempo muy lluvioso y con viento intenso podemos decir que es una **borrasca**.

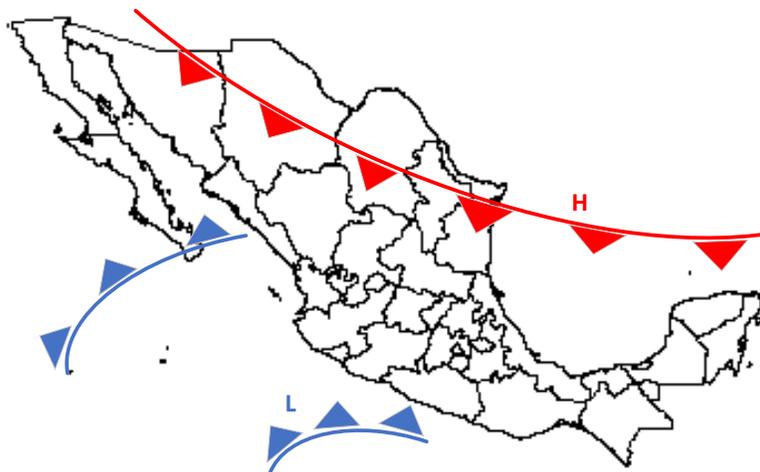


Imagen 2.11: Mapa de Isobaras de la República Mexicana.

Existen vientos que denominamos como **frentes**. Un frente es una zona de gran inestabilidad atmosférica, y esta inestabilidad genera la separación entre dos masas de aire con distintas temperaturas. Si la masa fría llega a una zona en la que la temperatura es mayor, podemos decir que se forma un **frente frío**, en estos casos, suelen producirse lluvia o nieve (granizo). Por el contrario, si la masa es de mayor temperatura que la zona que invade, se formará un **frente cálido** por lo que es probable que se produzca nubosidad, pero las temperaturas serán más suaves y puede existir la posibilidad de lluvias débiles. Estos pueden tener dos maneras de interpretarse:

- Mediante pequeños triángulos (frente frío).
- Semicírculos (frente cálido).

Y estas líneas de Isobaras, se representan como una línea que se prolonga a lo largo de la zona marcada en el mapa.

2.4 Sistema de orientación.

Una herramienta muy útil y que es indispensable para poder interpretar la dirección a la que corre el viento es la muy conocida **Rosa de los Vientos**, que es un círculo que marca la orientación o el rumbo del viento dominante que se marca en el horizonte. Generalmente solo conocemos las cuatro orientaciones básicas (Norte, Sur, Este; "Levante" y Oeste; "Poniente"), sin embargo, rara vez tomamos en cuenta las demás orientaciones que son las **Laterales** (separados por un ángulo de 45°) y las **Colaterales** (separadas por un ángulo de 22.5°), como se observa la **Imagen 2.12²⁰** y **Tabla 2.6** para entender las orientaciones ya mencionadas:

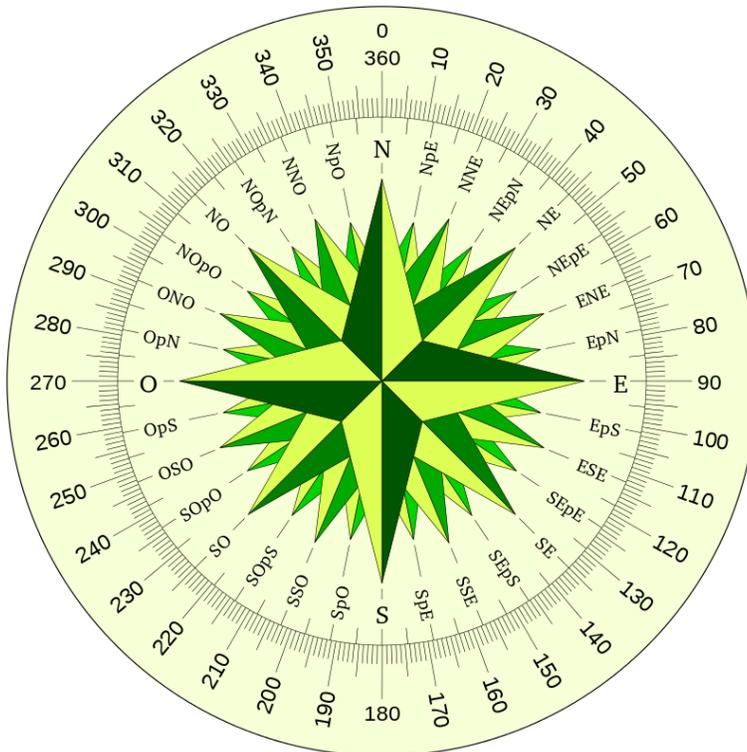


Imagen 2.12: Rosa de los Vientos.

NE	Noreste	45°	Laterales
SE	Sureste	135°	
SO	Suroeste	225°	
NO	Noroeste	315°	
NNE	Nornoreste	22.5°	Colaterales
ENE	Estenoreste	67.5°	
ESE	Estesudeste	112.5°	
SSE	Sursureste	157.5°	
SSO	Sursuroeste	202.5°	
OSO	Oeste suroeste	247.5°	
ONO	Oeste noroeste	292.5°	
NNO	Nornoroeste	337.5°	

Tabla 2.6: Orientaciones o rumbos laterales y colaterales.

Debido a que la velocidad y la dirección son claves para comprender y recopilar información en un aerogenerador los instrumentos clave para obtener medidas adecuadas son el **anemómetro** siendo el modelo por excelencia el tipo **mecánico** o de **cazoleta (Papillon-Robinson)**, son parecidas a cucharas de helado que están separadas una de otra por un ángulo de 120° que están sujetos a un mismo eje de rotación el cual a su vez se encuentra acoplado a un **transductor** dentro del encapsulado, este transductor funciona de la siguiente manera; Dentro hay un pequeño generador eléctrico que trasmite una cantidad de voltaje en función de la velocidad del eje, un conjunto de imán y un contacto eléctrico estacionario influenciado por el imán, la apertura y cierre de este contacto, posteriormente es codificado en información digital mostrando la velocidad o energía del viento.

20.- Imagen obtenida de la página web oficial Neptuno; Escuela Náutica (2012 - 2021), imagen No. 2 (800px-Rosa De Los Vientos 71), recuperado el 21 de septiembre de 2022 de [https://www.neptuno.es/rosa-de-los-vientos/?gm11\[album__in\]=11#!](https://www.neptuno.es/rosa-de-los-vientos/?gm11[album__in]=11#!)

Hay que considerar que existen desventajas al utilizar esta clase de anemómetros, pues al estar al intemperie, son susceptibles a los cambios bruscos de temperatura, por ejemplo, las cazoletas pueden generar cristales de hielo (dependiendo del relieve o estación del año), por lo cual se necesita de un sistema de calefacción el cual puede perjudicar los muestreos y la información visualizada, a pesar de esto, no representa un problema tan grande, por ello, al realizar el labor de mantenimiento, los técnicos utilizan un **anemómetro digital de mano**, ya que una vez arriba, hay que corroborar los datos obtenidos.

En cuanto a la **veleta** determina la dirección dominante de la corriente de aire, con el fin de orientar el rotor y este tenga una gran eficiencia al momento de captar la energía cinética (observar en la **Imagen 2.13²¹**) y puede nombrarse de dos maneras en función de donde sean colocados:

- **Barlovento**, se posiciona delante de las palas (no muy cerca del rotor).
- **Sotavento**, se coloca en la cola del aerogenerador (lo más recomendado).

se recomienda que estos dos instrumentos estén a una altura aproximada de 10 a 20 m a partir del suelo.

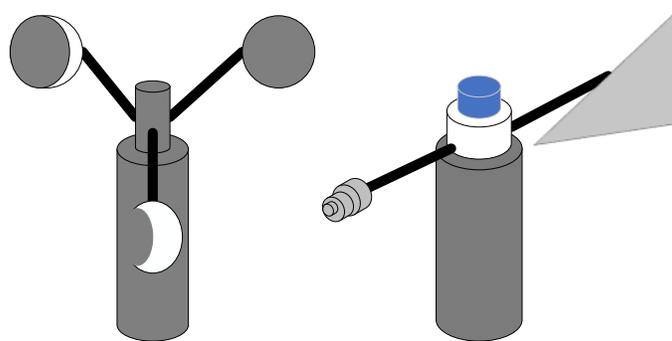


Imagen 2.13: Anemómetro y veleta.

Cabe mencionar que la veleta es efectiva en aerogeneradores de eje horizontal de pequeña potencia no como en los aerogeneradores de eje vertical que no dependen de este instrumento, donde su diseño hace innecesario un instrumento de orientación. Pensando en aerogeneradores horizontales de mediana o gran potencia estos tienen que moverse con el viento gracias a un **sistema electromecánico de orientación**, gracias a estos sensores eléctricos de alta sensibilidad, la información es más precisa y exacta para mover un equipo tan pesado. Trabaja bajo un sistema de grados sexa-decimales siguiendo el patrón de la rosa de los vientos en 16 segmentos exactos, posteriormente esta información obtenida de la veleta electrónica, mueve un par de motores de gran potencia (actuadores) para dar una nueva orientación, el componente que mueve todo el equipo eólico lo denominamos **Corona de Orientación**, cuenta con un codificador que le permite interpretar la información dada por la veleta que se localiza en el

21.- Imagen obtenida de la página web 123RF, © Inmagine Lab Pte. Ltd., gefufna (2022). imagen No. 41554698, recuperado el 04 de agosto de 2022 de https://es.123rf.com/photo_41554698_anem%C3%B3metro-y-veleta-en-el-cielo-azul-medici%C3%B3n-de-la-velocidad-y-direcci%C3%B3n-del-viento-el-anem%C3%B3metro-de-cazoletas-.html

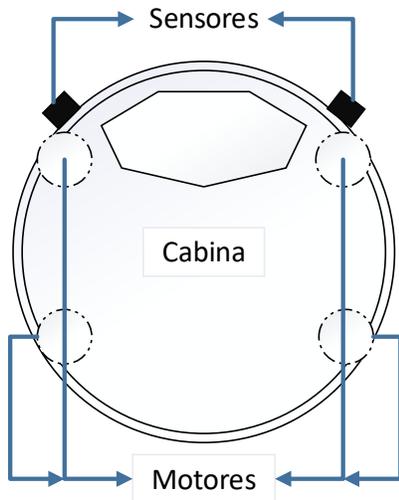


Imagen 2.14: Vista transversal de la corona de orientación.

centro de la torre de sustentación, es una corona dentada con una entrada para que el personal de mantenimiento pueda acceder directo a la góndola, cuenta con motores para realizar la función indicada (pueden ser eléctricos o hidráulicos), su velocidad es lenta debido a los **reductores**, que reducen la vibración del motor y dos sensores para clavar la corona y así permita el paso de la escalera a la góndola. (Observa la **Imagen 2.14**²²), estos últimos también son esenciales en un sistema de frenado cuando los vientos amenazan con el soporte, cuando se alcanza la velocidad señalada, el rotor alcanza una posición denominada “**de bandera**”.

Por último, es importante poner estos instrumentos de medición y dirección fuera de obstáculos tales es el caso como las palas del aerogenerador, que puede ocasionar que los datos recolectados puedan tener muchos muestreos erróneos.

Para implementar un protocolo correcto para medir estas dos variables, se debe de hacer un muestreo amplio registrando mediciones de la velocidad del viento cada 10 minutos durante un año. Sin embargo, debemos contar con errores comunes como:

- El promedio de horario para la velocidad del viento, que luego se empleara para el cálculo de la producción a través de la curva de potencia del aerogenerador, desprecia el hecho de que las velocidades del viento altas contribuyen en mayor medida a la generación de energía que las velocidades bajas.
- La medición horaria no aporta la información de turbulencias que resulta de vital importancia para la elección del fabricante que estudia el aerogenerador.

Los valores recolectados que son básicos en la torre son:

- **velocidad;** son utilizados para el cálculo de producción energética.
- **desviación típica;** para el cálculo de turbulencias posibles, el aerogenerador se construye a partir de este cálculo.
- **dirección;** se emplean para la alineación de la turbina.

22.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), “Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal”, Pág. 70; Figura 6.24, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), Recuperado el 09 de noviembre de 2022.

Dado que los datos pueden ser muy arbitrarios e inesperados, puede tener tres efectos dependiendo de la velocidad del viento (**Tabla 2.7**):

Viento instantáneo	Corresponde a la velocidad en un instante determinado.
Viento medio aeronáutico	Es el valor de la velocidad del viento que se ha mantenido durante 2 minutos.
Viento medio meteorológico	Es el valor de la velocidad del viento que se ha mantenido durante 10 minutos.

Tabla 2.7: Tabla de clasificación del viento en base a sus características periódicas.

Por lo cual, podemos denominar una **Ráfaga**, como un aumento brusco de su velocidad durante un corto periodo de tiempo y un **Golpe de viento**, cuando la velocidad del viento alcanza los $17 \frac{m}{s}$ de manera brusca.

Por otro lado, los aerogeneradores de alta y mediana potencia, manejan tres velocidades de viento. Dichos valores dan lugar a distintas situaciones, especificadas en las hojas del manual del fabricante, las velocidades van en función del viento y son las siguientes:

- **Velocidad de arranque.** Es la velocidad mínima necesario para mover las palas.
- **Velocidad nominal.** Es la velocidad a la cual el generador eléctrico empieza a proporcionar **potencia nominal**.
- **Velocidad de desconexión.** Esto solo es considerado en los aerogeneradores de gran potencia que son golpeados por vientos que amenazan con convertirse en borrascas o huracanes. A esta velocidad presentan inestabilidad en su estructura y, es importante, mantener en óptimas condiciones el sistema de frenado.

Toda esta información es especificada en las hojas del manual del fabricante.

2.4.1. ¿Cómo cuantificar los parámetros del viento?

Debido a que el viento es un parámetro que determina la viabilidad del aerogenerador, **Francis Beaufort**²³ estableció la **velocidad del viento** en base a la siguiente formula:

$$v = (0.837) (B)^{\frac{3}{2}} \frac{m}{s} \quad (2.3)$$

v = Velocidad del viento medido en **metros sobre segundo**.

B = Numero de la escala.

23.- Francis Beaufort fue un hidrógrafo irlandés. Desde su juventud inicio una carrera naval donde alcanzó el grado de almirante, es por ello que se le atribuye sus descubrimientos científicos en la rama de la física actualmente también dirigidos a la aeronáutica.



Con respecto al **Número de escala**, podemos encontrarla en la **Tabla de Beaufort**. Si resolviste esta ecuación correctamente, encontraras una velocidad que este dentro del rango de la tabla ya antes mencionada, en este caso, en la sección de **Velocidad del viento**²⁴.

La escala de Beaufort establece efectos de las velocidades del viento desplazándose por la superficie, pero como ya hemos comentado, la altura implica manejar variables que no pueden ser ignorados. Las maquinas eólicas se justifican debido a la disposición de la altura, porque, el incremento de la altura repercute en la potencia eléctrica generada.

La siguiente expresión es conocida como **La ley exponencial de Hellmann**²⁵, es una relación de la **velocidad de referencia (V₀)** y la **velocidad de que se efectúa (V)** en las palas de un aerogenerador dispuesta en la torre (**H**):

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (2.4)$$

v = Velocidad del viento con respecto a la **altura del aerogenerador**.

H = Altura del aerogenerador.

v_0 = Velocidad de referencia del viento (**velocidad inicial**).

H_0 = Altura de referencia (**generalmente a 10 – 20 m**).

α = Valor está determinado por la **topografía** del lugar planeado, los valores establecidos son los siguientes:

Valor de (α)	Tipo de superficie
0.1	PERFECTAMENTE LISA
0.2	PLANA CON LIGEROS RELIEVES
0.3	ARBOLES Y COLINAS ALEDAÑAS
0.4	EDIFICIOS ALEDAÑOS
0.5	APROXIMADA A ARBOLES Y EDIFICIOS
0.6	RODEADO DE ARBOLES Y EDIFICIOS

Tabla 2.8: Valores del exponente alfa, en función del relieve del lugar.

Como has leído en este segundo capítulo, los conceptos más trabajados en meteorología que resultan ser el viento, hasta los parámetros para definir los sistemas de orientación y captación del aerogenerador, resulta denso y posiblemente se desvíe de su propósito. En el "Capítulo 3: Sistemas Eólicos" profundizaremos más acerca de los aerogeneradores, con eso nos referimos a su funcionamiento y demás sistemas, mecánicos y eléctricos.

24.- Véase en anexos, (pág. 127), para visualizar la tabla de conversiones y unidades de medida para cualquier aclaración.

25.- La velocidad del viento ira en función a la altura a la cual se encuentre el rotor.



Capítulo 3: Sistemas Eólicos.

3.1 Aerodinámica de máquinas.

3.1.1 Potencia teórica.

Como mencionamos en el Capítulo 2: “La energía del viento”, el viento es una fuerza de desplazamiento de las masas de aire originadas por las diferencias de temperatura en la superficie terrestre, lo cual desemboca en tres componentes que hacen efectiva la energía del viento, y estas son: velocidad, dirección y densidad. La energía eólica es el resultado de transferir el viento a las palas para mover el rotor de la máquina posteriormente convertir esa energía cinética, en energía mecánica y al final en energía eléctrica. El **valor de la potencia de la máquina** radica en la densidad del aire y la velocidad del viento con la que barre el área de las palas y esta se obtiene en base a los factores climatológicos del relieve o el terreno, las expresiones matemáticas para determinar dicha energía son las siguientes:

La **energía cinética** corresponde a la energía derivada de la fuerza de la corriente de viento. En términos más claros, una masa (**m**) que se desplaza a una cierta velocidad (**v**) sobre las palas de los aerogeneradores, se entiende de la siguiente manera:

$$E_C = \frac{1}{2} (m) (v^2) \quad [J] \quad (1.1)$$

E_C = La energía cinética, energía básica que incide sobre las palas del aerogenerador.

m = Masa del aire medido en **Kilogramos (Kg)** o en **Metros cúbicos (m^3)**.

v = Velocidad del aire medido en **metros sobre segundo (m/s)**.

J = Energía medida en **Joules [$(Kg)(m^2/s^2) = (N)(m) = (W)(s)$]**.

La **potencia teórica** es la energía cinética generada por unidad de tiempo medido en segundos el valor obtenido es una función de la **velocidad del viento** y el **flujo masico**, que, a su vez resulta de la función del **flujo volumétrico** del aire y de su densidad. La cual puede expresarse en la siguiente manera:

$$Flujo_{volumetrico} = (A) (v) \quad [m^3/s] \quad (3.1)$$

Para el **flujo masico**:



$$\text{Flujo}_{\text{Masico}} = (\rho)(A)(v) \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right] \quad (3.2)$$

A = Área del rotor del aerogenerador obtenido de las siguientes expresiones;

$$A = (\pi)(r)^2 = (\pi) \left(\frac{D}{2} \right)^2, \text{ medido en metros al cuadrado } (\text{m}^2).$$

v = Velocidad del viento medido en **metros sobre segundo** (m/s).

ρ = Densidad del aire comúnmente cuantificado a **1.225 (Kg/m^3)** a una temperatura ambiente de **20° C**.

Tomemos en cuenta que la densidad del aire no es igual en todos los lugares del mundo, ya que, puede diferir a causa del cambio de temperatura y con ello la presión atmosférica puede cambiar:

$$\rho = (P)/(R)(T) \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (2.1)$$

P = Presión atmosférica ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$).

R = Calor específico del vapor de agua en aire seco (**287.05 $\text{J}/(\text{KgK})$**).

T = Temperatura medida en unidades **Kelvin** (K).

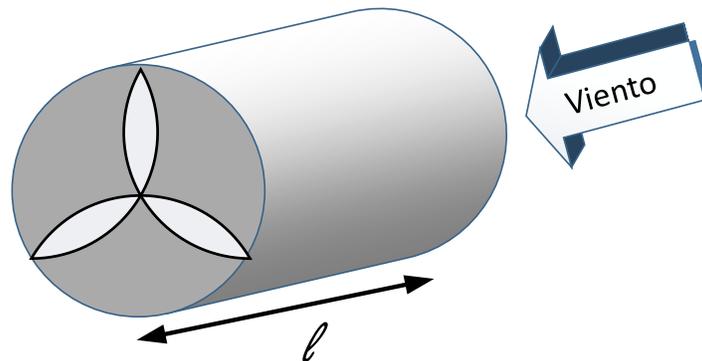


Imagen 3.1: Ilustración que explica el flujo de aire a través de aerogenerador.

Considerando todo lo anterior y suponiendo que las ráfagas de aire pasan por un cilindro con una cierta velocidad podemos llegar a la expresión de la **Potencia Teórica o ideal**:

$$W_{\text{Teorica}} = \frac{1}{2}(\rho)(A)(v^3) \quad [W] \quad (3.3)$$

Si consideramos que, el aire (viento), es un flujo de materia a través de un cilindro podemos utilizar las ecuaciones de Venturi, debido a que el mismo aire resulta ser un flujo de materia sobre una trayectoria cilíndrica (observe la **Imagen 3.1**).

1.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 4: Aerodinámica de máquinas", Pág. 31, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 04 de octubre de 2022.

3.1.2 Coeficiente de potencia.

Como cualquier otra maquina mecánica, el generador eólico entrega menos de lo que recibe, es decir, su rotor reduce la velocidad del flujo de aire que incide sobre sus palas impidiendo aprovechar el valor calculado (potencia teórica). Para resolver este problema, la potencia máxima teórica trasladada a la real por aplicación del **coeficiente de Betz**², es la siguiente;

$$C_p = (0.592) = 59.20\%$$

Lo que intenta demostrar es que la reducción de velocidad del viento, se produce a consecuencia del flujo masico impuesto en el elemento captador, es decir, frena el movimiento del rotor del aerogenerador lo cual impide el máximo aprovechamiento de la energía cinética libre, debido a que dentro del encapsulado carece de obstáculos para evitar ráfagas de aire parasitas. (Observe la **Imagen 3.2**³ para observar el efecto de reducción de velocidad por el coeficiente de Betz). En conclusión, Betz estipula que una Aero-turbina genera solamente el 60% aproximado de la potencia total real aprovechada, debido a los obstáculos impuestos por la intromisión de las corrientes parasitas generadas por el movimiento de las mismas palas.

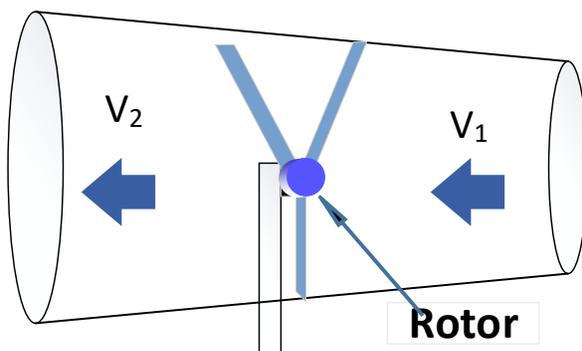


Imagen 3.2: El efecto de reducción de velocidad del rotor por coeficiente de Betz

Si el viento libre de velocidad v_1 , se considera como un obstáculo el rotor por lo que, la salida tendrá una velocidad v_2 .

3.1.3 Perdidas en la máquina.

En esta clase de máquinas, las pérdidas que comúnmente se consideran para obtener el valor ideal de la potencia eólica, son en secciones muy concretas: pérdidas de potencia por rozamientos en los componentes del eje de alta velocidad al multiplicador y las pérdidas producidas en las salidas del generador eléctrico y el transformador, estas últimas determinadas por la eficiencia. Es por ello que solo los denominamos como pérdidas en componentes mecánicos y eléctricos para englobar mucho mejor estos valores.

2.- Albert Betz, fue un físico alemán que publicando sus descubrimientos en 1926 hayo el coeficiente real de potencia de las maquinas eólicas el cual lleva su nombre, esto permitiría obtener datos fiables para los futuros molinos de viento en cuestión del rendimiento, pues indica la máxima potencia obtenida del viento derivada de la energía cinética de la misma

3.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capitulo 4: Aerodinámica de máquinas", Pág. 31, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 05 de octubre de 2022.

NOTA: el **coeficiente de rendimiento** se puede ver afectado por múltiples condiciones como, por ejemplo; por rozamientos en el material aislante del rotor a causa del desgaste por el tiempo prolongado de trabajo o factores externos de diverso tipo, lo que hace que se vea afectada la salida del alternador. Y con esto podemos decir que el sistema mecánico puede ofrecer un rendimiento energético dado por un porcentaje determinado ($n = \%$).

3.1.4 Potencia eólica real.

Como leímos al principio, las expresiones vistas son para calcular la potencia **eólica teórica**, sin embargo, existe una expresión matemática que puede calcular con precisión la energía disponible, en este caso la **Potencia Real** obtenida del aerogenerador:

$$W_{Real} = (W_{teorica})(C_p)(n_1)(n_2) \quad [W] \quad (3.4)$$

Donde:

$W_{Teorica}$ = Potencia teórica.

C_p = Coeficiente de Betz.

n_1 = Eficiencia por la sección mecánica.

n_2 = Eficiencia por la sección eléctrica.

3.1.5 Relación entre área de barrido y potencia.

Esta ecuación, nos permite encontrar el **Rendimiento Aerodinámico o global** que resulta ser la eficiencia porcentual definitiva de la maquina eólica en conjunto a todo el sistema, la siguiente relación consta de:

$$\eta_g = \left[\frac{(W_{Real})}{(W_{Teorica})} \right] (100\%) \quad (3.5)$$

Donde:

$W_{teorica}$ = Potencia teórica o ideal.

W_{Real} = Potencia real.

Extrapolando estos datos, se puede establecer la relación de **potencia con el diámetro del área de barrido** de las palas del aerogenerador, y es necesario para obtener la potencia requerida para satisfacer nuestro sistema. Solo es necesario conocer la velocidad del viento a la potencia especificada y el rendimiento global (n) del aerogenerador. Cabe mencionar que esta última,



expresión resulta útil, cuando se debe elegir una correcta localización para instalar cada aerogenerador y estos estén a una distancia adecuada uno del otro.

$$D^2 = \frac{(8)(W_{Anual})}{(\eta_{gA})(\rho)(v^3)(\pi)(F_e)(k_t)(t_A)} \quad (3.6)$$

Donde:

D^2 = Diámetro del área de barrido que va de una punta de las palas.

η_{gA} = Rendimiento de la maquina eólica medido anualmente.

W_{Anual} = Potencia real obtenida anualmente, expresada en **vatios (W)**.

k_t = *Coeficiente de corrección total de la potencia real obtenida.*

ρ = *Densidad del aire seco comúnmente a 1.25 (Kg/m³) a una temperatura de 20° C (o la temperatura acordada en ese instante y usando como referencia este último).*

v = Velocidad del viento (**m/s**), analizada anualmente.

t_A = Periodo de tiempo de análisis de un año, en un periodo de 8,760 horas.

F_e = Factor de potencia eólica para una distribución de Weibull (k = 2).

3.1.6 Numero de aerogeneradores necesarios.

Para calcular la cantidad de aerogeneradores que se van a utilizar en el sistema que se desea construir, debe tomarse en cuenta la siguiente expresión:

$$\text{No. de aerogeneradores} = \frac{(F_p)(W_n)}{(W_{Real})} \quad (3.7)$$

Donde:

W_n = Potencia necesaria o requerida por el usuario.

F_p = Factor de planta $\left(\frac{E_p}{E_T}\right)$.

W_{Real} = Potencia real obtenida en la alimentación de la red expresada en **vatios (W)**.



El denominado **Factor de planta** resulta del cociente de los datos registrados de la energía producida en un año de un sistema ya existente entre, la cantidad de energía que se tiene planeado o minuciosamente calculado en el mismo periodo.

3.2 Estadística de Weibull y Rayleigh.

Debido a que las corrientes de viento son imprevisibles en cuanto a dirección e intensidad. Es necesario hacer uso de la estadística para predecir los posibles resultados.

Es por esta razón que, al realizar un estudio previo de un año ininterrumpido de viabilidad de implantación de un sistema eólico para conocer la velocidad de las ráfagas de viento, es lo más conveniente usar una función estadística. Con esto nos referimos a la **Estadística de Weibull**, usada para los proyectos de construcción de parques eólicos en tierra o en mar.

$$P_V = \left(\frac{k}{C}\right) \left(\left(\frac{v}{C}\right)^{(k-1)}\right) \left(e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^k}\right) \quad (3.8)$$

Donde:

P_v = Probabilidad de que el viento alcance una velocidad promedio (v).

C = Factor de escala, con respecto a la dimensión de la velocidad.

k = Factor de forma que se define la disimetría de la curva característica.

v = Velocidad del viento ($\frac{m}{s}$).

Para el caso del **Factor de forma** es de igual a dos (2), la **ley de Weibull** coincide con la **ley de distribución de Rayleigh**. Esta última ley, es bastante útil en cuanto la velocidad del viento anual es menor a 9.0 m/s y la densidad de la turbulencia son bajas, lo que significa que los periodos de recolección de datos del aire son más cortos. La ley de Rayleigh se calcula de la siguiente manera:

$$P_V = \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{v}{v'^2}\right) \left(e^{-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{v'}\right)^2}\right) \quad (3.9)$$

Donde:

P_v = Probabilidad de que el viento alcance una velocidad promedio (v').

v = Velocidad del viento ($\frac{m}{s}$).



v' = Velocidad promedio anual del viento ($\frac{m}{s}$).

El **Grafico 3.1** muestra el resultado estadístico final, con dos distintas campanas de gauss:

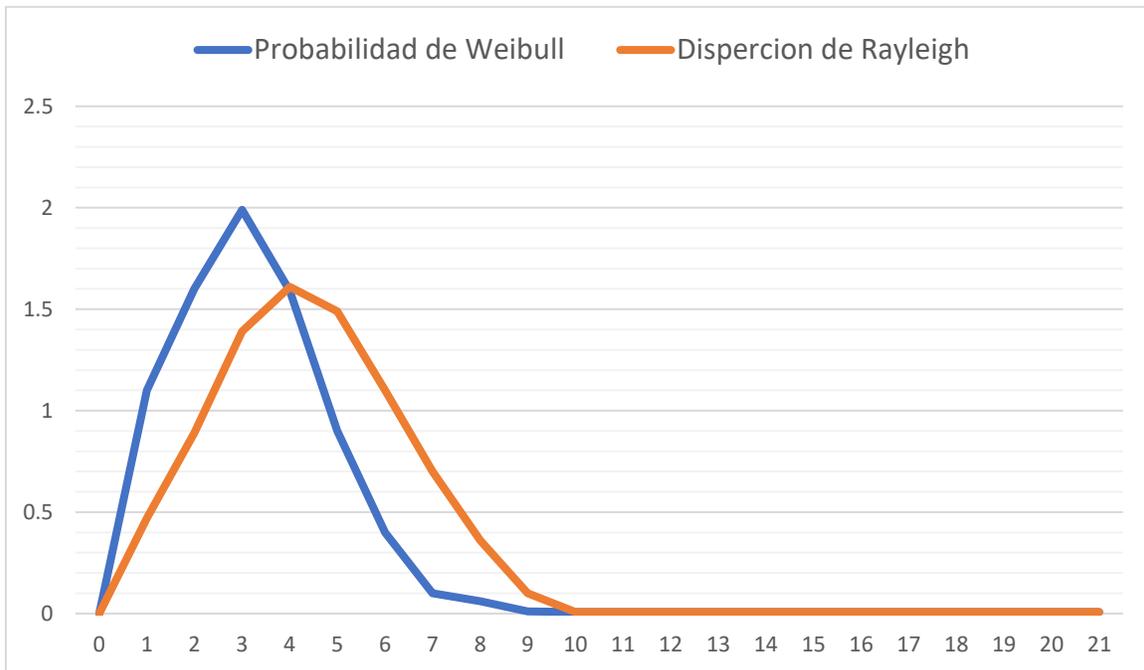


Gráfico 3.1: Grafico que representa el resultado final de los datos recolectados en ambas estadísticas

3.3 Acerca de los aerogeneradores.

3.3.1 Aspectos generales de los aerogeneradores.

La historia del primer aerogenerador puede ser confusa al principio, pues no se tiene un claro registro histórico que pueda respaldar la información de manera concisa, sin embargo, se tiene como punto de partida a **Charles F. Brush** un precursor de las maquinas eólicas, un ingeniero norteamericano que construyó en **1888** uno de los primeros aerogeneradores en Cleveland (Ohio). El primer modelo construido por este ingeniero consistía en 144 palas en la hélice sobre un rotor horizontal de 17 metros de diámetro otorgando 12kW de corriente continua, pues resulta que este prototipo, a futuro, sería el modelo a seguir por excelencia en la siguiente generación de aerogeneradores, ya que, en Europa del siglo XX esta tecnología ayudo a algunos campesinos de la región a obtener energía eléctrica y de esa manera mantener sus hogares iluminados y comunicados -a través de la radio-. Para mitad del siglo XX, los aerogeneradores eran un rotundo éxito tecnológico que podía ser llevado al sector industrial, países como Holanda, Alemania, Hungría y demás países desarrollados de Europa empezaron invertir tiempo



y trabajo para darle fines más prácticos o que fuese más eficiente.... Y vaya que lo encontraron. Esto fue gracias al francés **Darrieux** y al finlandés **Savonius** al presentar un nuevo modelo de aerogenerador de estilo vertical, que prometía mejoraba al antecesor en potencia eléctrica al aprovechar mucho mejor las ráfagas de aire, y hasta **1931** se empezó a instalar aerogeneradores horizontales en el mar, debido a que, mostraban un mejor desempeño que en tierra firme.

La mayoría de las personas del mundo no tienen accesibilidad a un aerogenerador pequeño y si este fuera el caso, no otorga la cantidad de electricidad que requeriría el individuo, por esto, las máquinas de generación eléctrica eólica se clasifican en base a la cantidad de potencia eléctrica que pueden generar (observe la **Tabla 3.1**).

Tipo	Potencia eléctrica generada (kW)
Micro	Hasta 0.25
Mini	De 0.25 a 1
Pequeño	De 1 a 50
Media	De 50 a 750
Gran	Mas de 750

Tabla 3.1: Familias de aerogeneradores en función de la cantidad de potencia obtenida.

Como hemos estudiado anteriormente los aerogeneradores cuentan con propiedades eléctricas y mecánicas, que resultan ser:

- **Potencia nominal** (potencia necesaria para hacer trabajar el generador eléctrico).
- **Medio de orientación** (sensores que siguen las corrientes de viento).
- **Sentido de rotación de su eje** (seguir la dirección dominante del viento).
- **Regulación de potencia** (recae en la clase de configuración de las palas).
- **Sistema de frenado** (en caso de tormentas o ráfagas de aire que puedan comprometer al sistema entero).

Con respecto a la **potencia nominal**, recordemos que es producto de la velocidad nominal, sin embargo, esta velocidad puede superar a la potencia y esto podría poner en riesgo el generador eléctrico y sus unidades asociadas por causa de sobrecarga de energía.

Es por ello que un **sistema de regulación de potencia** es únicamente instalado en los aerogeneradores de mediana y alta potencia específicamente en las palas de la hélice de los aerogeneradores, la **Tabla 3.2** observe dichas configuraciones:



De paso fijo	Se caracterizan principalmente por sus palas, cuentan con una inclinación aerodinámica fija que trabaja en conjunto con la corona de orientación debido a que, la desorientación resulta ser un problema común.
De paso variable	Incorporan perfiles aerodinámicos en los extremos de sus palas, es un mecanismo que permite variar el ángulo de ataque con el que son golpeadas las palas en función de los datos arrojados por el anemómetro, como consecuencia reduce la eficiencia del rotor (con ello la potencia generada).

Tabla 3.2: Configuración en sistema de potencia en aerogeneradores de mediana y gran potencia.

Algo muy importante que se debe revisar en la hoja de datos del fabricante, es su protocolo **IP (Ingress Protection)**. Consiste en dos cifras numéricas que indican el nivel de protección con el que está equipado el encapsulado del aerogenerador contra humedad, polvo, basura, etc.

El **primer dígito** indica el nivel de equipamiento contra residuos o basura y el **segundo dígito**, indica el nivel de protección contra la humedad (Observe la **Tabla 3.3**).

Primer dígito	Tamaño del residuo (mm)	Segundo dígito	Nivel de protección contra...
0	No incorpora protección	0	Sin protección
1	50	1	Propósito general
2	12	2	Goteo de agua
3	2.5	3	Lluvia fina
4	1	4	Escurrimientos o flujos masivos de agua
5	Contra partículas finas de polvo, sellado al vacío.	5	Lluvia intensa, tormentas.

Tabla 3.3: Niveles de protección de la armadura de un aerogenerador eólico.

Si, los aerogeneradores son quizá una maravilla de la ingeniería que convino la mecánica y la electricidad y a pesar de que el modelo vertical resultaba mejor o más efectivo que el modelo horizontal, actualmente, el modelo más utilizado es el modelo horizontal.

Como primera observación los aerogeneradores horizontales siguen subconjuntos fundamentales, estos subconjuntos son: **Rotor**, **Carcasa (Góndola)** y **Soporte**. Son importantes porque constituyen al aerogenerador en su totalidad, a continuación, se hace mención de estos tres conjuntos:





Imagen 3.3: Rotor subconjunto captador de energía cinética.

- El **Rotor** es el sistema captador de energía cinética provocado por el viento y posteriormente lo transforma a energía mecánica. Lo constituye el **buje, las palas y el eje** que se encuentra cubierto por la nariz que sostiene a las palas, **Imagen 3.3**⁴.
- Después tenemos a la **Góndola**, es el encapsulado que mantiene protegido todos los componentes mecánicos y eléctricos necesarios para hacer funcionar el dispositivo, la góndola está fabricada por una envolvente de fibra de vidrio con alma de aluminio y carbono.
- Por último, tenemos al **Soporte**, es lo que mantiene de pie al aerogenerador completo, sin embargo, en aerogeneradores de mediana y alta potencia estos tienen que estar diseñados cuidadosamente para adaptarse bien a la envergadura⁵ de las palas, peso y la vibración que genera el generador o los actuadores (motores) que están dispuestos pues, el enorme peso de estas máquinas resulta una tarea complicada. Están hechos de acero con un diámetro de 4 metros en su base, una altura promedio de 100 metros con un peso de 90 a 130 toneladas aproximadamente, la puerta dirige directamente a la escalera que va a la góndola.

Lo anterior no explica por completo el interior de un aerogenerador de alta potencia, a continuación, explicaremos de manera breve los componentes que intervienen en cada uno de los sistemas necesarios para que un aerogenerador trabaje de manera adecuada y óptima.

Observa la **Imagen 3.4**⁶, para observar los componentes fundamentales dentro de un aerogenerador. Naturalmente no todos los modelos de aerogeneradores siguen estrictamente esta arquitectura existen excepciones, sin embargo, es el modelo a seguir por excelencia.

4.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal", Figura 6.2 --> Pág. 52, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978 Recuperado el 22 de noviembre de 2022.

5.- La distancia por la cual están separadas cada pala una de la otra. Se determina midiendo de punta a punta de cada pala.

6.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal", Figura 6.14 --> Pág. 61, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978 Recuperado el 22 de noviembre de 2022.



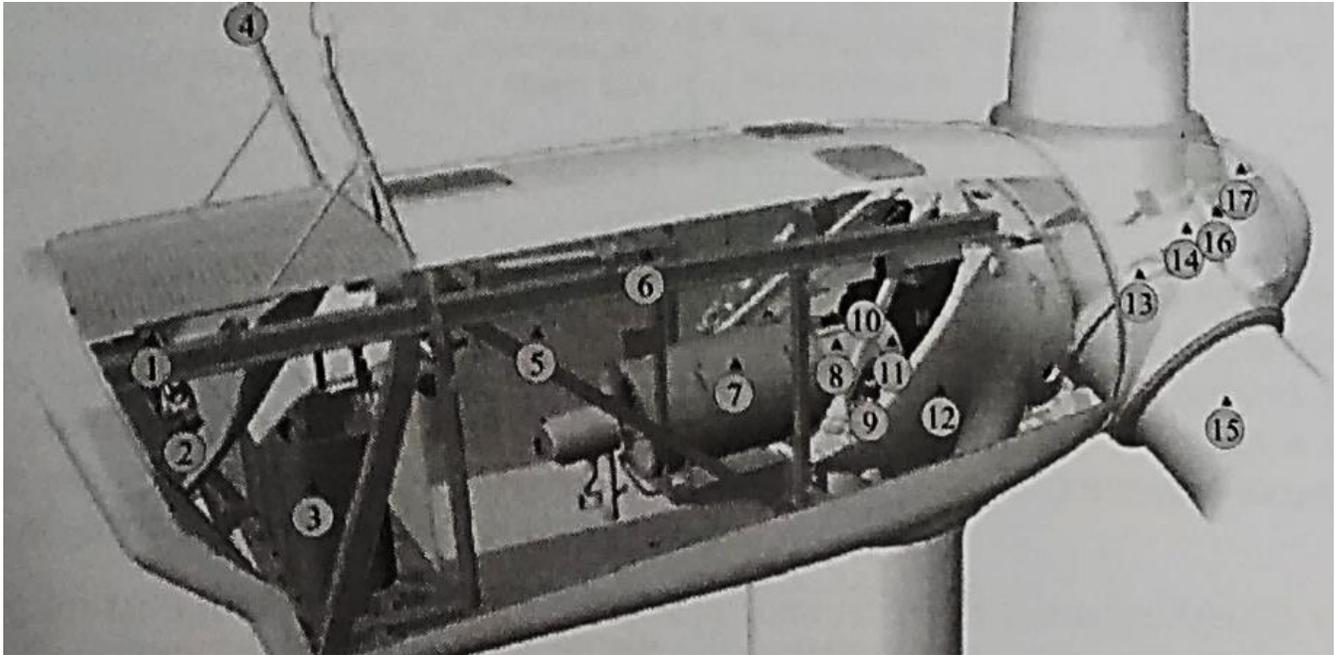


Imagen 3.4: Componentes mecánicos y eléctricos dentro de la góndola de un aerogenerador. La configuración corresponde a la unidad tipo V-90.

1. Refrigerador de aceite	10. Multiplicadora
2. Refrigerador del generador	11. Freno de parada
3. Transformador de alto voltaje	12. Chasis
4. Sensores ultrasónicos	13. Rodamiento de pala
5. Controlador VMP-Top con ventilador	14. Buje
6. Grúa de mantenimiento	15. Pala
7. Generador OptiSpeed	16. Cilindro de control de paso
8. Acoplamiento	17. Controlador de buje
9. Sistemas de orientación	

3.3.2 Sistema de captación.

Es la unidad que se encarga de la conversión de la energía cinética producida por el movimiento de las palas a causa del viento en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica por parte del generador eléctrico que se encuentra en su interior. Este compuesto por el **buje** el componente central que proporciona el **eje de baja velocidad** o **eje motriz** y las tres palas sujetas fuertemente al eje motriz encargadas del barrido. Todo lo anterior en conjunto forma el componente del rotor.

- **El Buje**

Es el portador de las palas, dentro se encuentran mecanismos que trabajan conjuntamente con el sistema de orientación (a través del control de motores) y el sistema de seguridad (de frenado y de potencia eléctrica generada). Este componente es importante y es por eso que hay que

protegerlo de elevadas **fuerzas estáticas** y **dinámicas** que amenazan con su integridad. Un ejemplo de fuerza estática sería la **fuerza centrífuga**⁷ crea cargas estáticas perpendiculares al eje, en cuanto a las dinámicas son generadas por el movimiento de las palas, también hay que mencionar que la vibración generada por maniobras en el sistema de orientación.

- **Las Palas y El Rotor**

Como ya mencionamos anteriormente -las palas se encargan del barrido-, a pesar de que **el área del barrido lo expresamos igual que el área de un círculo**⁸ no menciona una expresión que pueda calcular la velocidad a la que van las palas. Esa expresión es la siguiente:

$$v_{palas} = \frac{(2r)(v_N)}{(60\pi)} \quad [r.p.m.] \quad (3.10)$$

v_N = Velocidad de giro del rotor (turbina), medido en metros sobre segundo ($\frac{m}{s}$).

r = Radio del rotor, comprendido en metros (m).

Un aspecto técnico relacionado directamente con la citada velocidad de la punta de las palas es demonomanía **velocidad periférica** o **TRS (Tip Speed Ratio)**. Se emplea como referencia para indicar la velocidad de cada punta de las palas que genera un “**n**” numero de vueltas lo que lo vuelve el resultado un valor adimensional. La expresión es la siguiente:

$$TRS = \frac{\text{Velocidad en la punta}}{\text{Velocidad del viento}} \quad ; \quad TRS = \frac{v_{palas}}{v_N} \quad (3.11)$$

v_N = Velocidad del rotor.

v_{Palas} = Velocidad de las palas.

Las palas siempre se instalan en el buje, ya que, son responsables de proporcionar la fuerza centrífuga a una componente de atracción en función de su longitud y de flexión, esto hace tener dos tipos de configuraciones importantes ya mencionadas en las palas:

7.- Es la fuerza con la que es expulsado el volante hacia adelante (eje perpendicular “Z”) ocasionada por la alta velocidad en su propio eje central, el concepto es atribuido a la matemática newtoniana.

8.- Véase en “ANEXOS” (pág. 128) Imagen 3.5. Denominamos velocidad angular a la cantidad de vueltas generadas por un volante en un determinado periodo de tiempo. Donde $\Delta\theta$ = Variación del ángulo medido en radianes (rad.), Δt = Periodo comprendido en segundos.



- **Paso fijo:** En esta configuración, el ángulo de inclinación determinado es estático, por consiguiente, el control de potencia se lleva a cabo gracias a los procedimientos de regulación electrónica (circuitos de control asociados) sobre el generador eléctrico.

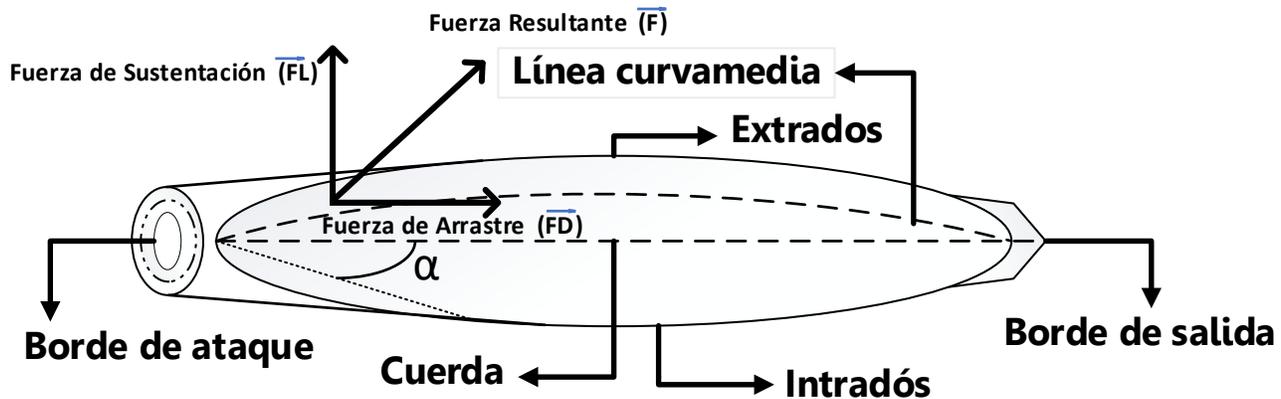


Imagen 3.6: Características principales que debe cumplir la pala de un aerogenerador.

La **Imagen 3.6**⁹ de la parte superior muestra las características principales que debe cumplir una pala comercial de configuración fija, esas características se explican a continuación:

- **Longitud:** Es el tamaño de la pala que se mide a partir del **Borde de ataque** al **Borde de salida**.
- **Extradós:** Es la cara de succión del perfil, es decir, es un parámetro que indica las dimensiones de la superficie exterior del arco o la **línea de curvatura media**.
- **Intradós:** Pertenece a la parte inferior de la pala, es la otra cara del perfil de succión.
- **Perfil:** Se refiere a la arquitectura diseñada en la parte del extradós e intradós de la pala, esto quiere decir, que pueden tener una forma **biconvexa**¹⁰ (los intradós y extradós tienen condición convexa), **plano-convexo**¹⁰ (intradós convexo y extradós plano) o **doble-curvatura**¹⁰ (ambos extremos de la pala son convexos).

Una forma de codificar las condiciones del perfil de la pala dentro de la industria aeronáutica es la codificación **NACA (National Advisory Commite of Aeronautic)**. Hacen uso de cuatro dígitos que otorgan la siguiente información:

9.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal", Figura 6.20 --> Pág. 66, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978 Recuperado el 01 de diciembre de 2022.

10.- Los conceptos antes mencionados provienen de una rama de la física. La óptica es una disciplina dedicada al estudio de las propiedades y características de la luz visible. Con ello podemos referirnos lo anterior como:

- **Biconvexo:** Compuestas por dos superficies convexas.
- **Plano-convexo:** Poseen una cara plana de un lado y del otro es convexo.
- **Doble-curvatura:** Se caracteriza por contar con dos flexiones o prolongaciones diferentes en cada extremo de las palas, de ahí su respectivo nombre.

Véase en "ANEXOS" (pág. 128) Tabla 3.4: Tipos de lentes.

- **Primer dígito:** Indica la máxima flecha de la **línea media de la cuerda**. Se expresa con un rango de porcentaje (%).
- **Segundo dígito:** La distancia entre el borde de ataque de la pala hasta la posición de la máxima flecha de la **línea media**.
- **Tercer y Cuarto dígito:** Indica el espesor de la cuerda, calculado en porcentaje (%).

- **Anchura:** Este parámetro indica el espesor de la pala que está determinada por la **cuerda** y tiene influencia en el par de arranque (velocidad de arranque).
- **Cuerda:** Corresponde a la distancia entre puntos extremos del perfil.
- **Angulo:** Determina la **línea de curvatura media**, es el ángulo que forma la curda, es muy importante ya que capta la energía cinética provocado por las corrientes de aire. Para determinar el ángulo y fuerza total que golpeará el punto de ataque de la pala se deben considerar dos vectores principales: Fuerza de Arrastre y la Fuerza de Sustentación.

$$F_{L,D} = \frac{1}{2} (\rho)(A)(v^2)(C_{L,D}) \quad [N] \quad (3.12)$$

$F_{L,D}$ = Fuerza de sustentación y Fuerza de arrastre

ρ = Densidad de la ráfaga de aire.

A = Área del cuerpo donde se proyecta la dirección del flujo de aire.

v = Velocidad relativa de la ráfaga de viento [m/s].

$C_{L,D}$ = Coeficiente de sustentación y Coeficiente de arrastre (valores adimensionales).

- **Paso variable:** Cuentan con mecanismos similares a las alas de un avión para manipular el ángulo de giro del eje longitudinal, el cual, hace que el control de potencia recaiga en esta configuración. (Observe la **Imagen 3.7¹¹**).

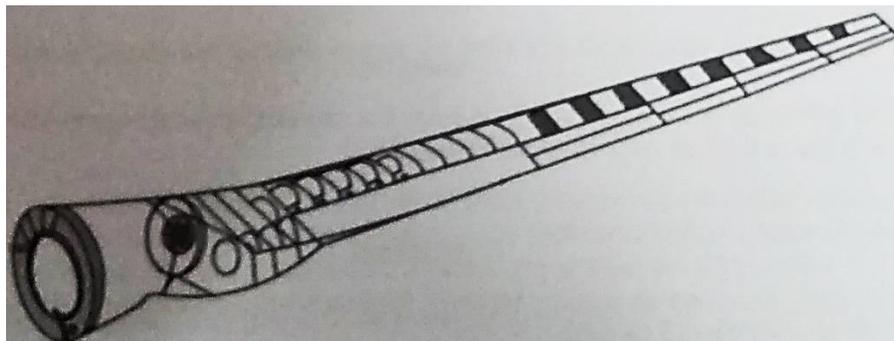


Imagen 3.7: Ejemplo de una pala de configuración variable.

11.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal", Figura 6.19 --> Pág. 66, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978, Recuperado el 30 de noviembre de 2022.

En esencia las palas deben ser fabricadas a base de fibra de vidrio o carbono pues, deben ser ligeras y resistentes para que puedan mover el buje y puedan soportar las condiciones climatológicas extremas de la región y el desgaste a consecuencia del trabajo rudo por su prolongada rotación.

3.3.3 Sistema de transmisión.

Este sistema tiene un único propósito, y es hacer trabajar el generador eléctrico con ayuda de la energía mecánica obtenida del sistema de captación. En este sistema intervienen tres complementos importantes:

- **Multiplicador**

Conocida también como **caja multiplicadora**, se encarga de elevar la velocidad de rotación al valor requerido por el generador eléctrico (**velocidad nominal**). Esta construido por engranes especializados y montados por los **ejes helicoidales** (observe la **Imagen 3.9**¹²) a los cuales se deben estar cubiertos por aceite lubricante especial. Este componente surge de la necesidad en motores **síncronos**¹³ y **asíncronos**¹³ de generadores eléctricos de gran potencia donde se requiere gran velocidad, no como el de micro y pequeña potencia. Donde la velocidad de rotación del eje motriz (correspondiente a las palas) es más que suficiente (observe la **Imagen 3.12**¹⁴). Es por ello, que debemos determinar el **Factor de Multiplicación** de la caja:



Imagen 3.9: Ejemplo de un engranaje de Eje Helicoidal.

$$N = \frac{v_{nominal}}{v_N} \quad ; \quad n_1 : n_2 \quad (3.13)$$

Donde:

v_N = Velocidad del rotor.

$v_{nominal}$ = Velocidad nominal del rotor (especificada en el manual del usuario).

12.- Consiste en un movimiento de rotación sobre su mismo eje. Para lo anterior los dientes de los engranes siguen este mismo principio, sus dientes están ligeramente flexionados de manera convexa. Información obtenida del blog oficial: ©Salvatierra: materiales para la construcción (2016), "Engranajes para que sirven", recuperado el 04 de enero de 2023, de <http://www.salvatierramateriales.blogspot.com/2016/09/engranajes-para-que-sirven.html>

13.- Véase en "ANEXOS" (pág. 129) Imagen 3.10 e Imagen 3.11. Para una mayor referencia esquemática.

14.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal", Figura 6.4 --> Pág. 54, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978 Recuperado el 01 de diciembre de 2022.

Se considera como el **cociente** de la **velocidad nominal** -especificada en el manual del aerogenerador- entre la **velocidad del rotor**. La expresión de la derecha, da a entender que una relación de transformación, es decir; Por cada vuelta del rotor n_1 (eje de baja velocidad), corresponden n_2 vueltas de carga (eje de alta velocidad).

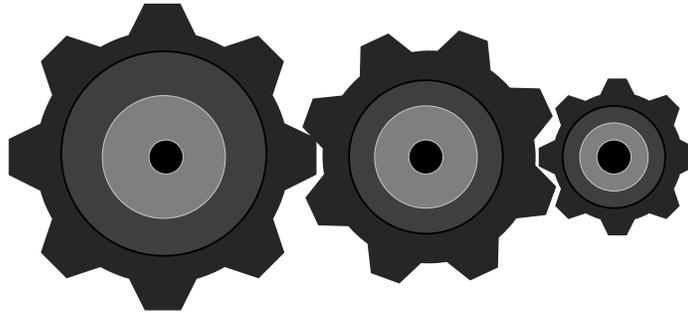


Imagen 3.12: Esquema que describe con brevedad la configuración de un multiplicador.

Las principales características se deben tomar en cuenta son:

- Potencia mecánica que admite.
- Numero de etapas de trasmisión mecánica.
- Factor de multiplicación.

- **Ejes de velocidad**

Uno corresponde al **eje de baja velocidad** que va del rotor y finaliza en el multiplicador, su velocidad va en función de la rotación de las palas, y el segundo que es el **eje de alta velocidad** va desde el multiplicador al generador eléctrico. Las velocidades alcanzadas por dichos ejes son medidas en revoluciones por minuto (**r.p.m**) (observa la **Imagen 3.13**¹⁵ para mayor referencia).

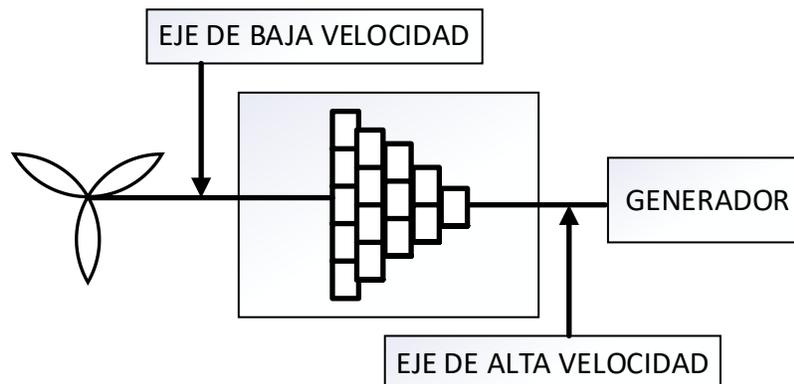


Imagen 3.13: Esquema de un sistema de transmisión en un aerogenerador de eje horizontal.

15.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal", Figura 6.21 --> Pág. 68, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978 Recuperado el 02 de diciembre de 2022.

3.3.4 Sistema generador de energía.

En los **sistemas de control de potencia** es importante vigilar y mantener en observación constante la velocidad de rotación de las palas, en caso de ser tipo **paso variable**, las palas harían todo el trabajo de variar la potencia del generador. Por desgracia no todos cuentan con este tipo de palas y recurren a procedimientos electrónicos de **doble conversión (AC→DC→AC)**. (observa la **Imagen 3.14**).

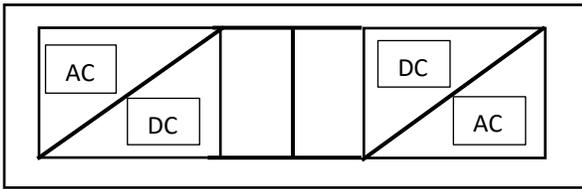


Imagen 3.14: Convertidor, dispositivo de seguridad para mantener el control del nivel de voltaje.

En esencia, este sistema se compone principalmente de un motor trifásico del tipo síncrono o asíncrono el cual se encuentra acoplado al eje de alta velocidad del multiplicador para la conversión de energía mecánica a eléctrica, debido a la alta potencia que exigen, las tensiones de salida son altas, alrededor

de **600 a 1,000 Voltios**. Sin importar que tipo de configuración tenga nuestro sistema debemos mantener la tensión, frecuencia y fase ante las franjas de variación de velocidad del viento, dichas configuraciones mencionadas, pueden ser:

- Generador eléctrico asíncronos de inducción, cuyo rotor puede ser de:
 - Rotor jaula de ardilla.
 - Rotor devanado con resistencias variables.
 - Rotor devanado doblemente alimentado.
- Generador eléctrico síncronos de tipo:
 - Imanes permanentes.
 - Electro imanes.

A pesar de que cada configuración es única y compleja existen excepciones, esto quiere decir, que algunos de estos arreglos no incorporan en su sistema una caja multiplicadora, por ejemplo, Los **generadores síncronos de electroimanes**; el roto o estator ya trabajan de antemano con corriente continua y puede ir directamente al **convertidor**. Esta clase de configuraciones son usuales en aerogeneradores variables que también contienen un **rectificador** para este tipo de generadores, mantiene alimentado al rotor del aerogenerador, no como los **generadores síncronos de imanes permanentes**.

NOTA: Recuerda que los alternadores funcionan al igual que si se tratase de un motor cualesquiera, es por ello que hay que recordar las expresiones correctas para calcular la potencia generada por la clase de alternador que ira en función de si es síncrono o asíncrono:

Generador trifásico

$$W_T = (\sqrt{3})(V)(I)(\cos \alpha) \quad [W]$$

Generador monofásico

$$W_M = (V)(I)(\cos \alpha) \quad [W] \quad (3.14)$$

Donde:

V = Valores eficaces de la Tensión(es) de la línea(s) del sistema.

I = Valores eficaces de la Intensidad de la corriente(s) de la línea(s) del sistema.

$\cos \alpha$ = Factor de potencia.

En los parques eólicos es común encontrar transformadores fuera de la góndola del aerogenerador todos conectados en paralelo con la finalidad de elevar la potencia eléctrica para su posterior distribución, aunque no hay que descartar la posibilidad de encontrarlos dentro de cada góndola. Lo importante de los sistemas de generación es adaptar los valores requeridos del centro de transformación, para que sea dirigido a las redes de consumo público de la red de distribución de electricidad. (Observa la **Imagen 3.15**¹⁶).

16.- Imagen e información obtenida de la página web oficial © IBERDROLA S.A (2023), "Home →Sostenibilidad →que es la energía eólica terrestre", recuperado el 06 de enero de 2023, de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/como-funcionan-parques-eolicos-terrestres>



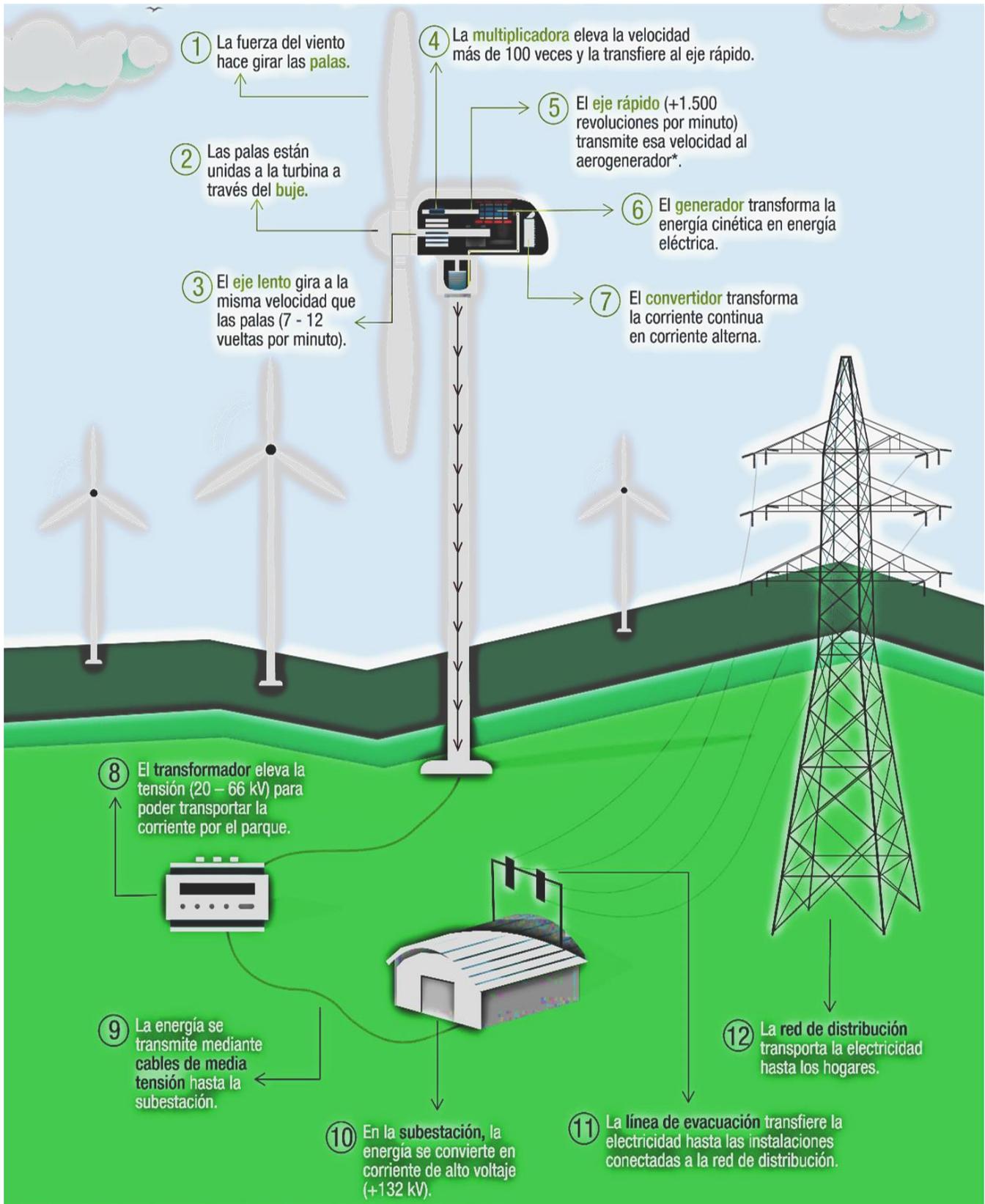


Imagen 3.15: Parque eólico. Componente individual de aerogenerador de alta potencia.



Facultad de Estudios Superiores Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

3.3.5 Sistema de control.

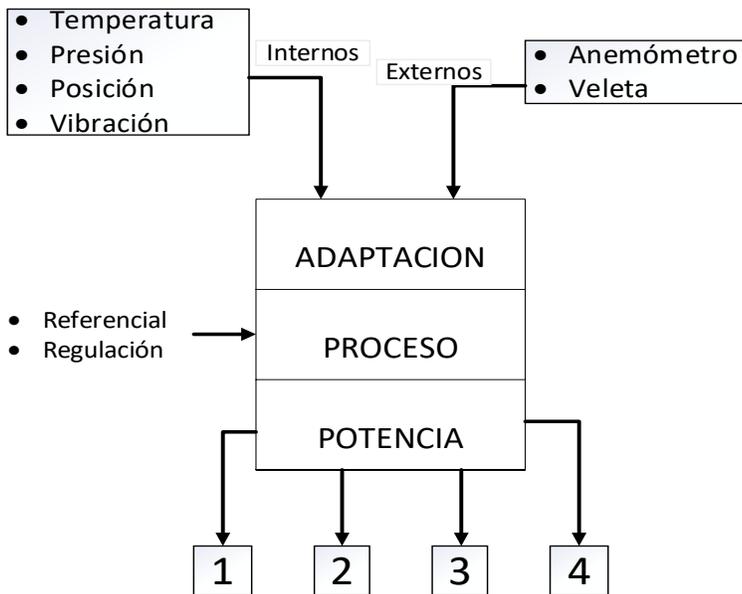


Imagen 3.16: Esquema que explica un sistema de control en un aerogenerador convencional.

La configuración de la unidad electrónica que está destinada al área de control no es igual que las demás unidades comerciales existentes, ya que, realiza funciones específicas de las cuales **cuatro son fundamentales** para el sistema y el resto son complementos que los fabricantes deciden agregar, lo cual hace que cada sistema de control sea único.

A continuación, se hará mención de esas cuatro funciones fundamentales (Observa la **Imagen 3.16**¹⁷).

1. Recolección de datos externos.

En esta primera función, se obtienen los datos de la veleta (dirección del viento dominante) y el anemómetro (velocidad del viento) normalmente de manera digital por un **bus RS 422**¹⁸ o semejante. Y como hemos comentado en el capítulo 2, estos datos son fundamentales para el sistema de orientación y el sistema de frenado.

2. Recolección de datos internos.

Como su nombre lo indica, estos datos son recolectados desde el interior de la góndola, estos datos corresponden a los siguientes sensores:

- **Temperatura:** las temperaturas que podemos considerar fundamentales son; **el espacio general** (la integridad física de la góndola), el **generador eléctrico** y el **multiplicador**, estos dos últimos pueden alcanzar temperaturas muy altas debido a que la potencia a la que trabajan alcanzando los Megavatios (**MW**), es por ello que se hace uso de ventiladores de alta potencia, de lo contrario significaría la pérdida total de este último.

17.- Imagen obtenida de Tomás Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal", Figura 6.26 --> Pág. 73, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978 Recuperado el 03 de diciembre de 2022.

18.- "Es una interfaz de comunicación el cual especifica velocidades de datos de hasta 100 kbit/s incluso a distancias de hasta 1200m. RS422 utiliza una conexión full-dúplex de 4 cables de entrada maestro esclavo."

Información obtenida de ©NOVUS Automatización Inc. (2023), "Buscar →RS422", recuperado el 06 de enero de 2023, de https://www.novusautomation.com/site/default.asp?Template=..%2Fbusca%2Flayout_busca.asp&pesTipo=*&pesStr=RS422

En cuanto al multiplicador sufre el mismo fenómeno, pero a consecuencia de la fricción constante de sus ruedas dentadas y si sumamos a que el aceite que lo lubrica se degrada y pierde sus propiedades físicas contribuye en gran medida al aumentar la temperatura. El sensor más usado para realizar estos monitoreos constantes es el **PT-100** o equivalentes.

- **Presión hidráulica:** Son sensores comúnmente incorporados a motores (**actuadores**¹⁹ hidráulicos) dirigidos en operaciones de orientación del rotor y variación del ángulo de las palas. Los sensores pueden ser de tipo **proporcional** o **de limite**, estos dos trabajan de la siguiente manera; el primero suministra tensión eléctrica constante en base a la presión hidráulica y el segundo dispara un interruptor si supera los valores señalados como sistema de alerta.
- **Vibración:** Este solo dispara un pulso eléctrico cuando detecta variaciones que amenazan con la estructura por el azote de ráfagas de vientos muy agresivos o la misma fuerza de velocidad del rotor y el generador es tan alta que compromete a más de un sistema, estos sensores trabajan con el sistema de regulación de potencia para implementar los dichos frenos.

3. **Gestor de unidades electromecánicas.**

Podemos definir esta parte como al conjunto de configuraciones electrónicas del circuito complejas encargadas de recolectar la información procedente de la entrada de sensores especializados o de carácter industrial.

Son conjuntos de unidades de gestión encargados de controlar los actuadores (motores, frenos brazos hidráulicos, etc.) de todo al aerogenerador entero que actúan en conjunto, pero trabajan de manera distinta a cada sistema.

4. **Aportación de datos del exterior.**

Recordemos que el monitoreo del estado de los aerogeneradores siempre es a distancia, a través de cables o enlaces de radio al centro de control. Con esto podemos definir que es cualquier anomalía presentada en los monitores ya sea de carácter natural (fenómenos naturales) o artificial (errores humanos o por deficiencia de mantenimiento).

19.- Es el dispositivo -comúnmente mecánico- que efectúa una tarea o proceso dentro de un sistema de control en función de una respuesta que, comúnmente es obtenida de los puertos de salida de un dispositivo de control.



3.3.6 Sistema hidráulico.

No todas las maquinas eólicas cuentan con este tipo de sistema, existen excepciones, como ya lo hemos estudiado anteriormente, este sistema solo está dirigido para tres posibles acciones: orientación del rotor, control de velocidad de las palas y con ello la potencia eléctrica generada, y la eyección de aceites lubricantes para la caja multiplicadora.

Los componentes que hacen posible a este sistema son:

- **Grupo de presión.**

Corresponde a un compresor eléctrico para suministrar el aceite lubricante especial en motores para efectuar los movimientos mecánicos para las maniobras del sistema de orientación.

- **Válvulas.**

Permite el control manual para mantener la dirección del flujo y dirección de los aceites industriales.

- **Conductos.**

Los conductos son flexibles recubiertos o no por una malla metálica o simplemente rígidos (fabricados en PVC, acero, cobre, etc.).

- **Medidas y sensores.**

A pesar de que se trabaja con sensores digitales de gran precisión, no hay que dejar a un lado los medidores analógicos, pues estos son analizados por el personal durante las labores de mantenimiento y son útiles para corroborar los datos obtenidos por los sensores digitales.

La expresión mostrada a continuación, es útil para calcular la potencia útil con la cual trabaja este sistema hidráulico, efectivo para determinar la eficiencia del sistema si este trabaja con un alternador con una bomba hidráulica, como hemos visto en las energías undimotriz.

$$W_V = (Q)(\rho)(g)(H_m) \quad [W] \quad (3.15)$$

Donde: Q = Volumen del Caudal del líquido bombeado a través de las tuberías (m^3/s).

ρ = Densidad del líquido que yace en las tuberías y en el contenedor (Kg/m^3).

g = Gravedad de la tierra [$9.8 (m/s^2)$].

H_m = Altura manométrica a la que sube el líquido bombeado por las tuberías (m).



3.4 Aerogeneradores de eje vertical.

La necesidad tecnología de un aerogenerador de eje vertical obligo a científicos e ingenieros a reinventar la contraparte de esta tecnología, los **aerogeneradores de eje vertical** surgieron en la segunda década del siglo XX, tenía como propósito favorecer ciertas condiciones como:

- La complejidad del sistema de captación al contar con un rotor.
- Optimizar la velocidad de arranque.
- El pesado sistema de orientación en sistemas de alta potencia.
- Reducir la complejidad del mantenimiento a causa de la elevada altura.

En cuanto al generador eléctrico, el multiplicador y los sistemas de frenado y de control bien podían ir sobre la base o en la parte superior. El sistema de captación del eje motriz es de manera vertical, perpendicular al suelo transcurriendo por todo el soporte.

Todo lo anterior suena bien, pero la realidad es que, a pesar de contar con dichas ventajas, no ha podido desplazar al viejo modelo de eje horizontal debido a su bajo rendimiento y la dificultad que tiene al obtener los altos niveles de potencia energética que le impiden tener una mayor comercialización. Actualmente es útil en pequeñas instalaciones aisladas o de uso particular ya que resulta más efectivo en zonas residenciales pequeñas.

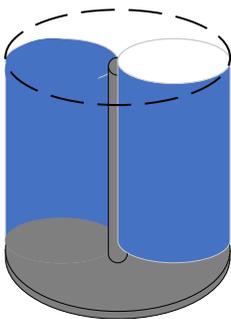


Imagen 3.17:
Aerogenerador
vertical tipo
Savonius.

Como podemos ver, el modelo de la **Imagen 3.17²⁰** corresponde a la clase **Savonius**, del cual pertenece a tres modelos de aerogeneradores verticales que hablaremos a continuación:

• **Aerogenerador Savonius.**

Fue diseñado en **1924** por el finlandés **Sigurd J. Savonius**, de ahí se atribuye el nombre. Podemos describir a este modelo como dos semicilindros sujetos de un lado del mismo soporte, separando del lado de un extremo, uno del otro de tal forma que figura a una forma de "S" visto desde arriba.

El viento golpea en ambas caras siguiendo la dirección dominante lo que hace innecesario un sistema de orientación. Este diseño sería el básico para los futuros sistemas helicoidales de gran longitud como ya se ha mostrado anteriormente.

20.- Imagen obtenida de Tomas Perales Benito (2010), "Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 7: Aerogeneradores de eje vertical", Figura 7.2 --> Pág. 82, segunda edición, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN: 9788496300972, 8496300978 Recuperado el 12 de diciembre de 2022.



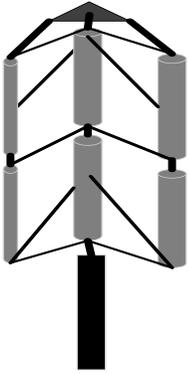


Imagen 3.18:
Aerogenerador
vertical tipo
Darrieus.

- **Aerogenerador Darrieus.**

Diseñado por el francés Georges Jean Marie Darrieus en 1927 (tres años después de patentar su invento), trabaja como cualquier otro aerogenerador vertical bajo un diseño biconvexo uniendo sus extremos de cada punta en el soporte. La velocidad mínima de giro está determinada por su longitud, curvatura y ángulo de ataque de los perfiles. Debido a que su envergadura es muy alta, hace uso de tirantes metálicos para mantenerlo estable.

Este diseño también ha evolucionado al igual que el modelo Savonius, cambiando sus perfiles a helicoidales.

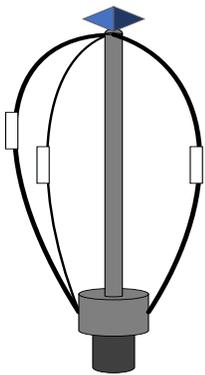


Imagen 3.19:
Aerogenerador
vertical tipo Giromill.

- **Aerogenerador Giromill.**

Traído de la mano de mismo creador del aerogenerador Darrieus (francés Georges Jean Marie Darrieus), esta última invención mejora a su último modelo, pues este aerogenerador resulta aprovechar mejor las corrientes y ráfagas de aire, pues su diseño de tres palas puede cambiar fácilmente la dirección de trayectoria de giro, lo cual lo hace tener, una buena cualidad.

La principal razón de que estos modelos de aerogeneradores no hayan despegado en la industria eléctrica y solo sean recomendados en hogares de bajo consumo es por varios factores tales como:

- Distribución del peso de las palas, lo que hace que no aprovechen un poco más la velocidad del viento.
- El mal diseño que no disipa correctamente las corrientes parasitas provocadas por el choque del mismo viento que las golpea.

Todo esto último contribuye a que esta clase de aerogeneradores genere una cantidad de potencia eléctrica mínima y esto hace que sean dispositivos innecesarios en sistemas de distribución de alta potencia, no como los aerogeneradores de estilo horizontal.

Ahora que se expuso todos los conceptos fundamentales y relevantes a través de estos dos últimos capítulos. Pasaremos, a lo fundamental, al verdadero objetivo de este trabajo.

De manera concisa mostrare el resultado final del trabajo -enfocado- en prácticas de laboratorio de potencia, detallando cada característica, posibilidad, alcance, comentarios y cualquier resultado obtenido durante este trayecto. En el siguiente y último, capítulo 4: "Diseño y Construcción de un Módulo Didáctico".

Capítulo 4: Diseño y Construcción de un Módulo Didáctico.

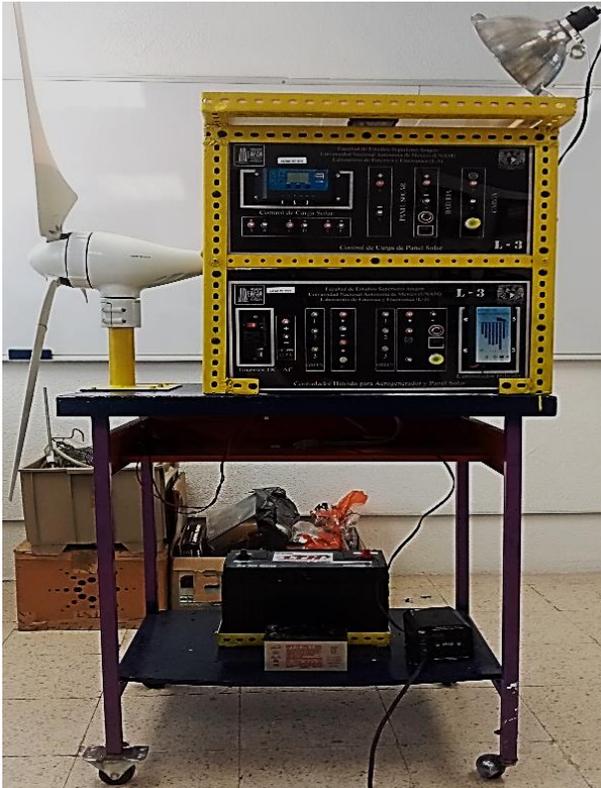


Imagen 4.1: Módulo didáctico.

Durante mucho tiempo, muchas personas se han mantenido a la fiel creencia de que la educación es capaz de transformar el futuro y otorgar mejores oportunidades. Y que mejor forma que a través de la enseñanza.

El trabajo que se propone a continuación, es un **módulo híbrido de generación de energía eléctrica eólica y solar-fotovoltaica**. A pesar de que el tamaño es robusto y que a simple vista parezca sencillo, no es de subestimarse, pues su alcance puede ir más allá de. El proceso que se llevó a cabo para construirlo; desde su diseño, ensamble y un instructivo sencillo para el uso docente, fue ardua tarea. Pero no solo se trata de esto, además, se ha añadido nuevos conceptos para dar coherencia y fluides a la siguiente explicación.

4.1 Diseño y construcción del módulo didáctico.

Como se muestra en la imagen de arriba (**Imagen 4.1**), el módulo es de una altura aproximada de 1.56 m de alto, con una anchura de 0.92 m y longitud lateral de 0.59 m, a simple vista se observa una mesa con ruedas de desplazamiento lateral, además, tiene una estructura metálica con una unión cuadrada en la parte posterior. Sostenido por cuatro soportes del mismo material y dichos soportes metálicos también están unidos unos con otros por uniones del mismo material, con la finalidad de que los cuatro soportes principales mantengan su estructura y no se doblen. Encontraremos dos uniones en dos caras de la estructura metálica y una unión en la parte lateral donde se encuentran los paneles de acrílico y otra que sostiene la cola del aerogenerador. Se soldó la estructura cuadrada de la parte posterior a las cuatro patas principales -a excepción de las uniones que fueron fijadas con tornillos y tuercas aprovechando los orificios del soporte de metal-, posteriormente fueron atornilladas con fuerza a la superficie de madera de la mesa haciendo uso de estos mismos orificios, por último, la estructura

rectangular mencionada al principio es donde reposa el **panel solar**. La **Imagen 4.2** muestra el tipo de superficie de metal que fue usado.



Imagen 4.2: Fijación de la estructura de soporte de metal.

La serigrafía mostrada en los acrílicos fue con ayuda de una impresora láser, dicho trabajo fue hecho por terceros fuera de la instalación, posteriormente fueron perforados de la parte lateral de los acrílicos y fijados en los orificios de la superficie de metal con tornillos y tuercas de lado de la cara de esta estructura para su mejor manipulación y visibilidad. Dichos acrílicos ocupan una dimensión de; 59.6 cm de alto y 56 cm de ancho con un espesor de cada policarbonato de 3mm. En cuanto a las conexiones que se pueden observar, se utilizó cable de cobre de calibre 10, soldados a las argollas incluidas en las entradas banana. Al finalizar dichas conexiones se utilizó cinturones para amarrar los cables y estos no se convirtieran en un problema. En el primer panel de control fue puesto el **controlador de carga solar** y en el segundo panel de la parte inferior se fijó el **controlador híbrido de carga solar y eólico**, además, de incluir en la parte izquierda inferior, el **inversor de onda sinusoidal modificada CD-CA Modelo SAM-250-12** por parte de **samlexamerica®**, el cual se le retiro de la carcasa protectora de frente para ser fijado al panel de control. Observa la **Imagen 4.3** que ilustra lo anteriormente descrito.

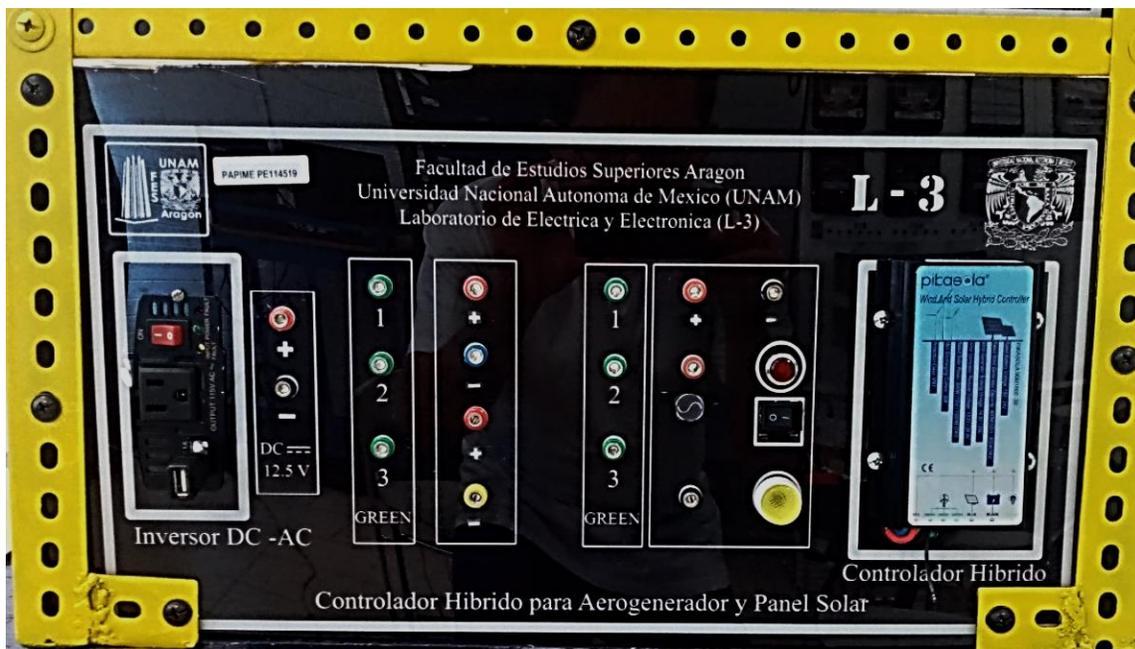


Imagen 4.3: Segundo Panel de control, localizado en la parte inferior.



Facultad de Estudios Superiores Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

Si se observa por la izquierda encontraremos el aerogenerador reposando en un tubo de puesta improvisado. Que consiste en una placa de metal grueso de 15.4 cm de alto, 24.8 cm de ancho y una densidad de 2 mm. Además, se le fue soldado un tubo en la parte central, dicho tubo tiene una longitud de 23.3 cm de longitud y 5.4 cm de diámetro. En la superficie de la placa se perforaron ocho orificios lo cuales fueron utilizados para fijar la estructura de pie sobre la superficie de madera de la mesa y una novena perforación más grande sobre la mesa de madera y un poco debajo del centro de la placa para dar paso a los cables del aerogenerador. En cuanto al pequeño aerogenerador, este puesto en la parte superior del tubo, fue fijado ajustando la junta que tiene tornillos hexagonales en la parte inferior, apretando los mismos tornillos con fuerza. Además, de dichos arreglos especiales para darle mejor estabilidad, tal es, un corte y dobles en una parte de las uniones del lado de la estructura que encara al aerogenerador, con la finalidad de fijar de manera correcta el aerogenerador al pie de metal primeramente mencionado y una argolla atornillada en la superficie de madera y que coincide debajo de donde debe de estar la cola del aerogenerador para amarrar y fijar mejor la cola del aerogenerador. Por último, se perforo un agujero de 9.3 cm de diámetro para permitir el paso de otros cables que serán fundamentales para realizar conexiones al panel de control de la placa de acrílico, dichos cables van directamente de la batería y del aerogenerador. Todos estos arreglos se observan en la **Imagen 4.4**.

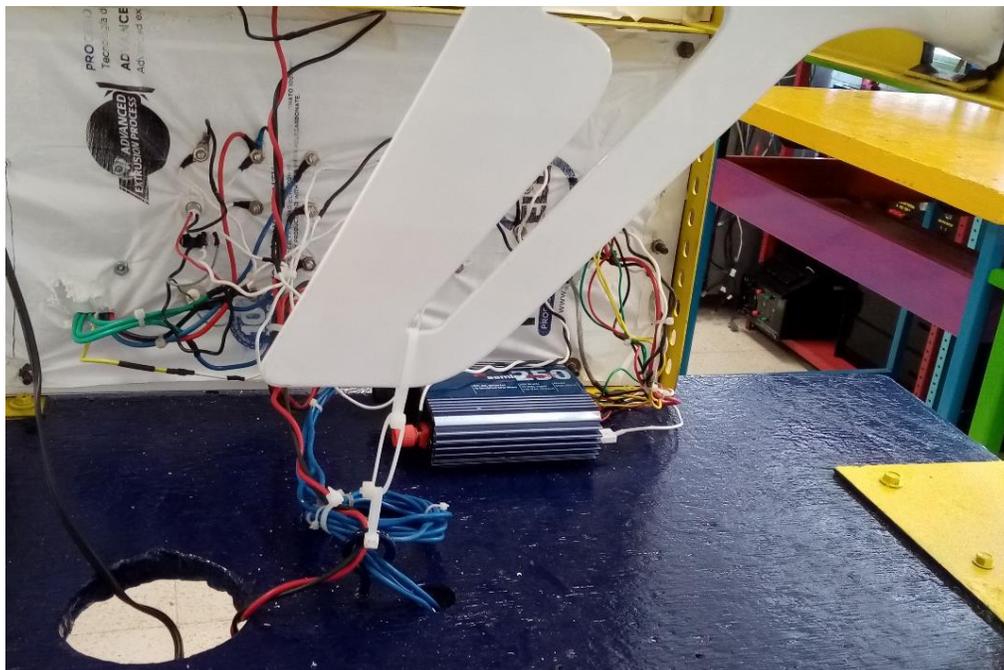


Imagen 4.4: Parte trasera de los paneles de control de acrílico.

Debido a que el pequeño aerogenerador siempre se mantendrá dentro del laboratorio de potencia fijado al módulo de trabajo, se cuenta con una palanca de cabeza hexagonal que

empotra en la parte del medio del eje para hacer girar la hélice del aerogenerador. Y al igual que el panel solar, requiere de los rayos del sol y, es por eso, que se añadió una lámpara incandescente en la parte lateral de la estructura donde se encuentra reposando el panel solar para simular los rayos del sol. La **Imagen 4.5** muestra todo lo anteriormente mencionado.

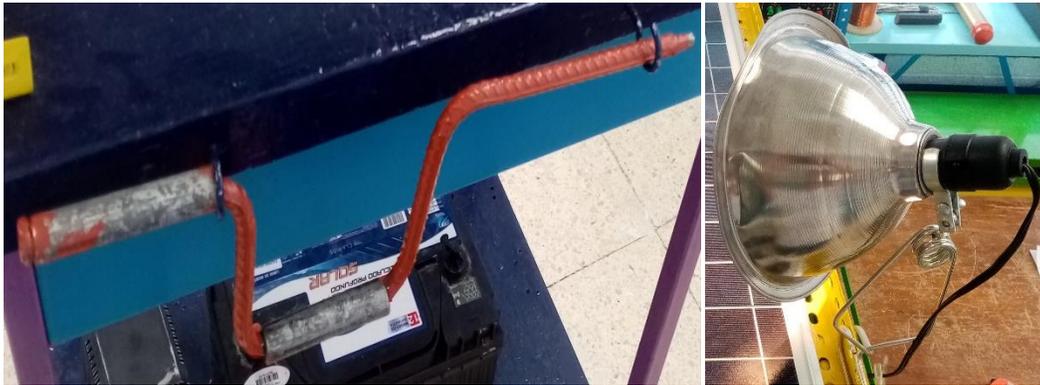


Imagen 4.5: Aditamentos de trabajo proporcionados, Palanca de entrada hexagonal y lámpara con foco incandescente.

En la parte inferior cuenta con un corral de metal de 34.2 cm de longitud y de 22.6 cm de ancho donde se le ha utilizado una estructura rectangular de metal de 3.7 cm de grosor, se encuentra fijada a la placa con cuatro tornillos localizados en cada esquina de esta estructura, esta última tiene la finalidad de mantener en posición una batería – de auto, camión o motocicleta-, para llevar a cabo las prácticas de laboratorio, como se puede observar en la **Imagen 4.6**.



Imagen 4.6: Corral elaborado para sostener la batería, puesto en la placa inferior del módulo.

Los costos de los materiales utilizados en este trabajo se muestran en la siguiente tabla:

Material	Cantidad y Precio	Descripción
Metal con perfil de Angulo ranurado.	\$MXN 100.00 X 1 metro.	Poste de calibre 20 con profundidad de 35mm, su estructura permite crear múltiples combinaciones de estructuras de soporte para cualquier objeto.
Tornillos	\$MXN 32.50 X 12 tornillos	Con una medida de 30mm de largo, de tipo acero inoxidable de cabeza plana cruz para fijar cualquier superficie a otra con ayuda de las tuercas con un diámetro de 8.2mm.
Tuercas	\$MXN 72.00 X 12 tuercas	
Tubo de metal	\$MXN 31.50 X 35 cm	Un tubo de hierro común, con un diámetro de 5.4 cm.
Placa de acero	\$MXN 110.00	Placa de acero de 12cm x 23 cm, con un grosor de 3mm.
Manivela de entrada hexagonal	\$MXN 50.00	Hecha con metal de perfil caramelo de 67 cm de largo de cabeza hexagonal de 11mm de diámetro.
Placa de acrílico	\$MXN 1,370.00 X 2 pliegos	Placa de acrílico de 3mm de grosor de 1.6m X 1.9 m.
Bote de pintura (amarilla y azul) de ¼ (250 ml)	\$MXN 172.00 X 2 Botes	Pintura de aceite, color azul para pintar la superficie de madera y amarillo para las superficies de metal.
Jack, conector banana. (Color: rojo, negro, amarillo, azul y verde).	\$MXN 224.00 X 28 Jack conector banana	Con una corona, de diámetro interno de 3.5 mm y de 3.7 mm externo.
Controlador de carga solar modelo KLD1210	\$MXN 336.00	Con dimensiones de 15cm alt. X 3.5cm prof. X 7.8cm larg., solo y único para monitorear paneles solares, un controlador genérico.



Controlador de carga hibrido modelo B087BXW4F9	\$MXN 1,337.04	De la marca PIKASOLA® es un controlador pensado en sistemas híbridos, que manejan aerogeneradores y paneles solares.
Inversor de Corriente SAMLEX SAM-250	\$MXN 1370.00	Inversor pequeño de baja potencia, trabaja con alimentación de 12V _{DC} .
Batería	\$MXN 370.00	Batería tipo Gel, no derramarle, efectivo, pero con poco tiempo de carga.
Mesa de madera móvil	\$MXN 800.00	Una mesa común de 86 cm de alto, desplazable gracias a sus pequeñas ruedas en cada pata.
Panel solar P-50	\$MXN 859.00	Pequeño panel solar de 15cm alt. X 3.5cm prof. X 7.8cm larg., de 50W de potencia.
Lampara de escritorio	\$MXN 120.00	Una simple lampara de escritorio.
Pijas con rondana	\$MXN 76.00 X 14 pijas	Tornillos puntiagudos de cabeza plana de cruz de 20mm, con rondana integrada.
Aerogenerador de la marca PIKASOLA®	\$MXN 5,306.87	Pequeña turbina eólica de tres palas que genera 400W, cuenta con llave hexagonal y un anemómetro digital.
Total, de costos: \$MXN 12,736.91		

Tabla 4.1: Materiales y presupuesto implementado es la realización de este módulo de trabajo.



4.2 Manual de Instrucciones.

- **Nota de gran valor:** Debe aclararse desde el principio. Que el manual de instrucciones presente, contiene información relevante de los manuales de los dispositivos que fueron empleados para este trabajo, tales como, generadores de electricidad, controladores, etc. Este manual de instrucciones va dirigido con finalidades educativas y docentes.

iiiiiiiiiiATENCION!!!!!!!!!!

El M. en C. ingeniero y alumnado a cargo, debe de cerciorarse -antes de realizar la práctica de laboratorio-, de lo siguiente:

- 1.- Que el material proporcionado (materiales de trabajo exclusivos para el módulo mencionado) este en orden y en buen estado. En caso de notar alguna anomalía y desperfecto en el material, se debe reportar a la brevedad a las autoridades responsables del edificio de "laboratorio 3 de Ingeniería eléctrica y electrónica", para tomar las medidas adecuadas.**
- 2.- No se tiene permitido trasladar el módulo didáctico a otro lugar que no sea el laboratorio designado, al igual que sus materiales especiales de trabajo, sin previo aviso o permiso de las autoridades designadas.**
- 3.- No se tiene permitido hacer mal uso del módulo de trabajo, es decir, designarlo a actividades que no correspondan a las prácticas de laboratorio señaladas en este manual o a su intencional perpetración.**

En caso de algún incumplimiento de estas normas establecidas, el responsable será acreedor a las sanciones estipuladas y normalizadas por las autoridades del plantel.



1.- Generador de turbina eólica:

De la mano de la compañía **PIKASOLA INC®**. Es un pequeño aerogenerador que cuenta con una hélice compuesta de **tres palas** diseñadas especialmente con ligeros dobleces y una distribución de peso que ayudan a mitigar el posible ruido incomodo por parte del rotor al momento de mantenerlo operando, dichas palas, están fabricadas a base de **nylon** revestidas con **fibra de carbón**, lo que las hace ligeras, resistentes y no se deformaran tan fácilmente con el pasar de los años.

En cuanto al generador está fabricado en base a imanes permanentes. El encapsulado y el resto de la estructura, está fabricado con una aleación de aluminio y acero inoxidable de alta calidad, lo que lo hace ligero y resistente ante adversidades climatológicas duras como, trabajar a temperaturas que van de los -40°C a los 80°C , humedad, ambientes con salinidad corrosiva.

La **Tabla 4.2** muestra las características técnicas del aerogenerador.

Potencia nominal	200-400 W
Tensión nominal	27-54 V _{DC}
Capacidad de la batería recomendada	12-24 V _{DC} 80-400 Ah
Velocidad de arranque	2.5 m/s
Velocidad nominal	8.2-10.5 m/s
Peso neto del aerogenerador	7.0 Kg
Velocidad nominal del rotor	600-800 RPM
Diámetro del giro del rotor de punta a punta de cada pala	1.2 m
Calibre del cable utilizado para realizar las conexiones	6 AWG; 55 A 8 AWG; 45 A 10 AWG; 30 A

Tabla 4.2: Tabla de características técnicas.

Mantenimiento

El aerogenerador tiene una **vida útil de 15 años**, estipulada en el manual original del fabricante, sin embargo, no queda exento de sufrir averías, a pesar de que se encuentre en todo momento dentro del laboratorio. Los posibles problemas que se pueden presentar son:



- **Los tornillos que sostienen al aerogenerador pueden estar flojos.** Esto se puede detectar fácilmente si al momento de manipular la hélice del aerogenerador de manera manual, este presenta demasiadas vibraciones y en el peor de los casos, movimientos bruscos demasiado notorios. Lo recomendable es volver a fijar todo nuevamente, si se trata del pie que se ha despegado de la mesa de madera, se debe de introducir **taquetes** y si se nota un desgaste en los tornillos y tuercas que mantiene el soporte de metal o de la misma junta del aerogenerador, es recomendable reemplazarlos.
- **Los dispositivos de control de carga están dañados.** Un daño común es que se haya interrumpido la conexión entre el controlador y el aerogenerador, es necesario reconectar los cables; esto puede ser debido a que los cables empezaron a aflojarse lo cual, es necesario cortar la parte floja del mismo cable o reemplazar el cable por completo si está cortado y fijarlo nuevamente. En otro escenario, los indicadores **LED** están dañados o el dispositivo de control esta estropeado por completo y debe de ser remplazado y solo usando el multímetro se puede saber, si entrega el rango de voltaje que estará especificado en este manual.
- **El generador.** En caso de que el problema no coincida con alguno de los puntos anteriores. El problema puede ser más grave, es decir, puede encontrarse entre el **rotor** y el **estator** dentro del encapsulado que protege al generador, puede detectarse si al momento de girar el rotor presenta chirridos o ruidos extraños o no envía los valores de voltaje esperados de tensión. Si esto pasa es preciso parar, lo más probable, es que el estator y el rotor, estén generando demasiada fricción y esto puede llegar a comprometer el generador entero quemándolo.

Debe de aclararse cuatro puntos importantes, para incrementar la vida útil del aerogenerador:

- La velocidad a la que sea sometida el rotor no debe de ser excedida por los valores mencionados anteriormente pues, este puede presentar daños severos e irremediables.
- La eficiencia del rotor también va en función de la estabilidad del aerogenerador, es decir, mientras está operando, es preciso no generar movimientos bruscos en todo el módulo.

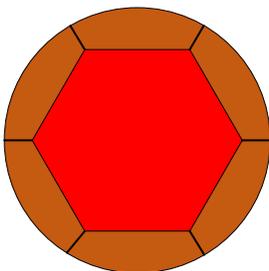


Imagen 4.7: Palanca de entrada hexagonal vista desde el frente.

- Si se desea mover la hélice para hacer funcionar el aerogenerador de manera manual, es necesario usar la **palanca hexagonal** que se encuentra colgando a un lado del módulo. La punta de entrada hexagonal de la palanca debe coincidir con el centro del rotor como se muestra en la **Imagen 4.7**.

Al momento de hacer gira el rotor es importante empezar con movimientos suaves y poco a poco se debe de elevar la velocidad de manera progresiva para evitar algún daño al eje a largo plazo.

- De ser posible. Limpian el aerogenerador con un paño seco o ligeramente húmedo para evitar que las partículas de polvo y suciedad puedan dañar el pequeño aerogenerador y sus terminales. El uso de una aspiradora es mejor y más efectivo.

NOTA: En ningún momento debe de estar demasiado cerca del lado izquierdo donde se encuentra el aerogenerador del módulo de trabajo para evitar que las palas que están en movimiento puedan herir a un alumno.

2.- Panel solar:

El panel solar cuenta con 36 celdas de fabricados de policristalino. Está diseñado para sistemas que trabajan con voltajes de 1000 Volts y es preciso mantenerlo a una temperatura en un rango de $-40^{\circ}\text{C}/80^{\circ}\text{C}$, contando con su vida útil de 40 años. Para aumentar la efectividad del panel solar es necesario encender la lampara incandescente que se encuentra en la parte superior derecha del panel.

La recomendación de mantenimiento es simplemente mantener limpio el panel solar usando un paño seco o ligeramente húmedo y después de terminar de usar el módulo de trabajo es recomendable cubrir el panel solar.

Al ser policristalino, no se debe de golpear la parte superior del panel con objetos contundentes o dejar caer el panel solar ya que los daños pueden ser irremediables. En caso de que el panel solar no arroje los valores de voltajes indicados en el manual, es necesario revisar las conexiones y repararlo a la brevedad, si esto no es suficiente es necesario informar de la situación a los docentes responsables.

Las características técnicas del panel solar instalado, se muestran en la **Tabla 4.3:**

Potencia Máxima (P_m)	50 W
Voltaje Máximo (V_{mp})	18.36 V_{DC}
Intensidad de la Corriente Máximo (I_{mp})	2.72 A
Voltaje entregado en circuito abierto (V_{oc})	22.03 V_{DC}
Corriente entregado a corto circuito (ISC)	2.93 A
Peso	3.5 Kg
Dimensiones	685 x 515 x 30 mm
Rango de Temperatura	$-40^{\circ}\text{C}/80^{\circ}\text{C}$
Modelo	P-50W

Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del panel solar modelo P-50W.



NOTA: El panel solar trabaja en conjunto con el aerogenerador pequeño, por lo cual, es necesario resaltar que el controlador de la parte superior, es controlador propio del panel solar. Mientras que el controlador del segundo panel de control de la parte inferior derecha es un controlador híbrido que maneja ambos dispositivos.

3.- Batería:

Las baterías es una de las partes más delicadas, pues no solo requiere de un mantenimiento apropiado sino, de un lugar adecuado. Si estas no son colocadas en **ambientes cálidos de 20°C**, la vida útil de estas baterías puede verse afectada, por ejemplo;

- El ambiente donde esta es húmedo o muy frio, son propensos a descomponerse por corrosión del encapsulado y sus terminales.
- Es demasiado caliente el ambiente, puede que la batería se vuelva volátil debido al cambio de estado químico violento que puede producirse al incrementar la temperatura de dichos químicos que se encuentran dentro de la batería.

Para hacer funcionar el módulo de trabajo puede hacerse uso de cualquier batería disponible, por ejemplo: **baterías de auto, camión, motocicleta, etc.** Lo importante de estas baterías es que no deben de sobrepasar el rango de voltaje en corriente directa asignado de **12V_{CD} – 24V_{CD}**, mientras la batería cumpla con este requisito y no se observe dichas anomalías de daño o escurrimiento, es posible hacer el uso de estas baterías. En la **Tabla 4.4**, muestra una descripción de los requisitos mínimos.

Voltaje proporcionado (Para baterías de automóvil, camión o GEL selladas)	12 V _{DC} -24 V _{DC}
Corriente proporcionado (Para baterías de automóvil, camión o GEL selladas)	1 A – 2 A
Dimensiones	Indistinto
Peso	Indistinto

Tabla 4.4: Características técnicas, que son a considerar en remplazo de la batería.

Para este módulo se hace uso de una batería eléctrica sellada de GEL, las características que posee se observan en la **Tabla 4.5**:

Voltajes y corrientes, otorgados por la batería en corriente directa.	
En reposo	13.5 V _{DC} – 13.8 V _{DC} ; Sin limite
En uso	14.4 V _{DC} – 15.0 V _{DC} ; 400 mA _{MAX}
Tiempo de carga de la batería	



Corriente de carga recomendado	1.5 A
Tiempo aproximado	10.0 h
Características	
<ul style="list-style-type: none"> • Batería recargable de ácido-plomo. • Sellada no derramable. • Marca de la batería: Genesis. • Dimensiones: Largo: 151 mm x Ancho: 65 mm x Alto: 100 mm • Peso: 2.4 Kg 	

Tabla 4.5: Características de la batería empleada.

NOTA: Las señales o indicadores para saber que una batería se encuentra en mal estado, son:

- Da nulo o no entrega el voltaje requerido (mencionado en el manual), a pesar de que el controlador indique que la batería este totalmente cargada.
- Presenta un voltaje demasiado bajo del promedio, a pesar, de que se cargó la batería con anticipación y este mismo voltaje cae de manera estrepitosa y repentina.
- Ya no es capaz de retener carga, el controlador indica un voltaje mínimo o por defecto, no reconoce la batería.

Es recomendable remplazar la batería ya que, en ese estado, la batería es irrecuperable.

iiiiiiADVERTENCIA!!!!!!

NO INTENTE ABRIR LA BATERÍA CON LA FINALIDAD DE REPARARLA, YA QUE ES DEMASIADO PELIGROSO. LOS QUÍMICOS CORROSIVOS PUEDEN SALTAR DIRECTO A LOS OJOS O LA PIEL O TORNARSE LA BATERÍA VOLÁTIL Y ESTO COMPROMETE LA SEGURIDAD DEL ALUMNO Y EL MAESTRO. DESECHE LA BATERÍA DE MANERA ADECUADA, SEPARÁNDOLA DE LA DEMÁS BASURA O ASEGURÁNDOSE DE IR A UNA RECICLADORA ESPECIALIZADA EN DICHA LABOR.

No debe de confiarse por completo que el panel solar y el aerogenerador cargaran por completo la batería. Debido a que se mantendrá por lapsos de tiempo en reposo, se debe de tener a la mano un **cargador de batería sellada, esta clase de cargador es especialmente para baterías selladas de gel y no para otra clase de baterías.**

Si se remplace la batería actual de gel sellada por una batería de auto o de camión, se debe obtener el cargador especializado para dichas baterías o dirigirse directamente con una central automovilística para cargar la batería. Esta carga debe de hacerse con 1 o 2 días de anticipación antes del día de la práctica de laboratorio.



4.- Controladores:

A). - Controlador de carga solar.

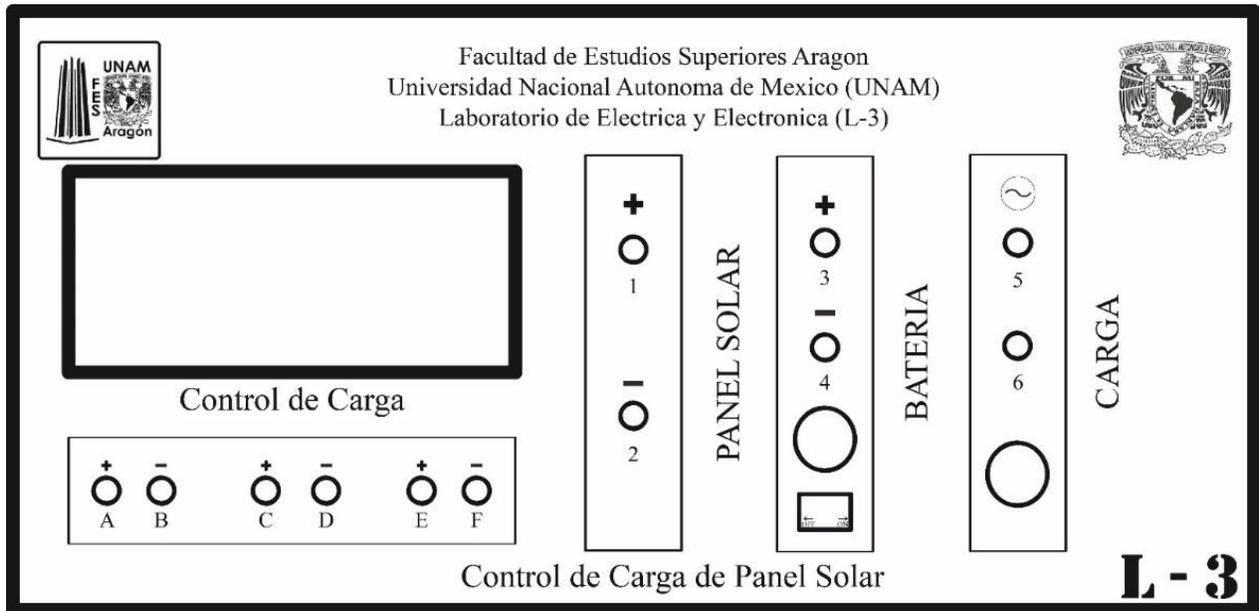


Imagen 4.8: Esquema de controlador solar.

¡El controlador solar es único y exclusivo para monitorear el panel solar, además, la batería es el primer dispositivo que debe de conectarse, antes que nada, debido a que el controlador no podrá entablar una conexión eficiente entre el panel solar y la batería!

La configuración para este controlador se encuentra dentro del primer panel solar de la parte superior como se muestra en la **Imagen 4.8**.

La **Tabla 4.6** y la **Imagen 4.9** describe las características técnicas básicas del controlador.

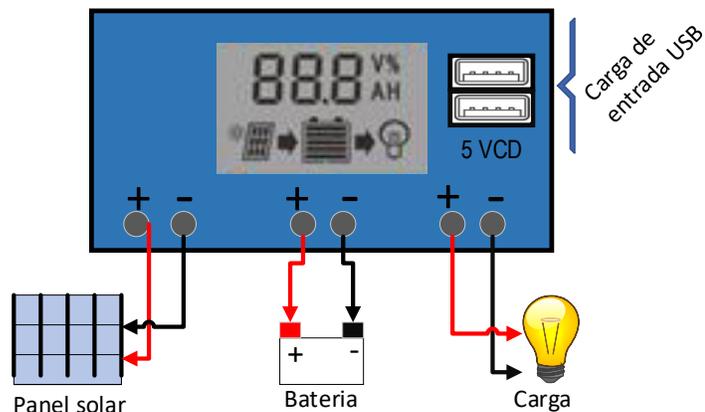


Imagen 4.9: Esquema completo del controlador de carga solar.

Dimensiones, (l x anch. x alt.)	15.0 alt. X 3.5 prof. X 7.8cm larg.
Peso	150 gr
Voltaje entregado en la salida USB	$3 V_{DC} - 5 V_{DC}$
Autoconsumo	<10mA
Voltaje de operación de las baterías	12V/24V
Corriente de carga y descarga	30A
Voltaje de operación máxima del panel solar	<50V
Modelo	KLD1210
Temperatura de operación	-35/60 °C

Tabla 4.6: Características técnicas del controlador.

En la primera parte (la sección del lado de la izquierda) el controlador cuenta con 6 terminales de entrada hacia el controlador y por el otro lado (lado derecho) cuenta con 6 terminales de salida, con sus respectivas agrupaciones señalizadas que están configurados de la siguiente manera:

- **(A+, B-)** Conexión de **entrada** del panel solar hacia el controlador en **corriente directa** (V_{CD}).
- **(C+, D-)** Conexión de **entrada** del control de carga de la batería en **corriente directa** (V_{CD}).
- **(E+, F-)** Conexión de **salida** de carga en **corriente directa** (V_{CD}). Necesaria para alimentar al **inversor**.
- **(1+, 2-)** Conexión de **salida** directa del **"PANEL SOLAR"**, en **corriente directa** (V_{CD}).
- **(3+, 4-)** Conexión de **salida** directa de la **"BATERIA"**, en **corriente directa** (V_{CD}). Cuenta con un interruptor (Switch O/I) de seguridad, solo basta con activar el interruptor (I), el led de la parte superior del switch indicara si la batería está funcionando.
- **(5, 6 ~)** Conexión de **entrada** de alimentación hacia la **"CARGA"**. En corriente alterna (V_{AC}), en esta última conexión, hacemos uso del **inversor** y con ayuda del **indicador led** que se encuentra en la parte inferior sabremos si está funcionando.

Nota: Las señalizaciones deben de respetarse, ya que al trabajar con dispositivos de corriente alterna pueden dañar severamente los demás dispositivos que trabajan exclusivamente con corriente directa.



Como configurar el controlador

Para poder configurar el controlador es necesario conocer los comandos a los cuales tenemos acceso y para eso es necesario conocer los controles del mismo aparato:

	Menú	Presiona el botón para seleccionar el parámetro que deseas configurar. Para acceder y salir de la modalidad de configuración, nuevamente deja presionado el botón.
	Incrementar	Incrementa el valor del rango que hayas seleccionado en modalidad de configuración.
	ON/OFF Decrementar	Decrementa el valor del rango que hayas seleccionado en modalidad de configuración. Para restaurar los valores predeterminados de fábrica, solo mantén presionado este botón. En caso de no estar en la modalidad de configuración, pulsa el botón para activar la carga (switch), presiónalo nuevamente para desactivar esta función.

Existen 5 maneras de configurar el controlador en base a los siguiente:

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voltaje de modo flotante: Parámetro que menciona que después de completar la carga, el controlador sigue enviando voltaje constante para mantener la carga completa de la batería a causa de la descarga involuntaria.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconexión por descarga: Cuando la batería llega a este valor, el controlador inmediatamente reanudara la carga por perdida de voltaje, ya sea por descarga o por uso prolongado.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parada por descarga: Este último indicador muestra que en caso que la batería llegue a cierto límite de descarga total, reanudara la carga, y desconectará la salida de carga y esta no estará disponible hasta que la batería se encuentre en valores aceptables para volver a ser usada.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modo trabajo: Es un temporizador que puede ajustarse para indicar, el periodo de uso de la carga al cual someteremos a la batería y se regula en base a tres horarios distintos: <ul style="list-style-type: none"> - Si elegimos un periodo de 24H; el controlador mantendrá la alimentación de la carga durante las 24 horas del día ininterrumpidas. - Al configurarlo en un periodo de 1-23H; la alimentación se mantendrá un poco más del tiempo después de que se haya ocultado el sol, aquí puedes elegir cuanto tiempo quieres que siga activa la carga. - Si el valor indicado es 0H; estarás indicando que la fuente de alimentación se suspende inmediatamente al atardecer y se reanudara hasta el amanecer, es decir, si el panel solar deja de recibir rayos del sol, este controlador apagara la carga automáticamente.



- **Clase de batería:** Debemos dejar en claro que clase de batería es con la que vamos a trabajar, si esta configuración no se hace de manera adecuada podemos estar comprometiendo a la misma batería y al controlador, el controlador solo trabaja con tres principales tipos de batería las cuales se mencionan aquí:
 - **B01:** Para **baterías selladas** y se atribuye esto porque son baterías a la cuales el fabricante restringió su acceso a la cámara que contienen los químicos hidrolíticos, esta modalidad especialmente para baterías de auto o de camión o GEL, cuyos valores son de 14.2 V-14.7 V en uso y en flotación son valores que van de 13.1 V-13.4 V en carga flotante.
 - **B02:** Para **baterías de celda de GEL** y se atribuye esto porque son baterías a la cuales se le ha añadido silicio a la sustancia electrolítica lo que hace que este último se endurezca, esta clase de batería es más efectiva en ambientes cálidos y es usada con mayor frecuencia en baterías para autos de juguete cuyos valores son de 14.0 V-14.2 V en uso y en flotación son valores que van de 13.1 V-13.3 V en carga flotante.
 - **B03:** Para **baterías inundadas** y se atribuye esto porque son baterías que pueden ser retiradas de su cubierta y rellenadas con agua destilada si se seca el químico en su interior lo que las hace más peligrosas ya que el electrolito es completamente líquido, esta clase de batería es usada con mayor frecuencia en tractores o en vehículos más comunes como carritos de golf, motocicletas, cuatrimotos, cuyos valores van de 14.4 V-14.9 V en uso y en carga flotante con valores que van de 13.1 V-13.4 V.

Mantenimiento

Mantener el controlador limpio con un paño seco para remover el polvo. En cuanto a un posible problema puede presentarse los siguientes escenarios:

- Si los iconos de carga no aparecen en la pantalla LCD, posiblemente la conexión entre los dispositivos y el controlador se ha interrumpido es necesario reconectarlo.
- Si el icono de carga no aparece , lo más probable es que la configuración de carga de la batería se hizo de una manera incorrecta o posiblemente la batería está demasiado descargada que el controlador no es capaz de reconocerla, lo recomendable es cargar la batería por otro método.
- Los iconos en la pantalla parpadean, desconecte la batería y el panel de manera inmediata, pues el panel o la batería están entrando en corto circuito ya sea por un error



de conexión o por añadir otros dispositivos lo que hace que incrementa la potencia a un rango que no está diseñado el controlador.

B). - Controlador híbrido de carga eólico y solar.

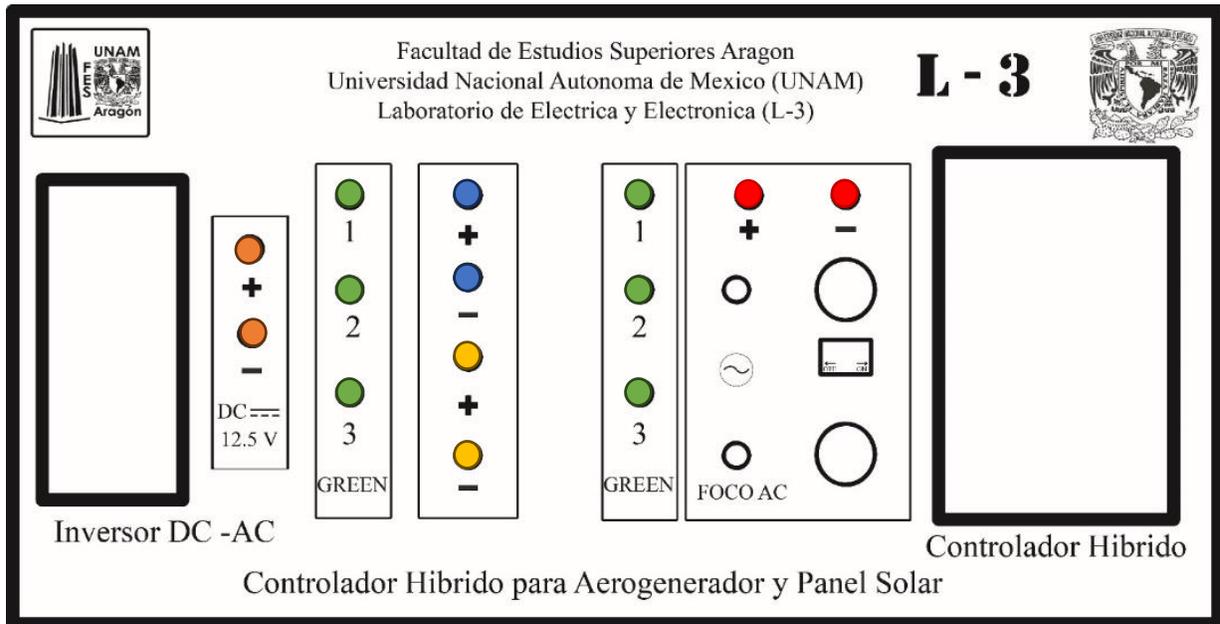


Imagen 4.10: Imagen que explica el panel de control del controlador híbrido.

Entregado por la misma fabricante del pequeño aerogenerador, **PIKASOLA INC®** El controlador de viento utiliza una carcasa de aleación de aluminio con diseño de placa inferior de varios bordes, que aumenta la zona de disipación de calor eso hace que el controlador se mantiene en un estado óptimo. Además, su encapsulado sellado hace que sea impermeable a la

Humedad del ambiente y lo más importante, cuenta con medidas de control contra corto circuito.

La **Tabla 4.7** y la **Imagen 4.11** describe las características técnicas básicas del controlador.

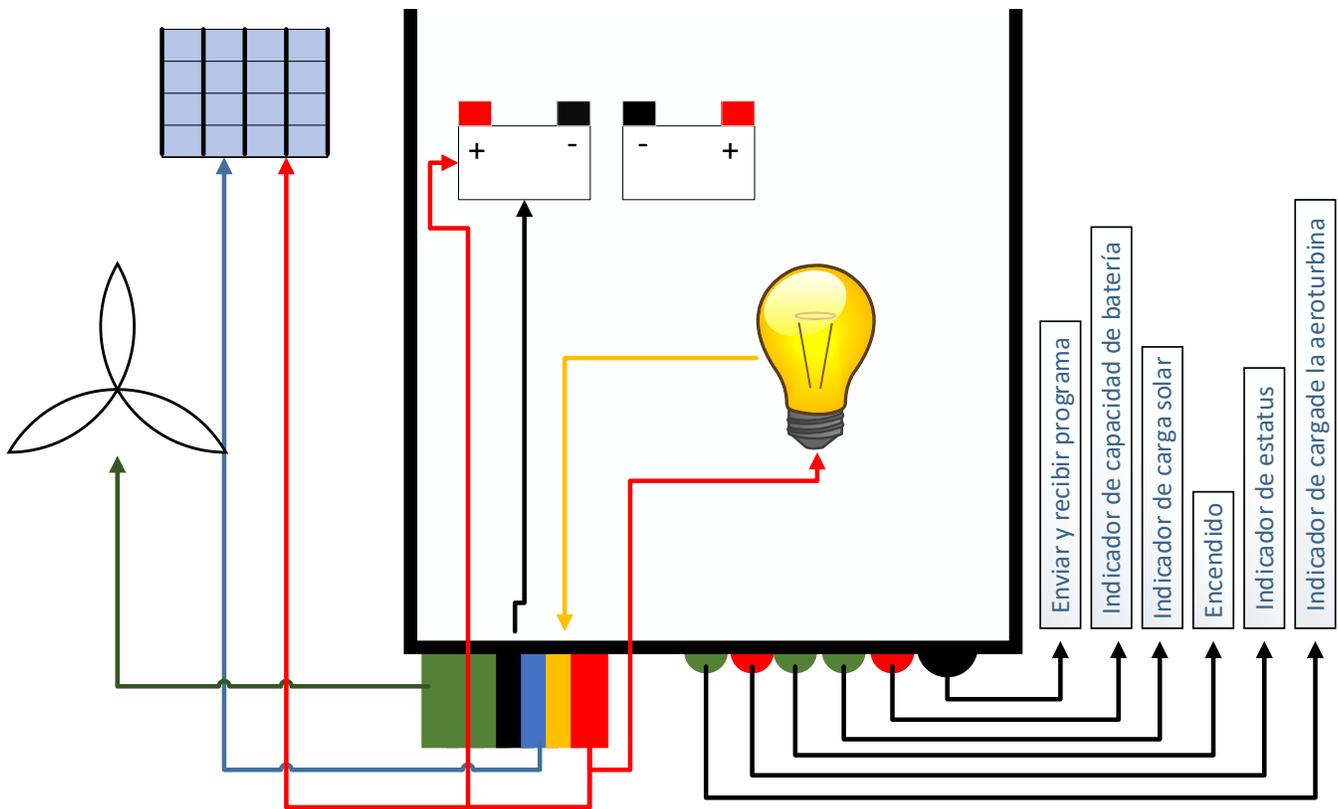


Imagen 4.11: Esquema completo del controlador de carga solar.

Dimensiones, (l. x anch. x alt.)	15.75 x 9.65 x 3.30 cm
Peso	386 gr
Voltaje de operación de las baterías	12V/24V
Corriente de descarga	30A
Voltaje y potencia de operación máxima de la turbina	12V, 400W-24V, 800W
Voltaje y potencia de operación máxima del panel solar	12V, 500W-24V, 1000W

Tabla 4.7: Características técnicas del controlador híbrido.

El segundo panel de control que se encuentra en la parte inferior se divide en dos lados, del lado izquierdo se localiza el inversor y del lado derecho se encuentra nuestro controlador híbrido.

Este controlador es de modalidad automático por lo cual no requiere de configuraciones especiales, sin embargo, las conexiones realizadas en el panel de acrílico se realizaron de la siguiente manera:

- **(1, 2, 3)** Los iconos **verdes** ● son propios para realizar conexiones del **aerogenerador** al controlador. Del lado izquierdo tenemos las terminales de **salida** del aerogenerador, en **corriente alterna (V_{AC})**. Mientras que del lado derecho del panel de acrílico se encuentran las terminales de **entrada** hacia el controlador.
- Para el icono de color **azul** ● son las terminales de **entrada** para el **panel solar** directo al controlador, en **corriente directa (V_{CD})**. Es importante hacer un puente del panel superior del apartado de **PANEL SOLAR** al panel inferior.
- El icono de color **amarillo** ● es para señalar las terminales de **salida** de **carga** que proporciona el controlador híbrido, en **corriente directa (V_{CD})**.
- El icono de color rojo ● es para señalar las terminales de **entrada** de la **batería**, en **corriente directa (V_{CD})**. Para ello hacemos un puente que conecte las terminales del apartado de **BATERIA** del primer panel de acrílico.
- Los iconos blancos ○ son las terminales de **entrada** para conectar la **carga** en **corriente alterna (V_{AC})**, aquí haremos el uso del **inversor**.
- Por último, para el icono naranja ● son las terminales de **entrada** para alimentar el **inversor**, para eso es necesario utilizar las terminales de **carga** ● .

Mantenimiento

- Los posibles problemas que puede tener el controlador son una desconexión de las terminales y tendrás que reanudar la conexión. Si los focos LED no están encendidos a pesar de que el panel solar y la turbina están trabajando correctamente, lo más probable es que hay que reemplazar el controlador por completo.
- Mantenga el controlador limpio con un paño seco o ligeramente húmedo.
- Evite conectar incorrectamente las terminales de entrada y de salida. Esto puede dañar a largo plazo el controlador a pesar de contar con seguridad contra corto circuito.

5.- Inversor:



Imagen 4.12: Inversor de corriente (CD-CA) para un aerogenerador de micro o pequeña potencia, marca Samlexpower, modelo SAM - 250 - 12.

De la mano de la empresa de **samlexamerica**®, el **Inversor de Onda Sinusoidal Modificada CD-CA** es utilizado únicamente para alimentar las terminales de focos de **corriente alterna**.

Las características técnicas que especifican al dispositivo se muestran en la **Tabla 4.8**:

Modelo	Modelo SAM-250-12
Puerto de carga USB	5 V _{CD} , 2.1A
Voltaje de la batería del sistema	12 V _{CD}
Voltaje nominal de entrada	12.5 V _{CD}
Potencia nominal de entrada	300 W- 360W
Rango del voltaje de entrada	10.5 V _{CD} -15.0 V _{CD}
Corriente de entrada en energía continua	22.3A - 24.2A
Corriente de entrada sin energía	0.2A - 0.3A
Voltaje de salida	115 V _{CA}
Frecuencia de salida	60 Hz
Regulación de voltaje de salida	+10% / - 2%
Salida de corriente continua	(carga resistiva) 250W
Salida de corriente para picos	(< 1 seg., carga resistiva) 500W
Punto más alto de eficiencia	(a 50% de energía continua) 90%
Temperatura de operación	0°c a 25°c a 100% de carga; 26°c a 35°c a 80% de carga
Dimensiones, (l x anch x alt)	15.0cm larg. x 4.6cm prof. x 11.44cm anch.
Peso	0.42 kg

Tabla 4.8: Características técnicas del inversor.

Mantenimiento

El dispositivo **inversor** cuenta con un diseño especial con múltiples medidas de seguridad contra cortos circuito, baja o alta potencia, altas temperaturas y sobre corriente.

La **Tabla 4.9** muestra las características técnicas en seguridad:

Alarma ante baja entrada de voltaje	(10.8 V _{CD} -0.3 V _{CD}); apagado (10.5 V _{CD} -0.3 V _{CD})
Apagado ante alta entrada de voltaje	(< 15.5 V _{CD})
Ventilador de enfriamiento, carga controlada, encendido	8 W-12W
Fusible de entrada interna	32V; 30A
Humedad de operación	< 80%

Tabla 4.9: Características técnicas de seguridad del inversor.



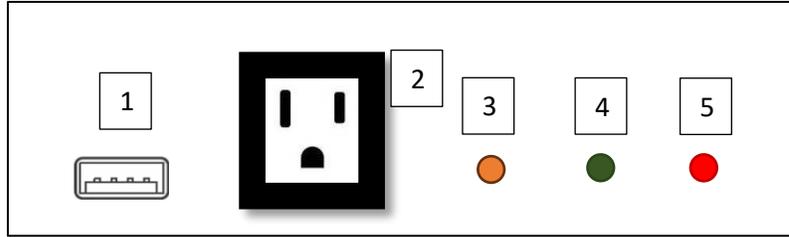


Imagen 4.13: Vista frontal del inversor.

- 1.- Entrada de cable USB hembra, 5VCD-2.1A.
- 2.- Entrada de cable plug de tres fases 115V_{CA}/60 Hz.
- 3.- Error de conexión (Input Fault).
- 4.- Encendido (Power).
- 5.- Error fatal (Fault).

Las situaciones que pueden suscitarse serán advertidas por el inversor por un pitido y los indicadores LED (**Imagen 4.13**) que se encuentran en la parte frontal, dichos casos pueden ser por:

- **Baja potencia.** Este problema será indicado con un pitido continuo de 2 segundos, el LED **naranja (INPUT FAULT)** y **verde (POWER)** se encenderán de manera breve y posteriormente el inversor se apagará. Esto sucede porque, la **batería** no cuenta con suficiente potencia de carga para alimentar al inversor. Lo recomendable es recargar la batería utilizando un dispositivo de carga especial para la batería o usando el mismo modulo.
- **Protección contra corto circuito.** Si existiera un corto circuito debido a un error de conexión provocado por un descuido o de la misma batería, el LED **rojo (FAULT)** se encenderá, al igual que enviara un pitido largo y agudo y bloqueara el inversor de manera inmediata. Cabe mencionar que el **LED rojo** es una señal de un error fatal, por lo cual pueden ocurrir otra clase de escenarios por los cuales hagan que el LED se dispare:
 - Sobrecalentamiento. El control de temperatura no está funcionando, esto es porque el disipador de calor y el ventilador están dañados.
 - Sobre voltaje. Esto se debe a que se ha conectado una batería de mayor capacidad de carga a la cual puede soportar el inversor, la potencia es demasiada que hace que el inversor se bloquee.

NOTA: Si alguna de las entradas del dispositivo resulta dañadas, por ejemplo:

- **Clavija.**
- **Entrada USB.**
- **Diodo Emisor de Luz (LED).**
- **Cables.**
- **Disipador o ventilador (culer).**
- **Fusible.**
- **Etc.**

Los alumnos pueden realizar la reparación del inversor remplazando dichos componentes que son de fácil accesibilidad en el mercado, contando con la aprobación y asesoría de las autoridades responsables o del profesor.

Si el daño es fatal y es irreparable, es preciso notificarlo a las autoridades del edificio.

4.3 Practicas de laboratorio.

Las siguientes prácticas de laboratorio que serán mostradas a continuación, están dirigidas para el uso exclusivo del **módulo de trabajo de generador hibrido de panel solar y turbina eólica.**



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

4.3.1 Practica No. 1.

Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Sistemas Eléctricos de Potencia

Practica Numero 1: Sistema de energía solar fotovoltaica.

- **Objetivo:** Comprender los mecanismos de configuración y adaptación del controlador de carga en conjunto con el panel solar, así mismo, elegir los componentes necesarios para hacer funcionar el sistema de captación de energía solar en base a cálculos especializados.

- Cuestionario previo:

1. Explica ¿Cómo está fabricada y constituida una celda solar? y ¿Cuáles son las variantes de celdas solares existentes?
2. Explica ¿Por qué en el pasado, las celdas de un panel solar eran redondas y ahora son cuadradas?
3. Explica ¿Cómo trabaja la configuración del circuito de un inversor básico?
4. Explica ¿Por qué un inversor senoidal puro es mejor que un inversor cuasi senoidal modificado?
5. Explica ¿Cuáles son los tipos de controlador con los que se puede trabajar, en un sistema aislado de generación de energía fotovoltaica?
6. Investiga los tipos de baterías que actualmente existen en el mercado y ¿Cómo funciona una batería convencional?
7. Explica ¿Cómo determinamos la vida útil de una batería?
8. Explica ¿La ecuación para calcular la velocidad y tiempo de carga y descarga de una batería?
9. Lee y estudia el manual del controlador de carga solar modelo KLD1210.



- **Introducción:**

En un sistema de generación de energía solar, básico, dirigido a los hogares está conformado de la siguiente manera:

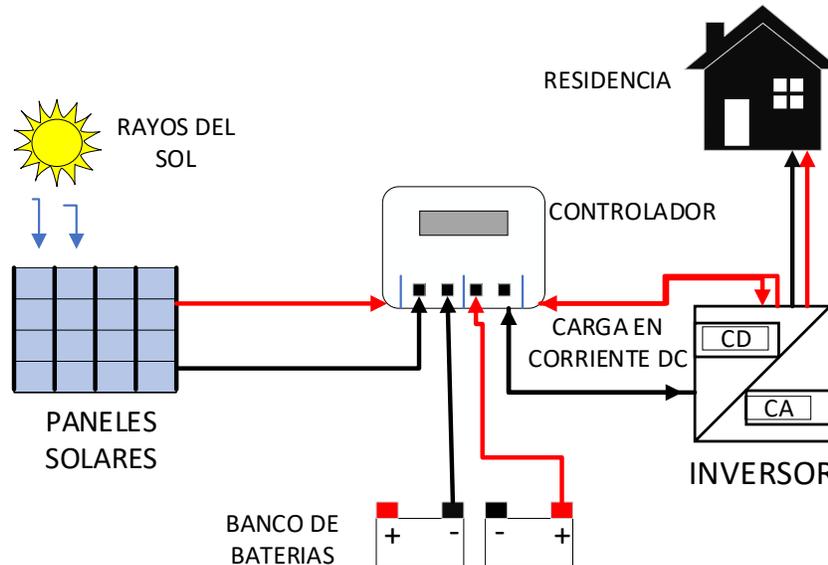


Imagen 4.14: Esquema de un sistema de generación de energía solar de un hogar común.

- **Paneles solares:** Los paneles solares son el intermediario que hace que la luz solar nos sirva de energía. Su diseño es simple, muy eficaz y permite el autoconsumo, lo que fomenta la sostenibilidad.

Por ende, pueden ser configuradas en serie o paralelo y estas configuraciones irán en función de que tanta potencia requiere nuestro sistema.

Si se requiere una gran cantidad de paneles solares se debe seguir la siguiente ecuación de **Potencia fotovoltaica:**

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{((+Ef) * (Consumo\ diario)) + Consumo\ diario}{Periodo\ de\ captacion\ solar\ minima\ (PSH)}$$

El consumo diario se refiere a la cantidad de dispositivos que se utilizan cotidianamente y la potencia total consumida por hora por cada unidad de estos mismos en un día. Una vez obteniendo el resultado final, este debe ser añadido un factor mínimo 20% de seguridad en caso de presentar pérdidas y de esta manera pueda mantener una carga constante.

$$Numero\ de\ modulos\ solares = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ panel\ solar\ elegido}$$

Una vez obtenido la Potencia fotovoltaica, debemos dividir este valor por la potencia otorgada por el panel que elegimos para nuestro sistema, dependiendo de la potencia generada por nuestra clase de panel elegido será el mismo número de paneles que debemos instalar.

- **Baterías:** Es el corazón de nuestro sistema, se encarga de mantener la carga eléctrica para seguir alimentando el sistema o el consumo del usuario cuando el panel solar ya no se encuentra operativo durante la noche. En sistemas de baja potencia para el hogar puede configurarse la batería de dos maneras y estas son: paralelo o en serie.

Sin embargo, un parámetro que debe de tomarse mucho en cuenta, es el ciclo de carga y descarga, que toma como valores de consumo máximos de un 100% como se observa en la tabla inferior:

%	Ciclos	Tiempo	
		Vida útil	Descarga y Carga
100	250	8 meses	1 h
<50	500	1.3 años	2 h
<30	1300	3.5 años	3.3 h
>30	2000	5.4 años	50 h

Tabla 4.10: Parámetros de la batería.

$$vida\ util = \frac{Ciclos}{365\ dias\ del\ año} = ([años])(12\ meses\ del\ año) = [meses]$$

Un valor importante que debe de ser tomado en cuenta es el tiempo de carga y descarga, que puede ser calculado de la siguiente manera:

$$t = \frac{I_B}{I_C} = [H] \quad ; \quad \frac{I_C [A]}{I_B [A]} \rightarrow \frac{X\%}{100\%}$$

Donde:

t = Tiempo de descarga y carga, medido en horas (H).

I_B = Intensidad de la corriente de la batería otorgado por una hora (Ah).

I_C = Intensidad de la corriente consumida por la carga (A).

Es importante procurar que el porcentaje de carga no debe de exceder del 10% y el porcentaje de descarga no debe ser mayor al 30%. Puede calcularse utilizando una simple regla de tres, es decir, el 100% será el total de corriente por hora que proporciona la batería y el porcentaje de descarga ira en función de la cantidad de carga consumida por los dispositivos conectados.



Sin embargo, hay que calcular la cantidad de baterías que debemos utilizar para nuestro sistema en base a los siguientes parámetros:

$$\text{Cantidad de corriente total} = \frac{(W_D)(H_T)}{(V_D)(V_B)} = [Ah]; \frac{(\text{Cantidad de corriente total})}{(\text{Corriente otorgado por la batería})}$$

Donde:

$W_D =$ Consumo diario medido en watts (W).

$H_T =$ Tiempo de consumo medido en horas (h).

$V_D =$ Profundidad adimensional del Voltaje de descarga, por protocolo, se recomienda que la velocidad de descarga no debe revase del 30 %.

$V_B =$ Voltaje otorgado por la batería medido en volts (V).

- **Controlador:** Es el cerebro del sistema, es el encargado de modular el nivel de carga de las baterías y rastrear la cantidad de voltaje generado por el panel solar, además de servir como un excelente dispositivo de seguridad contra sobrevoltaje, corto circuito, etc. Este debe estar acondicionado a la corriente y potencia que se vaya a trabajar.

Si la velocidad de carga no debe de sobrepasar el 10%, entonces en una batería podemos decir:

$$\frac{I_R}{I_B} \rightarrow \frac{10\%}{100\%} = [Ah]; \text{ Para la caga total del banco de baterías } \frac{I_R}{I_C} \rightarrow \frac{10\%}{100\%} = [Ah]$$

Esta es la cantidad de corriente mínima que debe de entregar los paneles y la corriente que admite nuestro controlador para cargar nuestro banco de baterías.

La relación nos indica que, la corriente total de la Batería (I_B) que resulta ser el 100%, solo necesitamos una velocidad de carga (I_R) del 10% de la misma.

Así mismo, podemos corroborar la potencia de nuestro panel solar como se muestra a continuación:

$$(I_C) (+10\% (\text{Voltaje de la batería})) = \text{Potencia del panel recomendado (W)}.$$

- **Inversor:** Es el dispositivo encargado de transformar el tipo de voltaje de corriente directa V_{CD} en voltaje de corriente alterna V_{CA} , y es necesario para otorgar el servicio de consumo al usuario. No obstante, debe seguir los criterios para adaptarse al sistema, es decir, si el inversor trabaja con una corriente de 12 V_{CD} , cual sea el voltaje de alimentación, el sistema solo debe suministrar en todo momento este voltaje. Es muy importante leer el manual del fabricante del inversor elegido e investigar cual es el inversor adecuado, antes de construir nuestro sistema de alimentación solar.



- **Equipo necesario para realizar la práctica:**

- *Equipo otorgado por el laboratorio:*

- 1X Multímetro con sus dos puntas terminales (rojo y negro).
- 6X Cables de entrada plug a plug tipo banana de 1 m de longitud (de preferencia 3 cables de color rojo y 3 cables de color negro).
- 1X Osciloscopio, con su cable BNC - Caimán.
- 1X Batería de gel a 12V_{CD}; 7.0 Ah, (previamente cargada).
- 1X Cable de entrada clavija a plug, clavija de tres líneas-banana.
- 1X Módulo de trabajo didáctico híbrido de generación de energía solar y eólica.

- *Equipo otorgado por el alumno:*

- 1X Cable USB de entrada tipo C, A y B de variantes micro o mini.
- Dispositivo eléctrico que funcione a 5 V_{CD}.



- **Desarrollo:**

1.- Para esta primera parte, has uso de los **cables entrada plug a plug tipo banana** para conectar adecuadamente el panel de control. Para ello, sigue la secuencia que se nos muestra en la **Imagen 4.15:**

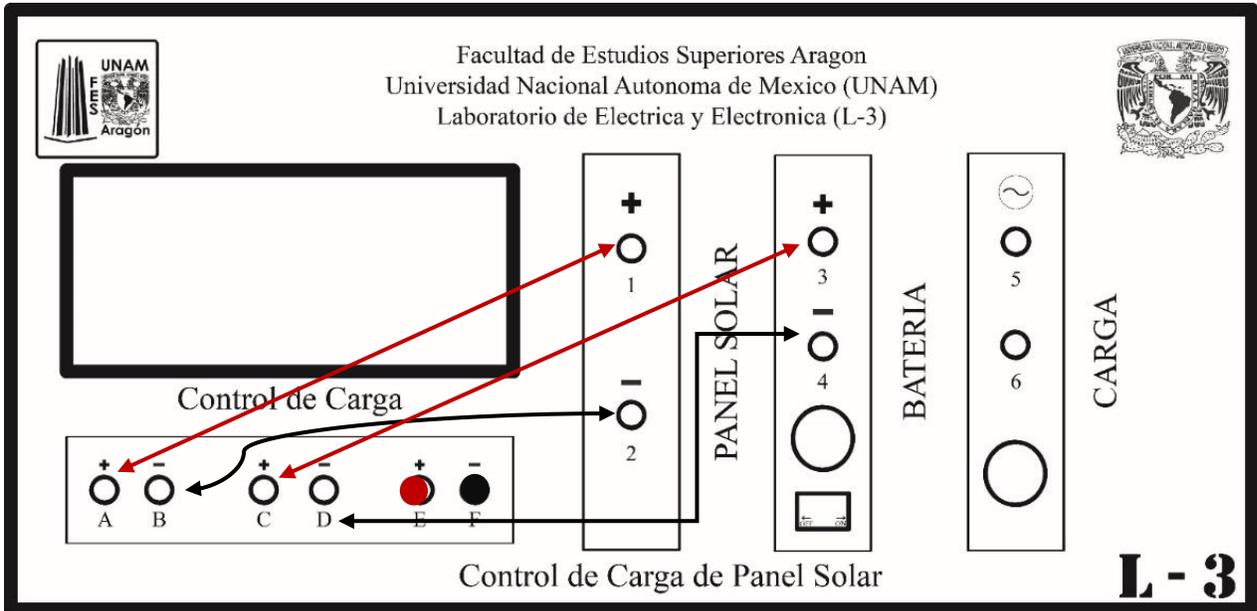


Imagen 4.15: Esquema de secuencia de conexión para el panel de acrílico.

⊕ **Batería:**

- (C+, 3+) Conexión de la terminal de la batería hacia el controlador con polaridad positiva en corriente directa (V_{CD}).
- (D-, 4-) Conexión de la terminal de la batería hacia el controlador con polaridad negativa en corriente directa (V_{CD}).

Cuenta con un interruptor (Switch O/I) de seguridad, solo basta con activar el interruptor (I), el led de la parte superior del switch indicara si la batería está funcionando.

Nota: Es importante conectar primero la batería al controlador para entablar una conexión estable y el controlador pueda reconocer posteriormente que el panel solar está cargando la batería.

⊕ **Panel solar:**

- (A+, 1+) Conexión de la terminal del panel solar hacia el controlador con polaridad positiva en corriente directa (V_{CD}).
- (B-, 2-) Conexión de la terminal del panel solar hacia el controlador con polaridad negativa en corriente directa (V_{CD}).

Nota: Para incrementar la eficiencia del panel solar, enciende la lampara incandescente que se encuentra en la parte lateral superior del módulo, justamente donde reposa el panel solar. Procura poner el foco en un punto que pueda iluminar todo el panel solar, solo asegúralo correctamente.



⊕ Carga:

- (E+, ● +) Conexión de la terminal positiva directa de la carga del controlador al inversor, en corriente directa (V_{CD}).

- (F-, ● -) Conexión de la terminal negativa directa de la carga del controlador al inversor, en corriente directa (V_{CD}).

El inversor se encuentra en el segundo panel de acrílico -para ser específicos- en la parte izquierda inferior, cuenta con un interruptor (Switch O/I). Solo basta con activar el interruptor rojo (I), cuando se active, se oirá un ligero pitido, el ventilador se encenderá por unos breves segundos y el foco led verde se mantendrá encendido.

Para el apartado de CARGA solo es la entrada de voltaje en corriente alterna (V_{CA}), y es necesario conectar el cable de clavija de tres líneas-banana, de la salida del inversor a este apartado.

2.- Configura los siguientes parámetros, en base a lo que se te pide:

- Tipo de batería al cual está conectada al controlador.
- Cambia el valor de voltaje flotante a 13.6 V.
- Cambia el valor de la reconexión de descarga a 11.0V.
- Cambia el valor de la parada de descarga a 10.0V.
- Establezca un tiempo determinado de trabajo de 12 horas.

3.- Usa el **multímetro** para medir el voltaje y la corriente de las terminales del **controlador de carga solar** (no olvides respetar la polaridad de las terminales), anota tus resultados en esta tabla:

Panel solar	V_{CD}	A_{CD}	W
Batería	V_{CD}	A_{CD}	W
Salida de carga	V_{CD}	A_{CD}	W

Enciende el **inversor**, conecta el **cable de entrada clavija a plug, clavija de tres líneas-banana** en la entrada de clavija del inversor y conecta los cables de entrada banana en el apartado de “carga” del panel de acrílico superior (para las entradas banana, el cable rojo es fase, cable blanco neutro y cable verde tierra, este último cable no se usará).

Una vez hecho esto, dirige las puntas del multímetro en las terminales de la “carga”, anote sus valores (toma en cuenta que debe medirse en escala de **corriente alterna**).

Salida del inversor	V_{CA}	A_{CA}	W
---------------------	----------	----------	---



Facultad de Estudios Superiores Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

Con los valores anteriormente anotados, calcule el porcentaje de eficiencia tomando como referencia del 100% los valores nominales del fabricante de los dispositivos medidos; controlador, panel solar, batería y la carga. La eficiencia es calculada de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{V_{Salida}}{V_{entrada}} (100\%)$$

Tomando como voltaje de entrada, los valores otorgados en la tabla de abajo, del segundo rublo:

Panel solar	27.0	V _{CD}	V _{CD}	%
Batería	13.6	V _{CD}	V _{CD}	%
Salida de carga	12.5	V _{CD}	V _{CD}	%
Salida del inversor	127.0	V _{CA}	V _{CA}	%

4.- Localiza los dispositivos que alimenta la batería en todo el módulo. Una vez localizados, calcula en cuanto tiempo tardara en descargarse la batería.

(Has uso de la ecuación de tiempo de carga y descarga, y de los datos previamente obtenidos).

5.- Con ayuda del osciloscopio verifica que el voltaje del panel solar sea puramente en corriente directa. Analiza y observa los resultados.

6.- Por ultimo. Usa el cable USB y conecta un dispositivo a la salida de carga de 5 volts en corriente directa del controlador, ahora, apaga el foco incandescente que está al lado del panel solar, luego, desconecta la batería del controlador, después de observar, vuelve a conecta la batería y desconecta el panel solar. Analiza y observa que sucede.



- **Cuestionario final:**

Resuelve el siguiente ejercicio y al finar da tu propia conclusión relacionando este ejercicio con lo aprendido en el laboratorio:

- **Elabora un sistema de generación de energía fotovoltaica a $24V_{CD}$, donde se alimenten los siguientes dispositivos:**

	Electrodoméstico	Consumo	Cantidad	Hbras de uso diario	Consumo Diario
1	Computador portátil	65 W	1	1 hrs.	Wh
2	Modem de internet	5 W	1	12 hrs.	Wh
3	Equipos celulares	18 W	1	1 hrs.	Wh
4	Focos LED	10 W	1	5 hrs.	Wh
	Total	W		Hrs.	Wh

Posteriormente:

- Completa la tabla de consumo diario del usuario.
- Calcula la cantidad de paneles solares así mismo, el arreglo que utilizaras para tu sistema, suponiendo que la potencia entregada por cada panel que usaras es de $12 V_{CD}$ a $25W$, además, toma en cuenta la Hora Solar Pico (HSP) es de 6 horas ininterrumpidas.
- Calcula la cantidad de baterías así mismo, el arreglo que utilizaras para tu sistema suponiendo que las baterías son de $24 V_{CD}$ a $54Ah$.
- Calcula la vida útil de la batería que utilizaras, dichos parámetros son: cantidad de Ciclos, tiempo de carga y descarga en circuito abierto (toma en cuenta que la velocidad de carga es del 10% y la profundidad de descarga es de no más del 70%).
- Especifica las características técnicas del tipo de inversor y controlador que utilizaras al final (estos dispositivos tienen que ser de uso comercial).
- Por último, dibuja el esquema de tu sistema.



1.3.1 Practica No.2.

Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Sistemas Eléctricos de Potencia

Practica Numero 2: Sistema hibrido de generación de energía eléctrica.

- **Objetivo:** Comprender como funciona y se compone un sistema de generación de energía eléctrica hibrida, así mismo, analizar como los aerogeneradores y los paneles solares trabajan en conjunto, dando mayor prioridad, al sistema generador de energía eólica.
-
- Cuestionario previo:
 1. Investiga y explica los múltiples sistemas que componen a un aerogenerador de alta potencia.
 2. Explica. ¿Por qué es importante implementar la aerodinámica en el diseño de las palas del rotor de un aerogenerador?
 3. Explica las principales diferencias de usar un generador asíncrono y síncrono en el sistema generador de un Aero-generador convencional.
 4. Explica la diferencia entre un sistema hibrido aislado y asistido.
 5. Investiga y explica, ¿Cómo está construido un parque eólico?, ¿Existe alguna diferencia relevante con un parque eólico marino?
 6. Explica ¿Por qué, los aerogeneradores estilo vertical son menos utilizados en el sector industrial eléctrico que los aerogeneradores de clase horizontal?
 7. Estudia y lee el manual de instrucciones del aerogenerador de pequeña potencia de la marca PIKASOLA Inc[®] que se utilizara en la práctica de laboratorio.



- **Introducción:**

En un sistema híbrido aislado de generación de energía eólica y fotovoltaica que es común encontrar en un hogar que sea sustentable, ya sea, elaborado por aficionados o personas expertas en la materia de energías renovables, se encuentra estructurado de la siguiente manera (Observa la **Imagen 4.16**):

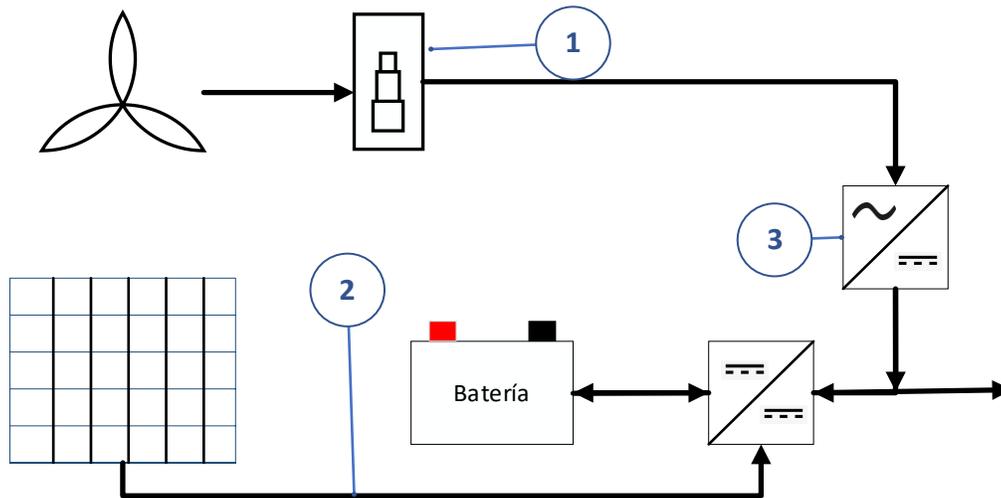


Imagen 4.16: Esquema de un sistema híbrido de generación de energía eólica y solar de un hogar.

1. **Aéreo-turbina:** A lo que respecta a una Aero-turbina, existe un sinnúmero de características y variables que deben considerarse en el dispositivo, ya sea, antes de adquirir o construir uno. Sin embargo, nos enfocaremos en tres sistemas principales que completan a una Aero-turbina y esos son el sistema de soporte, orientación y generación eléctrica.

- Sistema de soporte: Este sistema es el más básico de todos, consiste en calcular la altura a la cual será suspendido la turbina eólica, dicha tarea será gracias a la torre que debe ser medida cuidadosamente en base a la ley de Hellman, calcular el diámetro de barrido de las palas, al igual que la longitud y peso de las palas puestas en el rotor del eje.

- Sistema de Orientación: Para este sistema se requiere de instrumentos de medición puestos en el encapsulado del Aero-generador, dichos instrumentos son:

- ✓ Anemómetro.
- ✓ Veleta.

Actualmente estos dos instrumentos son de carácter digital, lo cual proporciona un control de datos más amplios y precisos, esta información otorgada por estos dispositivos de medición, nos permite obtener estadísticas que esperamos a largo plazo. Estas características de las que estamos hablando serían: la velocidad del viento que trabaja en conjunto con la denominada Tabla de Beaufort y con

ayuda de conocimientos amplios en meteorología facilitan la manera de interpretar el fenómeno y comportamiento del viento.

- Sistema de generación eléctrica: La forma en cómo funciona este sistema es bastante sencillo. El aire golpea las palas del rotor y este empieza a mover el eje que conecta con la caja multiplicadora (“Gear Box”) así mismo este mueve otro eje a mayor velocidad el cual hace funcionar el generador eléctrico ya que, transforma la energía mecánica en electricidad y dicha electricidad se dirige hacia los cables de la red de consumo principal del hogar.

2. **Panel solar y batería:** El panel solar es denominado en este caso, como un dispositivo auxiliar de generación de energía de distinta naturaleza al eólico principal y como ya se ha estudiado anteriormente, se conecta paralelamente a la batería, que al ser un dispositivo que también otorga electricidad puede ser considerado como un dispositivo auxiliar.

3. **Controlador:** Este se encarga de recolectar la cantidad de electricidad generada por todos los dispositivos conectados, sin embargo, se comporta de manera distinta del panel solar y la Aero-turbina. Por ejemplo;

Para el aerogenerador este contienen un **convertidor** dentro, que no es más que un transformador para entregar el voltaje en corriente directa y consiguientemente un inversor para transformar el voltaje en corriente alterna y esto es con la finalidad de amplificar el voltaje y suavizar la señal, sin embargo, en un sistema de mucho mayor potencia, el control especializado para esta tarea sería bastante costoso.

Para el caso de esta práctica, el controlador se encuentra separado del aerogenerador.

Para el sistema generador que es propio de la Aero turbina. Consiste en una serie de ecuaciones y expresiones para poder encontrar el valor de la **potencia real aprovechable**, y son las siguientes:

- Área de barrido. Resulta la superficie que abarca el rotor junto con sus palas al mantenerse en movimiento a causa de la energía cinética del viento que golpea este último.

$$A = (\pi)(r^2) ; ((\pi)(D)^2 / 4) [m]$$

r = Radio del área de barrido, desde el centro del rotor a la punta de una pala (m).

- Tomemos en cuenta que la densidad del aire puede diferir a causa del cambio de temperatura y con ello la presión atmosférica puede tomar nuevos valores:

$$\rho = (P)/(R)(T) \quad \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

P = Presión atmosférica ($Pa = N/m^2$).

R = Calor específico del vapor de agua en aire seco ($287.05 J/(KgK)$).



T = Temperatura medida en unidades **Kelvin (K)**.

- **Potencia teórica o ideal.** Es la cantidad de potencia que llega a golpear las palas del rotor, se llama así porque, en teoría, es la cantidad de potencia exacta si no existieran obstáculos, corrientes parásitas o alguna anomalía del exterior. Esta ecuación parte de las expresiones para medir la **Energía cinética**, el **Flujo volumétrico** y el **Flujo másico**.

$$W_{Teorica} = \frac{1}{2}(\rho)(A)(v^3) \quad [W]$$

A = Área del rotor del aerogenerador, medido en **metros al cuadrado (m^2)**.

v = Velocidad del viento medido en **metros sobre segundo (m/s)**.

ρ = Densidad del aire, comúnmente se usa como referencia que el valor es de **1.20 (Kg/m^3)** a una temperatura ambiente de **20 °C**.

- **Coefficiente de Betz.** También conocido como el **límite de Betz**, se expresa como un valor adimensional, debido a que, es el porcentaje de eficiencia cinética máxima aprovechado del viento en un equipo de una Aero-turbina.

$$C_p = (0.592) = (59.20\%)$$

- **Potencia real aprovechable.** Es la potencia real que involucra a todo el sistema, desde las palas del rotor hasta el último componente del sistema, los valores de eficiencia son porcentuales y pueden ser calculados, en este caso se toma como punto de referencia una eficiencia del 90%.

$$W_{Real} = (W_{Teorica})(C_p)(n_1)(n_2)$$

C_p = Coeficiente de Betz.

n_1 = Eficiencia por la sección mecánica.

n_2 = Eficiencia por los componentes eléctricos.

Lo anterior nos permite encontrar el Rendimiento Aerodinámico o global que resulta ser la eficiencia porcentual global de la máquina eólica en conjunto a todo el sistema, la siguiente relación consta de:

$$\eta_g = \left[\frac{(W_{Real})}{(W_{Teorico})} \right] (100\%)$$

Donde:

$W_{teorica}$ = Potencia teórica o ideal.



W_{Real} = Potencia real.

Por último, si el sistema requiere de una mayor cantidad de aerogeneradores podemos calcular la cantidad de aerogeneradores que se van a utilizar en el sistema que se desea construir, debe tomarse en cuenta la siguiente expresión:

$$\text{No. de aerogeneradores} = \frac{(F_P)(W_n)}{(W_{Real})}$$

Donde:

W_n = Potencia necesaria o requerida por el usuario.

F_P = Factor de planta $\left(\frac{(E_P)}{(E_T)}\right)$.

W_{Real} = Potencia real obtenida en la alimentación de la red expresada en **vatios (W)**.

El denominado Factor de planta resulta del cociente de los datos registrados de la energía producida en un año de un sistema ya existente entre, la cantidad de energía que se tiene planeado o minuciosamente calculado en el mismo periodo.

Equipo necesario para realizar la práctica:

- *Equipo otorgado por el laboratorio:*

- 1X Multímetro con sus dos puntas terminales (rojo y negro).
- 1X Cinta métrica.
- 1X Tacómetro digital.
- 1X Palanca de cabeza hexagonal.
- 9X Cables de entrada plug a plug tipo banana de 1 m de longitud (de preferencia 6 cables de color rojo y 3 cables de color negro).
- 1X Osciloscopio, con su cable BNC - Caimán.
- 1X Batería de gel a 12V_{CD}; 7.0 Ah, (previamente cargada).
- 1X Cable de entrada clavija a plug, clavija de tres líneas-banana.
- 1X Módulo didáctico híbrido de generación de energía solar y eólica.

- *Equipo otorgado por el alumno:*

- 1X Cable USB tipo C, A y B de variantes micro o mini.
- Dispositivo eléctrico que funcione a 5 V_{CD}.



- **Desarrollo:**

Para esta primera parte, has uso de los **cables entrada plug a plug tipo banana** para conectar adecuadamente el panel de control, para ello, sigue la secuencia que se nos muestra en la **Imagen 4.17:**

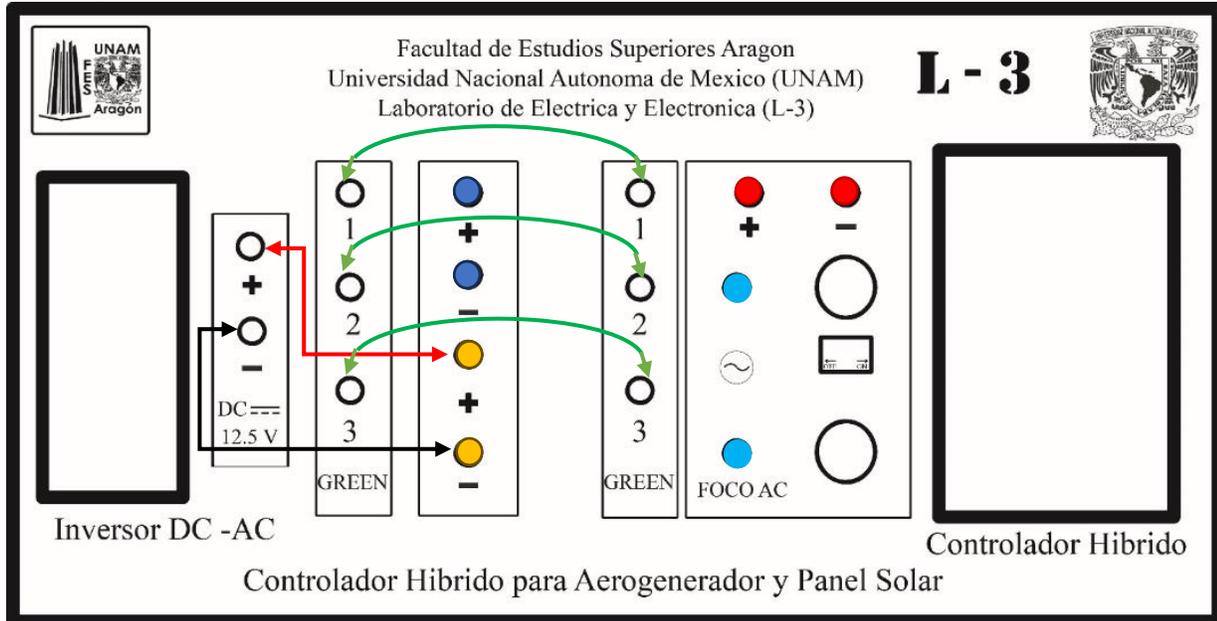


Imagen 4.17: Imagen que explica el panel de control del controlador híbrido.

- ⊕ **Batería:**

- El icono de color rojo ● es para señalar las terminales de entrada de la batería, en corriente directa (V_{CD}). Para ello hacemos un puente que conecte las terminales del apartado de BATERIA del primer panel de acrílico que se encuentra en la parte superior.

Cuenta con un interruptor (Switch O/I) de seguridad, solo basta con activar el interruptor (I), el led de la parte superior del switch indicara si la batería está funcionando.

Nota: Es importante conectar primero la batería al controlador para entablar una conexión estable y el controlador pueda reconocer posteriormente que el panel solar y el aerogenerador están cargando la batería.

- ⊕ **Panel solar:**

- Para el icono de color azul marino ● son las terminales de entrada para el panel solar directo al controlador, en corriente directa (V_{CD}). Es importante hacer un puente del panel superior del apartado de PANEL SOLAR al panel inferior.

Nota: Para incrementar la eficiencia del panel solar, enciende la lampara incandescente que se encuentra en la parte lateral superior del módulo, justamente donde reposa el panel solar. Procura poner el foco en un punto que pueda iluminar todo el panel solar, solo asegúralo bien.

⊕ Aero-turbina:

- (1, 2, 3) Las flechas verdes son propios para realizar conexiones del aerogenerador al controlador. Del lado izquierdo tenemos las terminales de salida del aerogenerador, en corriente alterna (V_{AC}). Mientras que del lado derecho del panel de acrílico se encuentran las terminales de entrada hacia el controlador, como se muestra en la **Imagen 4.17**.

⊕ Carga:

- El icono de color amarillo ● es para señalar las terminales de salida de carga que proporciona el controlador híbrido, en corriente directa (V_{CD}) estas dos terminales irán conectadas directo a las terminales del inversor respetando la polaridad que se está señalizando.

El inversor cuenta con un interruptor rojo (Switch O/I), solo basta con activar el interruptor (I), cuando se active se oirá un ligero pitido, el culer se encenderá por unos breves segundos y el foco led verde se mantendrá encendido.

Los iconos de azul celeste ● son las terminales de entrada de voltaje en corriente alterna (V_{CA}) directo al **led amarillo** para el apartado de **FOCO**, y es necesario conectar el **cable de clavija de tres líneas-banana**, de la salida del inversor a este apartado.

NOTA: El alumno puede hacer uso del cable USB para conectarlo a la entrada USB del inversor, a su dispositivo y así comprobar el funcionamiento de esta terminal.

2.- Usa el **multímetro** para medir el voltaje y la corriente de las terminales del **controlador de carga solar** (no olvides respetar la polaridad de las terminales), anota tus resultados en esta tabla (toma en cuenta que debe medirse en escala de **corriente directa**):

Panel solar	V_{CD}	A_{CD}	W
Batería	V_{CD}	A_{CD}	W

Con ayuda de la palanca de entrada hexagonal, has girar el rotor del aerogenerador y posteriormente mide las terminales (asegúrate de que los cables no estorben el área de barrido de las palas).

Conexión trifásica del aerogenerador	V_{CA}	V_{CA}	W
--------------------------------------	----------	----------	---

Asegúrate que el panel solar y el aerogenerador están funcionando. Una vez asegurándote de ello, usa el multímetro para medir las terminales de la salida de carga.

Salida de carga	V_{CD}	A_{CD}	W
-----------------	----------	----------	---

Enciende el **inversor**, conecta el **cable de clavija de tres líneas-banana** en la entrada de clavija del inversor y conecta los cables de entrada banana en el apartado de “foco” del panel de acrílico inferior



(para las entradas banana, el cable rojo es fase, cable blanco neutro y cable verde tierra, este último cable no se usará).

Una vez hecho esto, dirige las puntas del multímetro en las terminales del apartado “foco”, anote sus valores (toma en cuenta que debe medirse en escala de **corriente alterna**).

Entrada de foco	V_{CA}	A_{CA}	W
-----------------	----------	----------	-----

Con los valores anteriormente anotados, calcule el porcentaje de eficiencia tomando como referencia del 100% los valores nominales del fabricante de los dispositivos medidos; controlador, panel solar, aerogenerador, batería y la carga.

Panel solar	27.0	V_{CD}	V_{CD}	%
Batería	13.6	V_{CD}	V_{CD}	%
Conexión trifásica del aerogenerador	127.0	V_{CA}	V_{CA}	%
Salida de carga	12.5	V_{CD}	V_{CD}	%
Entrada del foco	127.0	V_{CA}	V_{CA}	%

3.- Con ayuda del osciloscopio verifica la señal del voltaje del aerogenerador y que sea puramente en corriente alterna (V_{CA}), haz esto en las tres terminales, empieza girando suavemente el rotor e incrementa gradualmente la velocidad hasta alcanzar su máxima potencia. Analiza y anota tus resultados.

4.- En base a lo que has observado y analizado, determina si el generador que implementa la turbina eólica es de carácter síncrono o asíncrono, explica tus argumentos.

5.- Calcula la potencia real aprovechable del sistema que actualmente estas trabajando, contando con los siguientes datos:

- ✓ Usa la cinta métrica para obtener el área de barrido (toma en cuenta, que debes medir desde la punta de la pala hasta el centro del rotor).
- ✓ Usa como valor del coeficiente de Betz el valor máximo de 0.592 (59.20%).
- ✓ Para la densidad del aire, puedes hacer uso de la red de internet y tomar como referencia los datos de la temperatura y presión del día de hoy de la ciudad (verifica que los datos sean confiables).
- ✓ Para el valor de la velocidad del viento, has girar lo más rápido posible el rotor, con cuidado y rápido, usa el tacómetro digital para tomar una lectura de no más de un segundo, si el valor dado está en revoluciones por minuto, transforma las unidades en metros sobre segundo.
- ✓ Para la eficiencia por parte de los componentes mecánicos y eléctricos, toma como dato que los equipos funcionan a un 90% (0.90) de eficiencia



- **Cuestionario final:**

Resuelve el siguiente ejercicio y al final, da tu propia conclusión relacionando este ejercicio con lo aprendido en el laboratorio:

- **Elabora un sistema de generación de energía híbrida a $24V_{DC}$, tomando en cuenta la siguiente información:**
 - El sistema debe de otorgar una potencia diaria total de $550W$ con un periodo autónomo de 6 horas ininterrumpidas, además, debe de contar con mínimo un panel solar y una Aero-turbina.
 - Para la Aero-turbina se cuenta con los siguientes datos:
 - Una velocidad del viento de 12.0 m/s .
 - Área de barrido contando con un diámetro de 1.15m .
 - El sistema mecánico de captación y el sistema de generación eléctrico funciona a un 90% de eficiencia.
 - La zona residencial se encuentra a una temperatura cálida de 24°C a una presión atmosférica de 80KPa .
 - El límite de Betz es de 56.02% .
 - Para el panel solar se cuenta con los siguientes datos:
 - El panel solar entrega una potencia de $25W$ a 24 V_{CD} .
 - La Hora Solar Pico (HSP) es de 6 horas ininterrumpidas.
 - Calcula la cantidad de baterías que utilizaras en tu sistema de pequeña potencia, (toma en cuenta que la velocidad de carga es del 10% y la profundidad de descarga es de no más del 70% y que la batería es de 24 V_{CD} y otorga 50Ah).
 - Calcula el Rendimiento Aerodinámico, y la cantidad de aerogeneradores necesarios para el sistema, (toma en cuenta que el **factor de planta es despreciado**).
 - Especifica el controlador e inversor que utilizaras en tu sistema de pequeña potencia, (estos dispositivos tienen que ser de uso comercial).
 - Por último, dibuja el esquema de tu sistema.





Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES:

Al final se puede concluir que esta clase de tecnología tiene un futuro prometedor, esto porque puede tener el alcance de minimizar los problemas de consumo energético, pues durante todo este trabajo se expone que el Aero-generador es un sistema gigantesco de múltiples sistemas lo que abre la posibilidad de ampliar el campo de investigación para cualquier rama de estudio de ingeniería. Sin embargo, hay múltiples características que la hacen que -por ahora-, no sea una tecnología que pueda estar disponible para el público en general. Esto es más que nada, porque la cantidad de energía eléctrica que puede suministrar el sistema es mínima, es decir, el sistema aislado solo alimentaría aparatos eléctricos de bajo consumo como: licuadoras, secadoras, equipos celulares, computadoras portátiles, etc. Y por si fuera poco el equipo que se requiere para instalar esta clase de sistemas de baja potencia al igual que el servicio de instalación resulta ser demasiado costoso para la mayoría de la población promedio. A pesar de eso, en estos tiempos podemos percatarnos que más familias instalan o cuentan con dispositivos de este carácter como, por ejemplo: calderas solares o cargadores solares para equipos celulares. Debo de aclarar que el módulo didáctico desarrollado a lo largo de todo este tiempo, tiene alcances significativos, con eso me refiero a la posibilidad de dos proyectos adicionales a mi trabajo, como; un dispositivo cargador universal de baterías y un sistema de control de velocidad del aerogenerador, estos dos últimos proyectos dirigidos al módulo didáctico, no serán realizados por mi sino por alumnos y compañeros de la comunidad de ingeniería de la Universidad y por la comunidad científica y de oficio.

Al final hay mucho por investigar en este campo, y el trabajo realizado en esta tesis no ha sido fácil, pues muchas de las fuentes consultadas otorgan distintos puntos de vista y comentarios que resultan ser agobiantes y confusos.

Espero que mi trabajo contribuya a tomar más en serio esta materia de investigación en energías sustentables. De tal modo que desarrollando estas dos prácticas de laboratorio sean suficientes para inspirar a los jóvenes alumnos a especializarse más, en este campo.



BIBLIOGRAFÍAS:

CFE (Comisión Federal de Electricidad®) (2022), “**Historia de la CFE: Momentos de la CFE**”, rescatado el 05 de mayo del 2022, de <https://www.cfe.mx/nuestraempresa/pages/historia.aspx>

©Centro Estudio Cervantino (2020), “**Velocidad angular**”, recuperado el 26 de diciembre de 2022, de <https://www.centroestudioscervantinos.es/velocidad-angular/>

González Velasco Jaime, (2009), “**Energías renovables, Capítulo 2: Aprovechamiento térmico de la energía solar**” pág. 59, ed. REVERTE, S.A., Barcelona Loreto, 13-15, Local B 08029, Total pág. 657, ISBN: 9788429179125, Recuperado el 21 de abril de 2023.

© IBERDROLA S.A (2022), “**150 años de camino a la sostenibilidad: historia de la electricidad**”, “IBERDROLA”, recuperado el 05 de mayo del 2022, de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/historia-electricidad>

© IBERDROLA S.A., (2023), “**¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA?: ¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?**”, recuperado el 12 de mayo del 2022, de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

José María de la Juana Sardón (Coordinador), Alonso de Francisco García, José María de Juana Sardón, Florentino Santos García, Antonio Crespo Martínez, Miguel Ángel Herrero García, Jesús Fernández González, (octubre 2003), “**Energías Renovables para el Desarrollo, Capítulo 1: La energía**” Pag.5, ed. Paraninfo S.A. Segunda edición, Magallanes 25, 28015 Madrid España, No. pág. 336, ISBN: 97884228728647, Recuperado el 21 de abril de 2023.

Julieta C. Schallenberg Rodríguez, Gonzalo Piernavieja Izquierdo, Carlos Hernández Rodríguez, Pedro Unamunzaga Falcón, Ramón García Déniz, Mercedes Díaz Torres, Delia Cabrera Pérez, Gilberto Martel Rodríguez, Javier Pardilla Fariña, Vicente Subiela Ortin, (2008), “**Energías renovables y eficiencia energética; 5. Energía eólica**”, pág. (82), Primera edición, ISBN 978-84-69093-86-3, depósito legal TF 1000-08, recuperado el 04 de agosto de 2022, de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

J. M. Escudero López (2003), “**Manual de energía eólica; Colección de energías renovables**”, 2° Edición corregida, Rio Panuco, 141-Col. Cuauhtémoc 06500 México, (Lugar natal Madrid-España), Ed. MundiPrensa (MP); No. De Paginas 475, ISBN: 978-84-8476-363-5, Deposito legal: M-28.378-2011 recuperado el 29 de agosto de 2022.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

J. M. Escudero López (2003), **“Manual de energía eólica; Colección de energías renovables: Capítulo 4: Aerodinámica de las máquinas eólicas”**, Pagina 29, 2° Edición corregida, Madrid-España, Ed. Mundi – Prensa (MP); No. De Paginas 475, recuperado el 29 de agosto de 2022.

J. M. Escudero López (2003), **“Manual de energía eólica; Colección de energías renovables: Capítulo 5: Aspectos básicos de los aerogeneradores”**, Pagina 39, 2° Edición corregida, Madrid-España, Ed. Mundi – Prensa (MP); No. De Paginas 475, recuperado el 29 de agosto de 2022.

J. M. Escudero López (2003), **“Manual de energía eólica; Colección de energías renovables: Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal”**, Pagina 51, 2° Edición corregida, Madrid-España, Ed. Mundi – Prensa (MP); No. De Paginas 475, recuperado el 30 de agosto de 2022.

J. M. Escudero López (2003), **“Manual de energía eólica; Colección de energías renovables: Capítulo 7: Aerogeneradores de eje vertical”**, Pagina 81, 2° Edición corregida, Madrid-España, Ed. Mundi – Prensa (MP); No. De Paginas 475, recuperado el 29 de agosto de 2022.

Karen Rodríguez Rosales, Francisco Javier de Moure Flores y José Guadalupe Quiñones Galván (julio-septiembre del 2020), **“Energía solar fotovoltaica, ciencia”**, [vol. 71, numero 3], No. Pag i-6, recuperado el 10 de mayo del 2022, de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/X1_71_3_1267_EnergiaSolar.pdf

© LED SOLAR, (2017), **“Celdas fotovoltaicas, qué son y cómo funcionan”**, recuperado el 10 de mayo del 2022, de https://www.ledsolar.com.mx/celdas-fotovoltaicas-y-panelessolares/#Principales_aplicaciones

Miguel Villarrubia López, (2014), **“Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 2: FÍSICA DE LA ATMOSFERA: EL VIENTO”**, Pagina 24, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 12 de marzo de 2023.

Ministerio de Educación (2007), **“Unidad Didáctica, Meteorología y Climatología; Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004: 5. LOS MAPAS METEOROLÓGICOS”** pagina 50, 141 páginas, Editora Ciencia-Fundación Española Ciencia y Tecnología (FECYT), Impresión Villena Artes Gráficas, Diseño Global Diseña, ISBN: 84-688-8535-5, recuperado el 12 de marzo de 2023.

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), **“Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 4: CARACTERIZACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DEL VIENTO: 4.8 Potencia eólica disponible. Potencial eólico.”**, Pagina 91, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 12 de marzo de 2023.



Miguel Villarrubia López, (abril 2014), **“Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 5: AERODINÁMICA DE LOS AEROGENERADORES: 5.8 Potencia eólica extraída. Coeficientes de potencia y de par”**, Pagina 120, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 12 de marzo de 2023.

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), **“Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 5: AERODINÁMICA DE LOS AEROGENERADORES: 5.9 Potencia eólica extraída máxima teórica. Límite de Betz”**, Pagina 124, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 12 de marzo de 2023.

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), **“Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 5: AERODINÁMICA DE LOS AEROGENERADORES: 5.10 Flujo de potencias en un aerogenerador”**, Pagina 126, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 12 de marzo de 2023.

Óscar A. Jaramillo Salgado y Marco A. Borjas Díaz (abril-junio 2010), **“Energía del Viento”**, Revista Ciencia, pp. (27), artículo recuperado el 14 de julio de 2022, de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaViento.pdf

Pedro Francisco García Martín, (2022), **“Energía solar fotovoltaica para todos, Capítulo 2: Componentes de las instalaciones solares fotovoltaicas; 2.1 Paneles solares”** pág. 16, (Indefinido, España), ed. Marcombo, S.L. Segunda edición, No. pág. 232, ISBN: 9788426734518, 8426734510, Recuperado el 21 de abril de 2023.

Paul Allen Tipler, Gene Mosca, (octubre 2004), **“Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 28: Inducción Magnética”** Pag.831, ed. REVERTE, S.A. Quinta edición, Versión al español impresa en España, Barcelona por Ferre Olsina, No. pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 21 de abril de 2023.

Salvador Cuco Pardillos (2017), **“Manual de Energía Eólica (Desarrollo de Proyectos e Instalaciones), Capítulo 2: Origen y características del viento”**, pagina (11), ed. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, ISBN: 978-84-9048-514-9, recuperado el 15 de agosto de 2022, de https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/fec4b8c2-1850-4838-8819-84043444dcc4/TOC_0500_04_01.pdf?guest=true

Tomas Perales Benito (2010), **“Guía del Instalador de Energía Eólica: Capítulo 2: Recursos Eólicos”**, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 24 de septiembre de 2022.



Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica: Capítulo 3: Aplicaciones de los Modernos Molinos de Viento**”, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 24 de septiembre de 2022.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

ANEXOS:

Magnitud	Sistema Ingles (FPS)	Sistema Internacional (SI)	Sistema Cegesimal (CGS)
Longitud	Pie (f)	Metro (m)	Centímetro (cm)
Masa	Libra (lb)	Kilogramo (kg)	Gramo (gr)
Tiempo	Segundo (s)	Segundo (s)	Segundo(s)
Área (Superficie)	f^2	m^2	cm^2
Volumen	f^3	m^3	cm^3
Velocidad	f/s	m/s	cm/s
Aceleración	f/s^2	m/s^2	$(cm/s^2) = Gal$
Fuerza	$(lb)(f/s) = Poundal$	Newton (N)	$(dyn) = Dina$
Trabajo o energía	$(poundal)(pie)$	Joule (J)	$(dyn)(cm) = Ergio$
Presión	$poundal/f^2$	Pascal (Pa)	$(dyn/cm^2) = Baria$

Tabla 1.2: Sistema internacional de Unidades, Sistema Ingles y Sistema Cegesimal.

Paul Allen Tipler, Gene Mosca, (octubre 2004), "Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Abreviaturas de Unidades" Pag.03, ed. REVERTE, S.A. Quinta edición, Versión al español impresa en España, Barcelona por Ferre Olsina, No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 29 de diciembre de 2022.

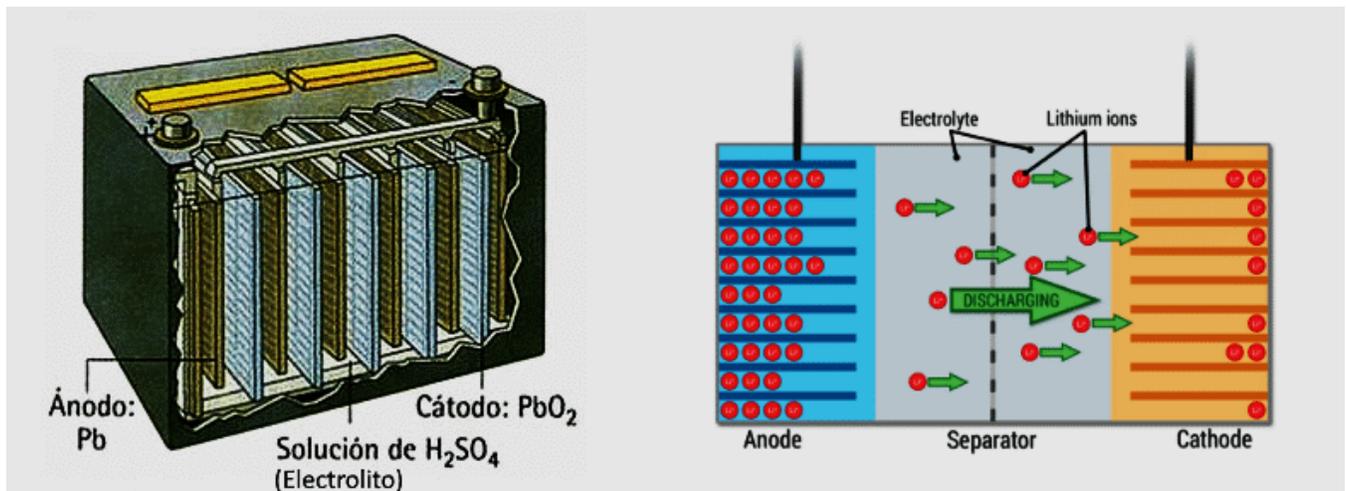


Imagen 1.10: Componentes de una batería convencional.

Información obtenida de la página web oficial ©VTBatteries SL (2022), "VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO Y LITIO (ION/LIPO/LIFEPO4/NMC)" Imagen No.1: "Funcionamiento en baterías de Plomo Ácido a la izquierda, y en litio (ION) a la derecha", Publicado el 15 de mayo de 2021, recuperado el 07 de julio de 2023, de <https://vtpower.es/blog/2021/05/15/ventajas-y-desventajas-de-las-baterias-de-plomo-acido-y-litio/>

Empresas colaboradoras	Descripción general
1.- VESTAS MEXICANA DEL VIENTO, S.A. DE C.V.	Con su sede principal en Dinamarca (Norte de Europa), una empresa entregada a dar soluciones en materia de energía renovable, otorgando servicio de entrega, mantenimiento e instalación de sistemas híbridos de energía renovable. Cuenta con 40 años de servicio.
2.- ZUMA ENERGÍA, S.A. DE C. V.	Iniciaron sus actividades dentro del sector energético a partir de 2014, es una empresa mexicana dedicada a promover, las energías renovables. Dedicado a desarrollar, construir, financiar y operar proyectos eólicos y solares en 4 estados de la república mexicana.
3.- DESARROLLOS EÓLICOS MEXICANOS (DEMEX), S.A. DE C.V.	Compañía mexicana fundada desde 2011 que tiene como propósito de aprovechamiento, gestión y distribución de la energía renovable, desarrollando tecnología eólica en Oaxaca.
4.- AES MEXICO	Grupo estadounidense que se ha dedicado a la generación de energía desde la década de los 80's, tiene inversiones en México desde 1997 otorgando energía eólica y solar, además de estar asociados con agricultores, hospitales, universidades, ciudades, programas juveniles y más.
5.- SIEMENS GAMESA ENERGÍA S.A. DE C.V.	Con su principal cede en Dinamarca, ha otorgado energía eólica a través de la instalación, desarrollo de turbinas generadoras de corriente directa alrededor de todo el mundo, pionera en la materia desde 1982.
6.- SERVICIO ADMINISTRATIVOS PEÑOLES, S.A. DE C.V.	Compañía mexicana que empezó incursionando en la minería, para posteriormente adentrarse a la industria metalúrgica y refinería desde 1887, actualmente incursiona en la investigación y el desarrollo tecnológico, con el objetivo de crear parques eólicos con el fin de disminuir las emisiones de carbono.
7.- NORDEX-ACCIONA	Contando con 35 años de experiencia en proyectos terrestres de aerogeneradores, con sucursales en 30 países en el mundo, principalmente Alemania, EEUU, España, Brasil, entre otros.
8.- IENOVA (INFRAESTRUCTURA ENERGETICA).	Una de de las primeras empresas privadas en invertir en México que lleva operando desde 1996 en el almacenamiento y distribución de gas LP, actualmente incursiona en la infraestructura para parques eólicos y en paneles solares, con el objetivo de obtener energía sustentable en el país.

- 1.- Información obtenida de la página web oficial "@vestas" (2022), sección: "who we are", recuperado el 25 de julio de 2022, de <https://www.vestas.com/>
- 2.- Información obtenida de la página web oficial "ZumaEnergia" (2020), sección: "Quienes somos", recuperado el 25 de julio de 2022, de <https://www.zumaenergia.com/>
- 3.- Información obtenida de la página web oficial "DEMEX" (2017), sección: "Quienes somos", recuperado el 25 de julio de 2022, de <http://demexrenovables.mx/>
- 4.- Información obtenida de la página web oficial "aes México" (2009-2021), sección: "Acerca de aes México", recuperado el 25 de julio de 2022, de <https://www.aesmex.com/>
- 5.- Información obtenida de la página web oficial "@SIEMENS Gamesa Renewable Energy" (2022), sección: "Siemens Gamesa>>Historia", recuperado el 26 de julio de 2022, de <https://www.siemensgamesa.com/>
- 6.- Información obtenida de la página web oficial "Industrias Peñoles®" (2022), sección: "Nuestro grupo>>Acerca Peñoles>>Nuestra Historia", recuperado el 26 de julio de 2022, de <https://www.penoles.com.mx/>
- 7.- Información obtenida de la página web oficial "Nordex SE" (2022), sección: "Empresa>>Dirección", recuperado el 26 de julio de 2022, de <https://www.nordex-online.com/es/empresa/>
- 8.- Información obtenida de la página web oficial "IEnova: INFRAESTRUCTURA ENERGETICA" (2022), sección: "Nuestra Empresa", recuperado el 27 de julio de 2022, de <https://www.ienova.com.mx/index.php>



9.- EDP RENEWABLES	Cuarta empresa a nivel mundial en energía renovable, empresa líder que tiene influencia en 26 países del mundo, contando con más de 270 parques eólicos terrestres posicionándolo en el tercer lugar, a nivel mundial, en producción de esta clase de energía.
10.- DNV	Una empresa que opera en 100 países del mundo, con el objetivo de salvaguardar la vida y el medio ambiente, otorgando servicios en el sector marítimo, petrolero y energético (en parques eólicos y solares).
11.- POTENCIA INDUSTRIAL	Empresa fundada en México en 1915 enfocándose en la instalación de motores eléctricos, actualmente se dirige en el mantenimiento y reparación de motores de generadores eléctricos hidráulicos, en este caso para centrales eólicas e hidroeléctricas.

Tabla 2.3: Principales empresas colaboradoras de energía eólica de México.

9.- Información obtenida de la página web oficial “edp Renewables” (2022), sección: “EDPR>> ¿Qué hacemos?”, recuperado el 27 de julio de 2022, de <https://www.edpr.com/es>

10.- Información obtenida de la página web oficial “DNV” (2022), sección: “Sectores>> Energía y Energías Renovables”, recuperado el 27 de julio de 2022, de <https://www.dnv.es/>

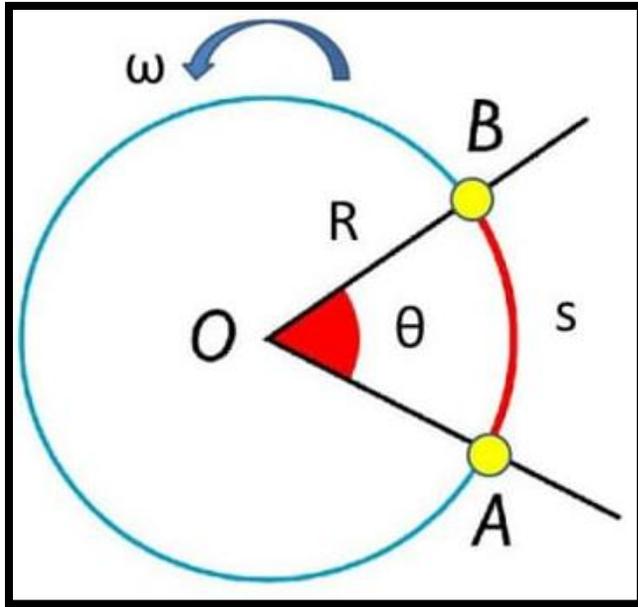
11.- Información obtenida de la página web oficial “Potencia Industrial” (2022), sección: “ACERCA DE, SERVICIOS”, recuperado el 27 de julio de 2022, de <https://www.potenciaindustrial.com.mx/es/index.html>

Unidad	Metro (m)	Kilometro (Km)	Pulgada (In)	Pie (ft)	Milla Terrestre	Milla Marítima	Yarda (Yd)
METRO	1	0.001	39.3701	3.28084	0.00062	0.0005399	1.09361
KILÓMETRO	1000	1	39370.1	3280.84	0.62137	0.5399568	1093.61
PULGADA	0.025399	0.000025	1	0.08333	0.00001	0.0000137	0.02777
PIE	0.304794	0.000304	12	1	0.00019	0.0001646	0.33333
MILLA TERRESTRE	1609.34	1.60934	63360	5280	1	0.8689607	1760
MILLA MARÍTIMA	1852	1.852	72913.4	6076.12	1.1508	1	2025.37
YARDA	0.9144	0.000914	36	3	0.00057	0.0004937	1

Tabla 2.8: Tabla de conversión de unidades de longitud.

Información obtenida de la página web oficial “ANGUSA®” (2022), sección: “Tabla de conversión de unidades: Tabla de conversión de longitud”, recuperado el 26 de septiembre de 2022, de <https://agunsa.com/informacion-de-interes/tablas-de-conversion/>.





Angulo (θ)	Radianes (S)
360°	2π
180°	π
90°	$(1/2)\pi$
45°	$(1/4)\pi$

Ejemplo:

$$\frac{360^\circ}{90^\circ} = \frac{2\pi}{x}$$

$$(360^\circ) \cdot (x) = (2\pi) \cdot (90^\circ)$$

$$x = \frac{(2\pi) \cdot (90^\circ)}{(360^\circ)} \quad x = \frac{1}{2}\pi$$

Imagen 3.5: Explicación grafica de la velocidad angular y conversión de ángulos a radianes.

Información obtenida de la página web oficial "Centro Estudios Cervantino" (2022), "Velocidad angular: Origen del estudio de la velocidad angular", recuperado el 26 de diciembre de 2022, de <https://www.centroestudioscervantinos.es/velocidad-angular/>.

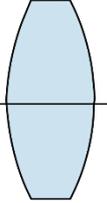
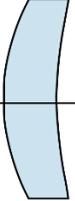
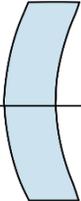
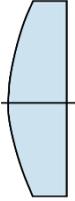
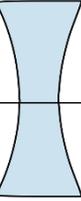
Convergentes (positivas).	Divergentes (Negativas).
 <p>Biconvexa. Cuenta con dos superficies convexas en ambos lados.</p>	 <p>Planocóncavas. Tiene una superficie cóncava de un lado y de la otra es plana.</p>
 <p>Cóncavo-convexas. (o menisco convergente): Se encuentra formada por una superficie convexa y otra ligeramente cóncava.</p>	 <p>Convexo-cóncavas (o menisco divergente). Cuentan con una superficie cóncava y la otra es ligeramente convexa.</p>
 <p>Plano-Convexa. En un extremo la superficie es plana y en el otro extremo es convexa.</p>	 <p>Bicóncavas. Formadas por dos superficies cóncavas.</p>

Tabla 3.4: Tipos de lentes. Dado que se trata de lentes, solo nos enfocaremos en las características de su superficie. Se denominan positivas por ser gruesas en la parte central y delgadas de los bordes y denominamos negativas a las superficies que son gruesas de los bordes, pero se adelgazan con forme se acercan al centro.

Información recuperada del libro Malacara Daniel (2004), "Óptica básica: II Lentes y espejos, II. 1: Lentes delgadas" Figura II. 1, 2ª edición, Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14200 México D.F, ed. Fondo de Cultura Económica México., No. Pág. 532, ISBN: 968-16-7313-1, Recuperado el 04 de enero de 2023.



Facultad de Estudios Superiores Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

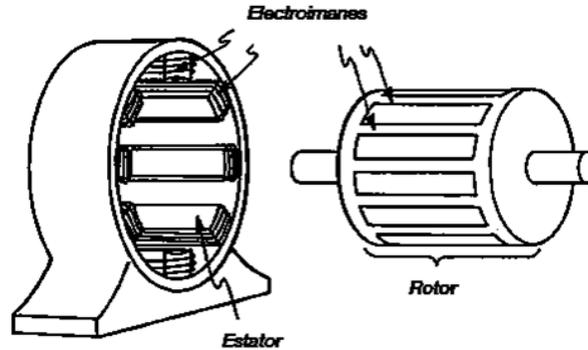


Imagen 3.10: Generador síncrono.

Consiste en utilizar un alternador como motor en determinadas circunstancias ya sea con electroimanes o carbones incorporados, ya que si se excita el campo con corriente continua (C.C) y se alimenta por los anillos colectores a la bobina del rotor con corriente alterna (C.A), la máquina no arrancará, esto porque el campo alrededor de la bobina del rotor será de corriente alterna, lo que quiere decir que, durante un semiperiodo del ciclo completo, intentará moverse en una dirección y durante el siguiente semiperiodo en la dirección opuesta. Como consecuencia, el motor no se moverá y debido a eso se calentará y después se quemará. Para generar el campo magnético del rotor, se suministra una corriente continua (C.C) al devanado del campo; esto se realiza frecuentemente por medio de una excitatriz, la cual consta de un pequeño generador de corriente continua (C.C) impulsado por el motor, conectado mecánicamente a él. Útil si se quiere mantener velocidades constantes.

Información obtenida del blog "Formación para la industria", José Ramón Vaello Sancho, Inicio → Curso instalador electricista → Maquinas Eléctricas → Artículo: "Motores síncronos", recuperado el 04 de enero de 2023, de <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/motores-sincronos/>

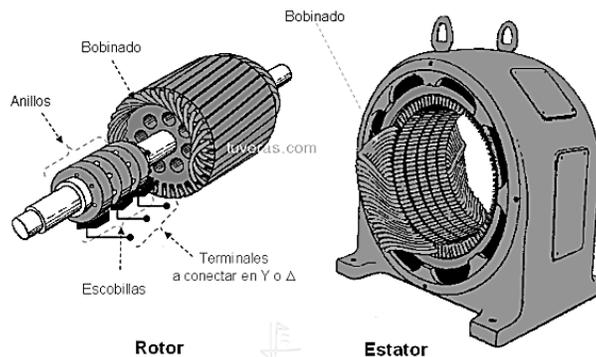


Imagen 3.11: Generador asíncrono.

Se denominan asíncronos por ser motores de inducción, es decir, no requieren de un alternador lo que le permite funcionar sin problema, sin embargo, son de baja velocidad. Pueden ser de 2 tipos de configuración:

- ↘ **Motor monofásico:** Este tipo de motor es muy utilizado en electrodomésticos porque pueden funcionar con una red monofásica, sin embargo, no resulta sencillo iniciar el campo giratorio, por lo cual, se tiene que usar algún elemento auxiliar. Dependiendo del método empleado en el arranque, podemos distinguir dos grandes grupos de motores monofásicos: Motor monofásico de inducción, fase partida y capacitor.
- ↘ **Motor trifásico:** Las corrientes trifásicas tienen distinta corriente en cada fase, luego el valor del campo magnético generado por cada fase dependerá de la intensidad de corriente en el instante. Por otra parte, al estar desfasadas a 120 grados entre los tres devanados, los valores de los campos magnéticos generados también estarán desfasados. En conclusión: los tres campos magnéticos se combinarán para producir un campo magnético resultante, que va girando a medida que varía la intensidad de la corriente de las tres fases.

Información obtenida del blog "Formación para la industria", José Ramón Vaello Sancho, Inicio → Curso instalador electricista → Maquinas Eléctricas → Motores asíncronos → Artículo: "Tipos de motores síncronos", recuperado el 04 de enero de 2023, de <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/motores-sincronos/>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Formulario:

(1.1)

González Velasco Jaime, (2009), **“Energías renovables, Capítulo 1: Energías renovables, 1.1 Definición de energía, dimensiones físicas y unidades de medida”** pág. 06, ed. REVERTE, S.A., Barcelona Loreto, 13-15, Local B 08029, Total pág. 657, ISBN: 9788429179125, Recuperado el 21 de abril de 2023.

(1.2)

González Velasco Jaime, (2009), **“Energías renovables, Capítulo 1: Energías renovables, 1.1 Definición de energía, dimensiones físicas y unidades de medida”** pág. 06, ed. REVERTE, S.A., Barcelona Loreto, 13-15, Local B 08029, Total pág. 657, ISBN: 9788429179125, Recuperado el 01 de abril de 2023.

(1.3)

María José T. Molina, (2017), **“Ley de la gravedad global”**, Pag.73, ed. Molwick, No. pág. 132, (ISBN: 9788415328452, 9788415328667), Recuperado el 21 de abril de 2023.

(1.4)

González Velasco Jaime, (2009), **“Energías renovables, Capítulo 1: Energías renovables, 1.1 Definición de energía, dimensiones físicas y unidades de medida”** pág. 10, ed. REVERTE, S.A., Barcelona Loreto, 13-15, Local B 08029, Total pág. 657, ISBN: 9788429179125, Recuperado el 21 de abril de 2023.

(1.5)

Paul Allen Tipler, Gene Mosca, (octubre 2004), **“Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 25: Corriente eléctrica y Circuitos de corriente continua, 25.2 Resistencia y Ley de Ohm”** Pag.844, ed. REVERTE, S.A. Quinta edición, Versión al español impresa en España, Barcelona por Ferre Olsina, No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 29 de abril de 2023.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

(1.6)

Paul Allen Tipler, Gene Mosca, (octubre 2004), **“Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 28: Inducción magnética, 28.1 Flujo magnético”** Pág.960, ed. REVERTE, S.A. Quinta edición, Versión al español impresa en España, Barcelona por Ferre Olsina, No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 29 de abril de 2023.

(1.7)

Paul Allen Tipler, Gene Mosca, (octubre 2004), **“Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 28: Inducción magnética, Ejemplo 28.1 Flujo a través de un solenoide”** Pag.961, ed. REVERTE, S.A. Quinta edición, Versión al español impresa en España, Barcelona por Ferre Olsina, No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 29 de abril de 2023.

(1.8)

Paul Allen Tipler, Gene Mosca, (octubre 2004), **“Física para la Ciencia y Tecnología: Volumen 2 Electricidad y Magnetismo. Luz. Física moderna, Capítulo 28: Inducción magnética, Ejemplo 28.2 Fem Inducida y Ley de Faraday”** Pag.962, ed. REVERTE, S.A. Quinta edición, Versión al español impresa en España, Barcelona por Ferre Olsina, No. Pág. 1258, ISBN: 9788429144123, 8429144129, Recuperado el 29 de abril de 2023.

(1.9)

John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr. (1996), **“Análisis de Sistemas de Potencia: Capítulo 1: Conceptos Básicos, 1.4 Potencia en Circuitos de ca Monofásicos”** Pag.08, ed. McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V. Primera edición, Versión al español impresa en Atlacomulco 499-501. Fracc. Ind. San Andrés Atoto, 53500 Naucalpan de Juárez Edo. México. Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial, Reg. Núm. 1890, No. Pág. 734, ISBN: 9701009088, Recuperado el 03 de mayo de 2023.

(1.10)

Jutglar Lluís (2004), **“Energía Solar, Capítulo 5: Sistemas Fotovoltaicos (FV), 5.12 Rendimiento del panel”** Pag.166, ed. Ceac Planeta de Agostini Profesional y Formación, S.L. Primera edición, Avda. Diagonal, 662-664-08034 Barcelona (España), No. pág. 272, ISBN: 8432910635, Recuperado el 14 de febrero de 2023.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

(1.11)

Harper Enríquez Gilbertos, Enríquez Ruiz Paola (2017), “**Las energías renovables y la electricidad para todos, Capítulo 5: Dimensionando de Sistemas Fotovoltaicos**” Pag.322, Primer edición, Balderas 95, México D.F, ed. Limusa S.A. de C.V Grupo Noriega Editoriales, No. pág. 360, ISBN: 9786070508295, Recuperado el 17 de junio de 2023.

(1.12)

Harper Enríquez Gilbertos, Enríquez Ruiz Paola (2017), “**Las energías renovables y la electricidad para todos, Capítulo 5: Dimensionando de Sistemas Fotovoltaicos**” Pag.330, Primer edición, Balderas 95, México D.F, ed. Limusa S.A. de C.V Grupo Noriega Editoriales, No. pág. 360, ISBN: 9786070508295, Recuperado el 19 de junio de 2023.

(1.13)

Harper Enríquez Gilbertos, Enríquez Ruiz Paola (2017), “**Las energías renovables y la electricidad para todos, Capítulo 5: Dimensionando de Sistemas Fotovoltaicos**” Pag.328, Primer edición, Balderas 95, México D.F, ed. Limusa S.A. de C.V Grupo Noriega Editoriales, No. pág. 360, ISBN: 9786070508295, Recuperado el 19 de junio de 2023.

(1.14)

Jutglar Lluís (2004), “**Energía Solar, Capítulo 5: Sistemas Fotovoltaicos (FV), 5.53 Tamaño de las baterías**” Pag.184, ed. Ceac Planeta de Agostini Profesional y Formación, S.L. Primera edición, Avda. Diagonal, 662-664-08034 Barcelona (España), No. pág. 272, ISBN: 8432910635, Recuperado el 20 de febrero de 2023.

(2.1)

Echeverri Londoño Carlos Alberto (2022), “**Control de la Contaminación Atmosférica, Capítulo 2: Propiedades Empíricas de los Gases, 2.2 Gases ideales**” Pag.11, Primera Edición, ed. Bogotá: Ediciones de la U, Bogotá (Colombia), No. pág. 480, ISBN: 9789587923667, 9789587923674. Recuperado el 20 de junio de 2023.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

(2.2)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 2: Física de la Atmosfera: el viento, 2.2 Gradiente Térmico Vertical. Capas Atmosféricas**”, Pagina 26, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 12 de marzo de 2023.

(2.3)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica: Capítulo 1: Vientos y sus efectos, 1.3 Cuantificación de la velocidad del viento**”, pág. 07, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 24 de septiembre de 2022.

(2.4)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica: Capítulo 1: Vientos y sus efectos, 1.4 Variación de la velocidad con la altura**”, pág. 08, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

(3.1)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica: Capítulo 4: Aerodinámica de las maquinas eólicas, 4.1.2 Potencia cinética**”, pág. 29, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

(3.2)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 4: Aerodinámica de las maquinas eólicas, 4.1.2 Potencia cinética**”, pág. 30, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 26 de septiembre de 2022.



(3.3)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 4: Aerodinámica de las maquinas eólicas, 4.1.2 Potencia cinética**”, pág. 30, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

(3.4)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 4: Aerodinámica de las maquinas eólicas, 4.1.3 Potencia real**”, pág. 32, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

(3.5)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 5: Aerodinámica de los aerogeneradores, 5.10 Flujo de potencias en un aerogenerador**”, Pagina 127, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 22 de marzo de 2023.

(3.6)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 10: Cálculos energéticos en aerogeneradores, 10.10 Calculo del diámetro del aerogenerador**”, Pagina 247, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 22 de marzo de 2023.

(3.7)

Harper Enríquez Gilbertos, Enríquez Ruiz Paola (2017), “**Las energías renovables y la electricidad para todos, Capítulo 2: La energía del viento para generar electricidad**” Pág.136, Primer edición, Balderas 95, México D.F, ed. Limusa S.A. de C.V Grupo Noriega Editoriales, No. pág. 360, ISBN: 9786070508295, Recuperado el 19 de junio de 2023.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

(3.8)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 4: Caracterización del potencial energético del viento, 4.1 Descripción estadística del viento: ley de Weibull**”, Pagina 66, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 22 de marzo de 2023.

(3.9)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 4: Caracterización del potencial energético del viento, 4.2 Ley de Rayleigh**”, Pagina74, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 22 de marzo de 2023.

(3.10)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal, 6.4.1.2 Las palas**”, pág. 64, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

(3.12)

Tomas Perales Benito (2010), “**Guía del Instalador de Energía Eólica, Capítulo 6: Aerogeneradores de eje horizontal, 6.4.1.2 Las palas**”, pág. 64-65, ed. segunda, España, ed. Creaciones Copyright (2010), No. Pág. 186, ISBN:9788496300972, 8496300978 Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

(3.13)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 7: Aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica, 7.2.3 Caja variadora de velocidad (gear box)**”, Pagina158, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 22 de marzo de 2023.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica

(3.14)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 5: Aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica, 5.10 Flujo de potencias en un aerogenerador**”, Pagina127, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 02 de julio de 2023.

(3.15)

Miguel Villarrubia López, (abril 2014), “**Ingeniería de la Energía Eólica, CAPITULO 5: Aerodinámica de los aerogeneradores, 5.10 Flujo de potencias en un aerogenerador**”, Pagina127, Pitágoras 1139- Col. Del Valle, 03100- México D.F., Segunda Edición Alfa Omega Grupo Editor, S.A, de C.V, México, No. pág. 284 páginas, ISBN: 978-607-707-402-1, recuperado el 18 de julio de 2023.



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ingeniería en Eléctrica y Electrónica