

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

En el marco teórico se establecen los antecedentes verificables que se tendrán en cuenta como referencia para el desarrollo de la presente investigación, de igual forma se describen los conceptos básicos de las principales variables que fundamentan el desarrollo de la investigación para determinar la competitividad de la energía eólica frente a las energías producidas mediante fuente no renovables.

#### **1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

Para el desarrollo de la presente investigación se tomaron como antecedente importantes estudios de autores referentes, que abarcan de forma concreta los temas necesarios para garantizar la consecución de los objetivos planteados en este proyecto. En ese sentido se tomó como referencia la investigación realizada por José Aguilera, (2012); en su proyecto denominado Fuentes de energías y protocolo de Kioto en la evolución del sistema eléctrico Español, cuyo objetivo general era el de Analizar la repercusión económica que sobre el sector eléctrico Español han tenido las medidas adoptadas tendentes a reducir las emisiones de gases invernadero.

Es importante destacar que esta investigación está enmarcada metodológicamente como descriptiva y no experimental, ya que para su desarrollo se recogió gran cantidad de información teórica, que fue utilizada para enfocar en forma detallada el problema. Este antecedente fue delimitado al sector eléctrico español, no obstante los principios y resultados obtenidos pueden ser extrapolados hacia otras geografías. La referida investigación aportara al presente proyecto los estudios realizados del comportamiento de la demanda de energía eléctrica, de las fuentes de producción de energía eléctrica, las repercusiones ambientales de la utilización de los combustibles fósiles a nivel mundial y las nuevas tendencias de utilización de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica, debido a las presentes y futuras restricciones de emisiones de gases invernaderos a la atmosfera.

En segundo lugar se tomó el estudio de Cecilia Maya, (2012); en su investigación denominada La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia, la cual tenía como objetivo principal evaluar los costos de los proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales. Esta investigación al igual que la anterior se enmarco metodológicamente como descriptiva y no experimental, ya que fue desarrollada a través de la recolección de gran cantidad de información teórica. El ámbito de la investigación de Maya se centró en el estudio de los sistemas eólicos en Colombia y cuyos resultados mostraron que este tipo de proyectos en Colombia no serien viables financieramente usando métodos tradicionales de valoración, pero si lo serian con el enfoque de opciones reales, incluso considerando los incentivos tributarios vigentes y de otra índole como los certificados de reducción de emisiones (CER), que tienen la flexibilidad existente.

Este antecedente aportaría a la presente investigación, toda la información referente a las diferentes metodologías para valorar los proyectos de generación eólicos en Colombia, a través de la simulación de

los procesos que siguen las variables de mayor incidencia, tales como los precios y el viento.

En tercer lugar, se utilizó como referencia la investigación "Energía Solar Fotovoltaica, Competitividad y Evaluación Económica, Comparativa y Modelos", desarrollada por Eduardo Collado, (2009), cuyo objetivo general era evaluar los límites a medio y largo plazo, de la competitividad en España en particular y en el mundo en general, estudiando el nivel de evolución que tiene que tener esta forma de producción de energía, hasta conseguir llegar a ser competitiva con el resto de las fuentes de energías tradicionales, y otras emergentes en crecimiento.

Metodológicamente esta investigación se enmarca como descriptiva, no experimental, dado que fue desarrollada mediante la recopilación de gran cantidad de información teórica orientada a alcanzar los objetivos propuestos. Los resultados de la referida investigación, concluye que para que las fuentes de energías renovables sean competitivas, deben darse una serie de políticas y regulaciones estatales en pro de las mejoras medioambientales. Como aporte a la presente investigación, esta referencia puede aportar la metodología para evaluar y comparar las distintas fuentes de generación de energía eléctrica.

De la misma manera, se utilizó como referencia la investigación de Diego Lezcano, (2011); en su proyecto titulado "Estudio energético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio colombiano, para planeamiento energético en periodos futuros", cuyo objetivo general estaba orientado a desarrollar un modelo con fundamentos energéticos, que permita la identificación y evaluación de las zonas con potencialidades de energías renovables en Colombia.

La investigación de Lezcano, metodológicamente se enmarcó como descriptiva, no experimental, ya que se desarrolló mediante la recopilación de información teórica dirigida a la consecución de los objetivos planteados. Los resultados de este antecedente permitieron tanto conocer los potenciales

de los recursos energéticos existentes en Colombia la forma de evaluar la eficiencia de generación, por medio de fundamentos exegéticos. Este proyecto puede aportar a la presente investigación información relevante de la ubicación geográfica de los potenciales eólicos existentes en Colombia y más específicamente en la guajira.

Luego Lorbes (2016) realizó una investigación titulada Sistema de Energía Sustentable Híbrido para la Iluminación de la Primera Etapa de la Vereda del Lago, Estado Zulia, Venezuela. Investigación realizada para optar al grado de Magister en Ingeniería de Control y Automatización de procesos de la Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín. La investigación se realizó con la finalidad de diseñar un Sistema de Energía Sustentable Híbrido para la Iluminación de la Primera Etapa de la Vereda del Lago, inicialmente se describió problemática en cuestión, se trazó un objetivo general compuesto de cinco objetivos específicos, también se justificó y delimitó la investigación.

Con respecto a la metodología empleada, el tipo de investigación fue descriptiva bajo un diseño no experimental de campo. Los datos fueron tomados directamente de la unidad de análisis, la recolección de datos se basó en la revisión bibliográfica, páginas web, base de datos. Para poder realizar el diseño fue necesario desarrollar cinco fases, en la primera se describió el estado actual del sistema de iluminación de la primera etapa de la vereda del lago con el objetivo de ver la manera como las luminarias actuales trabajan

En la segunda fase se determinaron los parámetros técnico para el diseño donde se realizaron los cálculos necesarios así como el chequeo de normativas nacionales, esto con el fin de cumplir con todas las regulaciones existentes, seguidamente se diseñó el sistema de Energía Sustentable Híbrido para la Iluminación de la Primera Etapa de la Vereda del Lago, con la ayuda de varios software de simulación (cada etapa cumple con las normativas), luego de tener el diseño y parámetros requeridos se seleccionaron los equipos, finalmente se validó el diseño corriendo los

programas de simulación. Los resultados de esta investigación evidencian la validez de la propuesta, la cual ofrece una alternativa tecnológica que mejoraría el actual sistema de iluminación de las islas centrales de la primera etapa de la vereda del lago

El aporte fundamental de esta investigación a la presente es de carácter teórico puesto acá se tomaran las ecuaciones, leyes físicas y termoeléctricas para poder realizar el diseño del sistema sustentable en el área eólica aplicado a parques eólicos de gran envergadura pero en mar adentro, específicamente en la Isla de San Andrés, Departamento de la Guajira. Así mismo este aporte consolida las líneas de investigación de conversión de energías de la Maestría en cuestión.

Por su parte kammerer (2017) realizo una investigación titulada Sistema sustentable para estaciones de servicio abastecidas por gasolina. Investigación realizada para optar al grado de Magister en Ingeniería de Control y Automatización de procesos de la Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. La presente investigación tuvo como objetivo principal proponer un Sistema sustentable para estaciones de servicio abastecidas por gasolina. La delimitación del estudio se abordó en la estación de servicio San José de la Guajira Colombo-Venezolana.

La misma estuvo sustentada teóricamente por Ogata (2000), Harper (2016) y Morón (2009). La metodología utilizada en la investigación fue descriptiva de diseño de campo, no experimental. La investigación estuvo conformada por cinco (5) fases. Que abarcaron desde la caracterización del proceso de distribución de gasolina y despacho en las dispensas en las estaciones de servicio pasando por el diseño del sistema sustentable de manera eléctrica para reducir el consumo conectado a la red para finalizar con la validación en el comportamiento automático del sistema sustentable.

Como resultados se obtuvieron características interesantes en cuanto a los parámetros mixtos para poder conjugar el sistema hibrido diseñado para la alimentación en cuanto a cargas primarias y elementales para el

funcionamiento de la estación de servicio San José, tomando en cuenta la automatización que esto implica proponiendo un sistema ecológicamente aceptable, económicamente factible y socialmente inclusivo contribuyendo al desarrollo sustentable colombiano. El aporte de esta investigación a la presente se centra en el estudio del clima realizado empleando referencia de los ministerios existentes en Colombia para el estudio del viento, del sol, entre otros factores que son imprescindibles en el estudio de sistemas aerogeneradores para la producción de energía eléctrica.

## **2. BASES TEÓRICAS.**

A continuación se presentan las bases teóricas que fundamentan el desarrollo de la presente investigación; las cuales permitirán una buena comprensión de los temas a desarrollar en este proyecto. Así lo confirma Tamayo y Tamayo (2002) Comprenden un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado. Esta sección puede dividirse en función de los tópicos que integran la temática tratada o de las variables que serán analizadas.

### **2.1. PARQUE EÓLICO OFFSHORE PARA ABASTECER LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA ISLA DE SAN ANDRÉS.**

Según Harper (2012) La energía eólica tiene un futuro prometedor aunque los mejores terrenos han sido ya ocupados o están en trámites de autorización y cada vez es más difícil encontrar zonas con altas velocidades de viento sin explotar; como solución a este problema aparecen una nueva posibilidad, la energía eólica offshore. En cualquier parque eólico el factor decisivo es la velocidad del viento, en el mar se calcula una velocidad en 1 m/s por encima de las zonas costeras próximas debido a que en el mar no existen obstáculos y la rugosidad del suelo es muchísimo menor, esto significa que en un parque eólico offshore la producción de electricidad a lo largo del año es del orden de un 20% más que en tierra.

La principal aplicación de la energía eólica offshore es para la venta a la red eléctrica y distribución en toda ella, pero también podemos ver una nueva aplicación en desaladoras marinas. Hoy en día el agua es un recurso que empieza a ser escaso en casi todos los países en muchos, como en el caso de España, tenemos que recurrir a desaladoras. Desalar agua requiere una gran cantidad de energía y esta se podría aportar mediante aerogeneradores offshore, que además evitarían pérdidas en el transporte.

A la hora de instalar un nuevo parque eólico se debe tener especial cuidado con la fauna marina, es una fuente de recursos importante que no debe sufrir ningún tipo de agresiones por lo que se deben evitar los bancos de pesca, hábitats marinos de especial interés y las rutas de emigración de las aves; se debe citar que la eólica offshore ha dado un resultado totalmente inesperado en este campo, en Suecia los aerogeneradores marinos han servido como arrecifes artificiales y han aumentado la biodiversidad de peces y moluscos. El efecto visual es un tema importante; en algunos países no supone ningún problema pero en otros se busca minimizarlo, para lo que se buscan ubicaciones lejanas a la costa (a unas cinco millas los aerogeneradores apenas se distinguen) o lugares próximos a zonas poco habitadas o acantilados, de todas formas no pueden estar alejados muchos kilómetros de la costa porque aparecerían pérdidas de energía importantes

en el transporte. Otro problema respecto a la ubicación son las zonas con alto tráfico marítimo, que debemos evitar.

Según Coleman (2010) La eólica marina tiene en la actualidad dos aplicaciones; los aerogeneradores en puertos o en la zona de costa y los situados en islas o sobre arena a varios kilómetros de la costa. Los primeros presentan como principal ventaja que es fácil instalar la línea eléctrica aunque estrictamente no son offshore sino un híbrido entre ésta y la terrestre que puede dar excelentes resultados en puertos, faros aislados, viviendas en zonas costeras aisladas; en el segundo caso las potencias son mucho mayores ya que las velocidades de viento son hasta un 20% más que en puntos próximos a tierra porque sólo existe apantallamiento por las olas. Hay una tercera posibilidad, colocar aerogeneradores en barcos, esto ya se está haciendo en la actualidad aunque queda pendiente la construcción de grandes plataformas flotantes que se moviesen buscando el viento aunque no se han desarrollado porque el almacenamiento de energía eléctrica sigue siendo un problema sin resolver.

Las instalaciones eólicas marítimas deben ser resistentes a la corrosión proveniente del aire de mar, que es altamente húmedo y contiene sal, por lo que todo el sistema dentro de la góndola debe estar herméticamente cerrado. También debe tener un sistema de enfriamiento por las altas temperaturas que en verano deben resistir, que afectan la calidad del lubricante, dañan los componentes electrónicos y expanden las partes mecánicas.

La electricidad producida por la turbina tiene parámetros similares a los de las instalaciones terrestres, y debe ser entregada a la red eléctrica que se encuentra en la costa más cercana. Como se conoce, la transmisión de electricidad es mejor mientras mayor es el voltaje, para evitar pérdidas de potencia, de aquí que en estos parques la tensión sea aumentada en subestaciones marítimas cercanas al parque. Por lo tanto, la electricidad es transmitida a la red eléctrica terrestre, que suele estar a mayor distancia

Los parques eólicos marítimos deben estar altamente protegidos contra las tormentas eléctricas, debido a que en altamar son más sensibles a ser alcanzados por estos fenómenos, que afectan principalmente a las palas y los sistemas electrónicos. Los cimientos y las torres de los parques eólicos marítimos están sometidos a fuertes cargas provenientes del viento y de las olas, por separado o en combinación. Las cargas dependen de parámetros tales como la velocidad del viento, la turbulencia, la profundidad de las aguas, la altura de las olas, las formaciones geológicas y del tipo de parque eólico. Para estimar las cargas es necesario conocer diversos datos, como el peso de las palas y la góndola, que sólo los fabricantes pueden ofrecerlos. Los ingenieros de proyecto deben ser capaces de prever las vibraciones y la fatiga a que estarán expuestos los parques eólicos que se diseñan. González (2010)

Al no existir limitaciones en cuanto al impacto del ruido producido, en los parques terrestres la velocidad en la punta de la pala se limita a 65 m/s, mientras que en los marítimos puede llegar hasta 90 m/s en los bipalas y 75 m/s en los tripalas, por lo que la productividad de la turbina es mayor. Los costos de la energía producida por un parque eólico marítimo dependen del recurso eólico, la distancia de la costa y la profundidad del agua. El desarrollo que han tenido estos parques en los últimos años y las perspectivas que presentan en un futuro cercano en varios países ha dependido de las reducciones de los costos de las cimentaciones y la transmisión de potencia, el incremento de los tamaños de las turbinas y la mayor productividad en relación con las turbinas en tierra. Las condiciones de clima más severas y las largas distancias de las costas hacen que se incrementen los costos de mantenimiento y decrezca la disponibilidad del tiempo de funcionamiento al aparecer reparaciones inesperadas

### **2.1.1. Parámetros y requerimientos de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.**

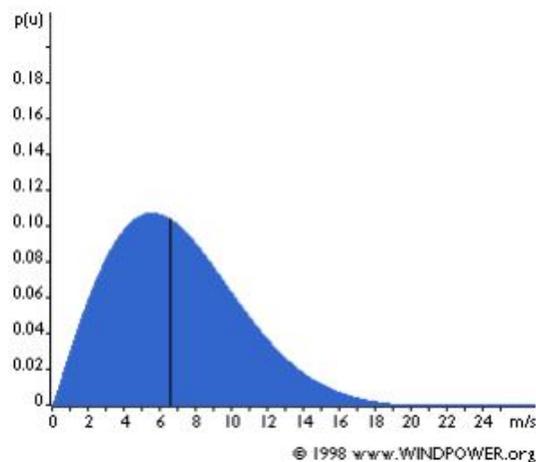
Para Salcedo (2016), los parámetros son todas aquellas variables o factores a tomar en cuenta a la hora de diseñar un sistema, un proceso o un equipo desde cualquier área o perspectiva en la ingeniería moderna. Estos factores son determinantes a la hora de esquematizar nuevos procesos o metodologías en rutinas de producción y calidad de un producto final hacia un consumidor.

#### **2.1.1.1. Requerimientos de un parque eólico offshore**

Según Mendoza (2107) Los requerimientos de diseño se consideran como variables independientes que juntas logran un acondicionamiento automático para el sistema eléctrico en este caso de una la planta eléctrica. Estos requerimientos serán el voltaje, la frecuencia y corriente los cuales garantizaran que este sistema funcione de manera automática y con funciones energéticas que permitan el ahorro energético y la seguridad en la planta.

- **Velocidad del viento**

Según Concha (2010), para la industria eólica es muy importante ser capaz de describir la variación de las velocidades del viento. Los proyectistas de turbinas necesitan la información para optimizar el diseño de sus aerogeneradores, así como para minimizar los costes de generación. Los 28 inversores necesitan la información para estimar sus ingresos por producción de electricidad.



**Figura 1. Distribución de velocidades de Weibull.  
Fuente: WindPower (1998)**

Si mide las velocidades del viento a lo largo de un año observará que en la mayoría de áreas los fuertes vendavales son raros, mientras que los vientos frescos y moderados son bastante comunes. La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada Distribución de Weibull, como la mostrada en el dibujo. Este emplazamiento particular tiene una velocidad media del viento de 7 metros por segundo, y la forma de la curva está determinada por un parámetro de forma de 2. La

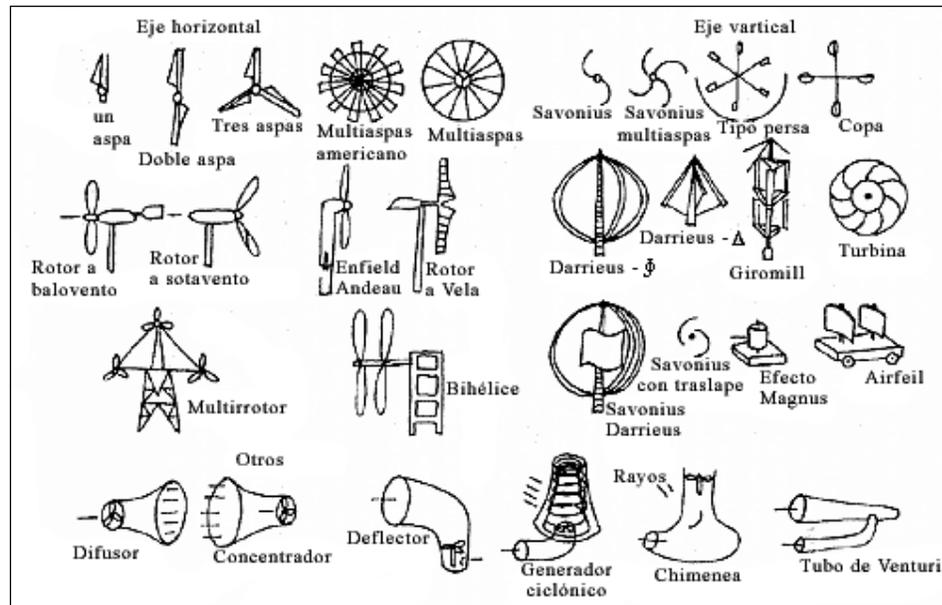
densidad de potencia  $E$  que existe en el viento, la cual es igual al flujo de energía cinética por unidad de área perpendicular al flujo está dada por:

$$E = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (1)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire y  $V$  es la rapidez del viento. Cuando la energía eólica es convertida en electricidad por medio de un aerogenerador, la potencia de salida se estima mediante la relación:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 A C_p \quad (2)$$

Donde  $P$  es la potencia de salida del aerogenerador en watts,  $A$  es el área de barrido del rotor y  $C_p$  es el factor de eficiencia. Este último factor es el producto de las eficiencias de conversión eléctrica, mecánica y aerodinámica del aerogenerador. Se puede mostrar que el límite termodinámico como el máximo posible de conversión se establece por la ley de Betz, así que  $C_{p,max}=0.59$ , el cual se lograría si el aerogenerador redujera a un tercio la velocidad original del viento. Por otro lado, la densidad del aire se puede calcular en función de la temperatura y la presión. Muchas curvas de funcionamiento de aerogeneradores están considerando condiciones estándar (a nivel del mar y 15°C). En la figura 2 se muestran diferentes tipos de aerogeneradores. Se observan dos tipos de estructuras, las de eje horizontal y las de eje vertical, estas últimas en desuso y son las de eje horizontal las que actualmente dominan el mercado



**Figura 2. Diferentes diseños de aerogeneradores.**

**Fuente: Harper (2015)**

En la figura 2 se muestran los componentes de un aerogenerador actual. Típicamente, estos sistemas cuentan con tres palas aerodinámicas para la extracción de la energía cinética del viento a través del movimiento en sentido de las agujas del reloj (visto desde la dirección del viento); también existen aerogeneradores de dos aspas pero son pocos los modelos los que se ofrecen en el mercado. Además presentan sistemas de control de velocidad mediante desprendimiento de flujo de forma pasiva o bien regulación del ángulo de ataque de manera dinámica, sistema de orientación hacia la dirección predominante del viento, sistema eléctrico para la generación como generadores jaula de ardilla o rotor devanado, Sistema de transmisión con caja de engranes multiplicador para acoplar el eje principal con el generador. En sistemas donde se utiliza un generador síncrono de baja velocidad (multipolo) no se ocupa la caja de engranes.

- **Dirección del Viento**

Según la NASA (2015) El viento es el aire en movimiento, el cual se produce en dirección horizontal, a lo largo de la superficie terrestre. La dirección, depende directamente de la distribución de las presiones, pues aquel tiende a soplar desde la región de altas presiones hacia la de presiones más bajas. Se llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla. Para distinguir uno de otro se les aplica el nombre de los principales rumbos de la brújula, según la conocida rosa de los vientos. Los cuatro puntos principales corresponden a los cardinales: Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (W). Se consideran hasta 32 entre estos y los intermedios, aunque los primordiales y más usados son los siguientes con su equivalencia en grados del azimut:

- **Batimetría**

Un Batimetría es el levantamiento del relieve de Superficies Subacuáticas, ya estemos hablando del fondo del mar, como cursos de aguas, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos, como si se tratara de un terreno seco. Al igual que en los levantamientos convencionales, se hallará las coordenadas (X, Y, Z), de manera que pueda describirse los fondos y todas aquellas anomalías que en ellos puedan existir. Desde siempre han destacado las cartas de navegación, donde se plasmaban las zonas donde era posible navegar y donde era imposible saberse de otra manera. Las mediciones batimétricas, tienen sus orígenes en el pueblo egipcio, quien con el uso de piedras atadas a cuerdas, examinaban la profundidad del fondo y han ido evolucionando hasta la fecha, donde haciendo uso del sistema de

posicionamiento global (GPS) y técnicas sónicas utilizadas a la vez, se hallan las coordenadas al instante. Sand (2010)

Así mismo lo afirma González (2012) como la ciencia que mide las profundidades marinas para determinar la topografía del fondo del mar, actualmente las mediciones son realizadas por GPS diferencial para una posición exacta, y con sondadores hidrográficos mono o multihaz para determinar la profundidad exacta, todo ello se va procesando en un ordenador de abordo para confeccionar la carta batimétrica. Una Carta batimétrica es un mapa que representa la forma del fondo de un cuerpo de agua, normalmente por medio de líneas de profundidad, llamadas isobatas, que son las líneas que unen una misma profundidad, las líneas isobáticas son los veriles que nos indican la profundidad en las cartas de navegación.

- **Latitud**

Según la NASA (2015) La latitud de un punto es la medida del ángulo formado por el plano ecuatorial con la línea que une a éste punto al centro de la tierra. Por regla general está comprendido entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ . Los valores negativos son para ubicaciones en el hemisferio sur, y el valor de la latitud es de  $0^\circ$  en el ecuador. Este concepto involucra ciertos aspectos relevantes a considerar:

- Todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud.
- Aquellos que se encuentran al norte del Ecuador reciben la denominación Norte (N).
- Aquellos que se encuentran al sur del Ecuador reciben la denominación Sur (S).
- Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

- Al Ecuador le corresponde la latitud de  $0^{\circ}$ .
- Los polos Norte y Sur tienen latitud  $90^{\circ}$  N y  $90^{\circ}$  S respectivamente.

- **Longitud**

Según la NASA (2015) La longitud tiene el mismo principio, con la diferencia en que no existe una referencia natural como lo es el Ecuador para la latitud. La referencia para la longitud ha sido establecida arbitrariamente en el Meridiano de Greenwich (que pasa a través del Real Observatorio de Greenwich en las afueras de Londres), y la longitud de un punto es la medida angular formada por el semiplano del eje de la Tierra que pasa por el meridiano de Greenwich, y el semiplano del eje de la Tierra que pasa por el punto.

#### **2.1.1.2. Parámetros de un parque eólico offshore**

Según Cartay (2016), los parámetros técnicos son todas aquellas variables manipulables a través de cálculos o ingeniería de detalle. Estos valores son analizados e interpretados a través de requerimiento en el área de ingeniería de diseño para cualquier sistema, dispositivo u equipo que así lo requiera. Los parámetros a considerar para esta investigación serán los que brindarán origen a un diseño estructurado, sistemático y paramétrico de un sistema sustentable mediante la utilización de turbinas Off shore eólicas como medio alternativo para la producción de electricidad de manera autónoma para la población de San Andrés en la Guajira Colombiana.

- **Demanda eléctrica**

Según la B.P Statistical Review, la demanda eléctrica mundial se está incrementando sin cesar tanto por el crecimiento socio-económico de las naciones como por el aumento de la población mundial, la cual pasará de 7.215 millones en 2015 a 9.100 millones en 2050.

También dice la B.P, que desde los años 70, el consumo de energía mundial se ha más que duplicado, pasando de 6.000 Mtep en 1971 a 12.274,6 Mtep de energía primaria total en 2011.

Particularmente, los niveles de consumo de la región de Asia han tenido unos aumentos espectaculares en los últimos 15 años, a causa de los incrementos de demanda de energía primaria de china y la india.

Los 10 países con mayor demanda de energía en el mundo son:

- China: 20,26%
- Estados Unidos: 19,04%
- Rusia: 5,75%
- India: 4,36%
- Japón: 4,17%
- Alemania: 2,65%
- Canadá: 2,64%
- Corea del sur: 2,12%
- Brasil: 2,11%
- Francia: 2,10%
- Resto del mundo: 34,76%

La proyección de la demanda de la energía eléctrica es uno de los pilares fundamentales para la concepción y elaboración de los planes de expansión y transmisión del sistema interconectado nacional (SIN). El comportamiento de la demanda de la energía eléctrica, depende generalmente de variables tales como: el comportamiento de la economía, el crecimiento de la población y de factores ambientales como la temperatura.

En 2005, la demanda eléctrica total en Colombia fue de 48.8 TWh, lo que corresponde a un consumo de energía promedio per cápita de 828 KWh por año. El consumo por sector se describe a continuación:

- Residencial: 42.2%
- Industrial: 31.8%
- Comercial: 18%
- Oficial: 3.8%
- Otros usos: 4.3%

Según el Ministerio de Minas y Energía, la demanda de energía eléctrica en Colombia en 2012 alcanzó los 59.370 GWh, registrándose un crecimiento del 3.8% con relación al año 2011, convirtiéndose así, en el mayor crecimiento de demanda en los últimos 5 años. Por el tipo de día, la demanda de los domingos y festivos fue la que presentó un mayor crecimiento (4.3%), seguido por los días sábados (3.9%) y los días ordinarios (3.6%). Este crecimiento de 3.8% en la demanda de 2011-2012, fue entre otras razones, producto del incremento del 6.8% de la demanda no regulada (industria y comercio) y de un 2.3% de la demanda regulada (residencial y pequeños negocios).

La proyección de la demanda de energía eléctrica (GWh) total en Colombia se describen en la tabla 1 y los porcentajes de crecimientos respectivos en la tabla 2.

**Tabla 1.**  
**Proyección de la Demanda de Energía Eléctrica Total en Colombia**  
**(GWH).**

Año	Esc. Alto	Esc. Medio	Esc. Bajo
2015	66.404	65.536	64.310
2016	69.340	68.253	67.169
2017	72.188	71.072	69.959
2018	75.048	73.904	72.764
2019	76.917	75.747	74.580
2020	79.548	78.348	77.151
2021	81.732	80.505	79.281
2022	83.767	82.510	81.256
2023	85.565	84.275	82.989
2024	87.348	86.030	84.175
2025	89.480	88.130	86.783
2026	91.665	90.279	88.897
2027	94.106	92.681	91.260
2028	96.286	94.825	93.370
2029	98.757	97.260	95.766

**Fuente: Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2015)**

**Tabla 2.**  
**Crecimiento de la Demanda Proyectada de Energía Eléctrica en Colombia (%).**

Año	Esc. Alto	Esc. Medio	Esc. Bajo
2015	7.6%	5.0%	2.4%
2016	4.6%	4.6%	4.7%
2017	2.1%	2.1%	2.1%
2018	4.0%	4.0%	4.1%
2019	1.5%	1.5%	1.5%
2020	1.5%	1.5%	1.5%
2021	2.5%	2.5%	2.5%
2022	1.7%	1.7%	1.7%
2023	1.8%	1.8%	1.8%
2024	1.5%	1.5%	1.5%
2025	1.8%	1.8%	1.8%
2026	1.9%	1.9%	1.5%
2027	1.9%	1.9%	1.9%
2028	1.8%	1.8%	1.8%
2029	2.0%	2.0%	2.0%

**Fuente: Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2015)**

En la actualidad, la energía eólica es la tecnología de generación de electricidad de mayor crecimiento a nivel mundial. En 1997 la potencia eólica instalada en el mundo, ascendía a los 7.740 MW y según lo estimaba la Agencia Internacional de Energía, para el 2010 alcanzaría los 170.000 MW.

Esta predicción se quedó corta, ya que para el 2011, según lo reporta la asociación mundial de la energía eólica (WWEA), la potencia instalada de energía eólica en el mundo alcanzo los 235.773 MW.

Según el informe del primer semestre de 2015, de la Asociación Mundial de la Energía Eólica (WWEA), el mundo tiene ya instalados 392.927 MW de potencia eólica; China rondaría las 125 gigas; y Brasil se estaría consolidando como el cuarto mercado de turbinas más importante del mundo. Según os cálculos de la WWEA, todas las turbinas instaladas al día de hoy en el mundo podrían producir el 4% de la demanda de electricidad. En las Tablas 3 y 4 respectivamente el crecimiento de la potencia total de energía eólica en el mundo, para el quinquenio del 2011- 2015. El Rankin de los países con más de 4.000 MW eólicos instalados.

**Tabla 3.**  
**Potencia total instalada (MW) durante el quinquenio 2011-2015.**  
**Fuente: WWEA**

AÑO	POTENCIA	CRECIMIENTO
DICIEMBRE-2011	236.733	---
JUNIO-2012	254.041	7.3%
DICIEMBRE 2012	282.266	11.1%
JUNIO-2013	296.255	4.9%
DICIEMBRE-2013	318.448	7.5%
JUNIO-2014	336.327	5.6%
DICIEMBRE-2014	371.374	10.4%
JUNIO-2015	392.927	5.8%
DICIEMBRE-2015	428.000	9%

**Fuente: WWEA (2011)**

**Tabla 4.**  
**Países con más de 4.000 MW eólicos instalados a junio de 2015.**

RANKING	PAIS	POTENCIA (MW)
1	China	124.710
2	Estados Unidos	67.870
3	Alemania	42.367
4	India	23.762
5	España	22.987
6	Reino Unido	13.313
7	Canadá	10.204
8	Francia	9.819
9	Italia	8.787
10	Brasil	6.800
11	Suecia	5.582
12	Dinamarca	4.959
13	Portugal	4.953
14	Turquía	4.193
15	Polonia	4.117
16	Australia	4.006
-	Resto del Mundo	34.600
-	Total	392.927

**Fuente: WWEA (2011)**

El sector eléctrico en Colombia, está mayormente dominado por generación de energía hidráulica (70,35% de la producción) y generación térmica (29%). No obstante, el gran potencial del país en nuevas tecnologías de energías renovables (principalmente Eólica, Solar y Biomasa), apenas si ha sido explorado. Las leyes diseñadas para promover el uso de fuentes

alternativas para la producción de energía eléctrica, carecen de disposiciones claves para lograr este objetivo.

En la actualidad Colombia solo cuenta con dos parques eólicos llamados Jepirachi y Wayuu, instalados por las Empresas Públicas de Medellín (E.P.M ) en la Alta Guajira con propósitos de transferencia de tecnología, aprendizaje, y entendimiento para futuros proyectos de energía eólica en el país. Los dos parques suman una capacidad total de 40 MW y su aporte equivale al 0,1% de la capacidad instalada total. Adicionalmente Colombia ha ampliado la red meteorológica de evaluación del recurso eólico con otras 10 estaciones estratégicamente localizadas, en la alta Guajira.

La energía eólica se enfrenta a ciertos problemas potenciales y reales que pueden obstaculizar su rápida introducción en el mercado mundial de la energía. Los puntos más importantes son los de tipo económico, la integración en la red y los medioambientales: impacto visual, producción de ruido e impacto sobre las aves. La energía eólica solo puede entrar en el mercado eléctrico si se produce a un costo competitivo. Los costos de producción de la energía eólica son, todavía, más altos que los de producción de la energía a partir de combustibles fósiles.

Por consiguiente es esencial, para su competitividad reducir estos costos. Sin embargo la competitividad de la energía eólica mejoraría notablemente si el cálculo del precio de la electricidad se basara en los costos totales de la misma, es decir, los costos de producción que afectan directamente a la empresa productora más los costos de externalidad que recaen en la sociedad en su conjunto.

Alrededor del mundo, las políticas ambientales y energéticas se han ido acercando y consolidando dentro de estrategias regionales y globales unificadas. Esto se debe a que la comunidad científica ha hecho evidente el efecto invernadero de la emisión de ciertos gases, en especial CO<sub>2</sub> y metano, que está asociado en su mayoría con el sector energético pero que tiene consecuencias inmediatas y futuras en el medio ambiente. Aun cuando

existen actualmente controversias dentro del gremio científico sobre el cambio climático, cada vez más estas discusiones se centran en torno a cuestiones que asumen que existe un efecto directo causado por el CO<sub>2</sub>, incluyendo rangos de incertidumbre, magnitud del efecto, velocidad de cambio, tamaños de las catástrofes y ajustes de las temperaturas en diversos modelos debido a la densidad poblacional.

Países que tienen obligaciones regionales de reducción de emisiones, y que son altamente dependientes energéticamente, han sido los primeros en establecer políticas y mecanismos económicos que incentiven la inversión de fuentes renovables. Dentro de los incentivos considerados están los denominados indirectos y los directos. Los indirectos son los que incentivan la inversión de energía renovable a través de la promoción de otra actividad, dentro de los cuales se destaca el soporte a la investigación y desarrollo; Mediante este mecanismo se busca mejorar y optimizar las tecnologías, para difundirlas y reducir los costos asociados con la inversión. Los mecanismos directos son aquellos que aplican directamente a los inversionistas afectando su decisión de inversión. Dentro de estos se encuentran los subsidios, préstamos con tasas de interés especial y reducción de impuestos.

También existe una diferenciación en los mecanismos de promoción de acuerdo a si su objetivo es alcanzar una cantidad total de electricidad renovable, o si establecen un precio de compra de electricidad renovable. Por supuesto, estos dos no son excluyentes, pero la preferencia puede dictar dos perspectivas diferentes frente a cómo abordar dicha promoción desde las políticas públicas.

Otro tipo de incentivo utilizado es la denominada energía verde, la cual corresponde a la energía producida por fuentes de energía que tienen poco impacto sobre el medio ambiente, en comparación con los métodos tradicionales y contaminantes de generación de electricidad. Todos los tipos de generación de electricidad tienen algún tipo de impacto, pero los de algunos son mucho mayores que otros. Las fuentes de energía más limpias

son aquellas que utilizan los flujos de energía natural de la tierra como la biomasa, energía solar, hidráulica. O eólica.

Estas son conocidas como fuentes de energía renovables porque en principio nunca se acaban. Los países europeos tienen un sistema de certificación de la electricidad verde, llamado etiqueta de electricidad verde. La etiqueta de electricidad verde demuestra que una tarifa eléctrica cumple una serie de requisitos evaluados independientemente. Este tipo de etiqueta provee al consumidor la certeza que el producto que está comprando es Verdaderamente lo que dice ser: energía eléctrica producida de energías renovables y que minimiza los impactos ambientales.

- **Voltaje**

Según Finn (2010) El voltaje es una magnitud física, con la cual podemos cuantificar o “medir” la diferencia de potencial eléctrico o la tensión eléctrica entre dos puntos, y es medible mediante un aparato llamado voltímetro. En cada país el voltaje estándar de corriente eléctrica tiene un número específico, aunque en muchos son compartidos. Por ejemplo, en la mayoría de los países de América Latina el voltaje estándar es de 220 voltios.

La corriente eléctrica se genera por un traslado o traspaso de cargas enérgicas, lo cual se conoce como Ley de Henry, y podría resumirse el proceso de la siguiente manera: dos puntos, pongamos A y B, tienen diferencia de potencial pero aun así son unidos por un conductor. Esto provocará un flujo o traspaso de electrones, entonces del punto A que posee mayor potencial se producirá el traspaso de una parte de la carga, mediante el conducto, al otro punto (B) que posee menor potencial. El traspaso cesará solo cuando ambos puntos A y B igualen su capacidad de potencial eléctrico.

Ese traspaso descrito es lo que comúnmente conocemos como corriente eléctrica.

El símbolo con el cual es representado el voltaje o tensión eléctrica es  $V$ , que representa a la unidad de medida que es el voltio o volt. Su nombre, deriva de Alessandro Volta, físico italiano que ingenió en el siglo XVII la pila eléctrica, luego denominada pila voltaica (también en honor a su mentor). Lo que hizo Volta fue “descubrir” los dos materiales que eran capaces de conducir electricidad de manera constante, un problema de la física que acarreaba desde los tiempos de Luigi Galvani, otro físico italiano que comenzó a indagar sobre las posibilidades de generar este tipo de electricidad continua. Los dos materiales propuestos por Volta fueron el zinc y la plata.

El voltio tiene capacidad de ser fragmentado, tal como lo son otras medidas como el metro, y entonces podemos encontrar unidades de medidas tales como: centivoltio, decivoltio, milivoltio, decavoltio, hectavoltio, etc. Para tener una idea en general, una pila alcalina no recargable de las que denominamos comúnmente AA (doble A) tiene una capacidad de 1.5V. Mientras, una batería de litio que sea recargable tiene un potencial de 3.75V. Respecto a los voltajes, como decíamos, en casi todos los países de América del Sur el voltaje estándar es de 200V. En Europa, utilizan un voltaje de 230V, mientras en Oceanía asciende a 240V. En Norteamérica, el voltaje de potencial eléctrico es de 120V, y en Japón de 100V. De América Latina, sólo Colombia, Ecuador y Venezuela no comparten el volta de 220, y utilizan 110V.

Cuando un voltaje es generado por una batería, o por la fuerza magnética de acuerdo con la ley de Faraday, esta voltaje generado, se llama tradicionalmente "fuerza electromotriz" o fem. La fem representa energía por unidad de carga (voltaje), generada por un mecanismo y disponible para su uso. No es una "fuerza". El término fem se conserva por razones históricas. Es útil distinguir estos voltajes generados de los cambios de voltaje que

ocurren en un circuito, como resultado de una disipación de energía, como por ejemplo en una resistencia.

- **Potencia**

Según Serway (2010) En la definición del trabajo no se especifica cuánto tiempo toma realizarlo. Cuando subes las escaleras con una carga haces el mismo trabajo ya sea que subas lentamente o corriendo. ¿Entonces por qué te sientes más fatigado cuando corres escalera arriba durante unos cuantos segundos que cuando subes tranquilamente durante unos minutos? Para entender esta diferencia es menester referirse a la rapidez con que se hace el trabajo, es decir, a la potencia. La potencia es la razón de cambio a la que se realiza el trabajo. Es igual al cociente del trabajo realizado entre el intervalo de tiempo que toma realizarlo

Por otra parte Finn (2010) establece el concepto de potencia eléctrica como la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el sistema internacional de unidades es el vatio (watt). Cuando una corriente eléctrica fluye en cualquier circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido o procesos químicos.

La electricidad se puede producir mecánica o químicamente por la generación de energía eléctrica, o también por la transformación de la luz en las células fotoeléctricas. Por último, se puede almacenar químicamente en baterías. La energía consumida por un dispositivo eléctrico se mide en vatios-hora (Wh), o en kilovatios-hora (kWh). Normalmente las empresas

que suministran energía eléctrica a la industria y los hogares, en lugar de facturar el consumo en vatios-hora, lo hacen en kilovatios-hora (kWh), un kilovatio-hora de energía es equivalente a 30600,000 J.

La potencia en vatios (W) o kilovatios (kW) de todos los aparatos eléctricos debe figurar junto con la tensión de alimentación en una placa metálica ubicada, generalmente, en la parte trasera de dichos equipos. En los motores, esa placa se halla colocada en uno de sus costados y en el caso de las bombillas de alumbrado el dato viene impreso en el cristal o en su base.

- **Frecuencia eléctrica**

Según Serway (2010) la Frecuencia de la corriente eléctrica. La Frecuencia de la corriente alterna constituye un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo y puede abarcar desde uno hasta millones de ciclos por segundo o Hertz (Hz) Aunque en la actualidad pueda parecer que siempre ha existido una única frecuencia para el transporte de la energía eléctrica, en cada una de las dos principales zonas de influencia: 50 Hz para Europa y 60 Hz para Estados Unidos, esto no ha sido así. En esta serie de entradas se realizará un recorrido por la historia de las frecuencias que han sido utilizadas.

Fue en 1891, cuando los ingenieros de la empresa Westinghouse, en Pittsburgh, se pusieron de acuerdo y tomaron la decisión final de considerar a los 60 Hz como la frecuencia del futuro, y durante ese mismo año, los ingenieros de Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG) en Berlín seleccionaron los 50 Hz. Desde la toma de estas decisiones, estas frecuencias pasaron a ser las “frecuencias de transmisión de la corriente

alterna” normalizadas, de hecho esta decisión sigue afectándonos hoy en día.

Aunque esto de la normalización depende de cada país, uno de los casos más peculiares es el de Japón, cuando una persona viaja de Tokio a Osaka ha de tener en cuenta que ha pasado de una zona de 50 Hz a otra de 60 Hz. Con esta pequeña reseña se va a intentar clarificar el por qué los ingenieros de Westinghouse y AEG no se pusieron de acuerdo en una única frecuencia y por qué eligieron cada uno un valor diferente.

La Frecuencia de la corriente alterna constituye un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo y puede abarcar desde uno hasta millones de ciclos por segundo o Hertz (Hz). La frecuencia se representa con la letra (  $f$  ) y su unidad de medida es el ciclo por segundo o hertz (Hz). Sus múltiplos más empleados son los siguientes:

- Kiloherzt (kHz) = 10<sup>3</sup> hertz = mil hertz
- Megahertz (MHz) = 10<sup>6</sup> hertz = un millón de hertz
- Gigahertz (GHz) = 10<sup>9</sup> hertz = mil millones de hertz

La Frecuencia de la corriente alterna para uso industrial y doméstico ocupa sólo una pequeña porción del espectro de Ondas electromagnéticas, correspondiente a las frecuencias extremadamente bajas, mientras que las de radio, televisión, microondas, rayos infrarrojos, entre otros., alcanzan valores de frecuencias mucho más altos

### **2.1.2. Diseño de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de san Andrés.**

La conversión de potencia es el proceso de transformar la energía de una forma a otra manteniendo propiedades similares. Esto podría incluir los

procesos electromecánicos o electroquímicos. En la ingeniería eléctrica, la conversión de potencia tiene un significado más específico, que es la conversión de energía eléctrica de una forma a otra. Esto puede ser tan sencillo como un transformador para cambiar el voltaje de redes de corriente alterna, pero incluye también sistemas mucho más complejos. Los sistemas de conversión de potencia a menudo incorporan la regulación de tensión (voltaje), que es el control de su valor dentro de ciertos límites.

Tal y como postula el primer Principio de la Termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, simplemente se transforma. La energía puede transformarse de una forma a otra, como por ejemplo de electricidad a calor o de calor a electricidad. El diseño a proponer en esta investigación involucra diversas conversiones electro mecánicas partiendo de un diseño aerodinámico y de selección y mecánica de materiales pasando por un diseño eléctrico en función de cómo realizar la transformación mecánica a eléctrica en un aerogenerador localizado en la costa respectivamente para luego establecer un diseño lógico automático donde esta carga se almacenara en baterías para su posterior uso de manera autónoma.

#### **2.1.2.1. Diseño Estructural**

El diseño físico comprende todas las etapas de la ingeniería, según Ortigoza (2010), el esquema o plano de funcionamiento y el levantamiento de información en 3D es fundamental para la secuencia del proceso. El esquema parasolido es una representación en diferentes vistas con los equipos instalados para el funcionamiento en serie de los diferentes sistemas como el de enfriamiento, calentamiento, recuperadores, entre otros mencionados anteriormente.

- **Diseño Mecánico**

Estructura mecánica se le llama a la distribución e interrelación de las diferentes piezas que componen un objeto o una idea. Se trata de un cuerpo u objeto que está construido de diferentes partes. Distribución y orden de las partes importantes de una edificación. Armadura que puede ser de acero u hormigón armado. Una estructura es una parte del universo con una limitada extensión en cuanto al espacio; una parte formada de otras, y que tienen relaciones espaciales determinadas entre sí. Ingemanc.com, (2017).

Según Arqhys (2012), es la distribución e interrelación de las diferentes partes que componen un objeto o una idea. Se dice de un cuerpo u objeto que se encuentra construido de diferentes partes; Distribución y orden de las partes importantes de un edificio; Armadura, generalmente de acero u hormigón armado. La estructura es una parte del universo con una limitada extensión en cuanto al espacio (solamente). Es una parte formada por otras partes, las que tienen relaciones espaciales fijas entre sí. Un término genérico el cual se refiere a la agregación de unidades de datos, sus formatos, y sus relaciones. Un modelo o arreglo entre los elementos de un conjunto tal que algunos elementos son unidos, explícita o implícitamente, a otros. Conjunto de elementos entre los que está organizado un ecosistema. La estructura específica se mide a través de parámetros como la diversidad, la productividad y la estabilidad. La estructura cambia conforme al proceso de sucesión ecológica.

De acuerdo con Siemens (2017), Parasolid es el componente de software de modelado de sólido 3D más importante del mundo empleado como columna vertebral de los productos NX y Solid Edge de Siemens PLM. También se ofrecen licencias de Parasolid a muchos proveedores de software independientes (ISV) importantes de manera equitativa. Estos ISV desarrollan cientos de aplicaciones basadas en Parasolid en el mercado de

diseño y análisis de productos.

Por otro lado Solidworks (2017) sostiene que el convertidor de Parasolid puede exportar documentos de pieza o ensamblaje de Solidworks como archivos de texto o binarios de Parasolid. Los archivos binarios son más pequeños que los archivos de texto pero no se soportan en algunas aplicaciones de destino, si exporta un documento de ensamblaje de Solidworks que tiene componentes ocultos o suprimidos a un archivo de texto o binario de Parasolid, aparece un cuadro de diálogo que le pregunta si desea solucionar dichos componentes, el convertidor de Parasolid incluye opciones de exportación.

Según Cano (2017), Si se tiene que evitar una falla estructural, las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a las que se va a someter cuando este en servicio. Como La resistencia es la capacidad de una estructura para resistir cargas, el criterio anterior se puede replantear como sigue: la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida. La relación de la resistencia real entre la resistencia requerida se llama factor de seguridad, Naturalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar falla. Dependiendo de las circunstancias, los factores de seguridad varían desde un poco más que 1.0 hasta 10.

De acuerdo con Mecapedia.uji.es (2017), el coeficiente de seguridad o factor de seguridad es un índice de la seguridad que cabe esperar de un determinado diseño desde el punto de vista de su resistencia mecánica. La forma más usual de definir el coeficiente de seguridad de un diseño mecánico es una de las siguientes:

1. Como cociente entre la resistencia del material ( $S$ ) y la tensión realmente existente ( $\sigma$ )
2. Como cociente entre la fuerza última o máxima para un funcionamiento correcto ( $F_u$ ) y la fuerza realmente existente ( $F$ )

Un valor del coeficiente de seguridad superior a la unidad indica seguridad

ante el fallo, tanto mayor, cuanto más elevado sea su valor, mientras que un valor inferior a la unidad indica inseguridad o probabilidad elevada de que ocurra el fallo. En función de la variabilidad de las cargas aplicadas y las propiedades del material, cada valor del coeficiente de seguridad se puede asociar a una probabilidad de fallo o de supervivencia de la pieza analizada.

- **Sistema electrónico.**

Entendemos por sistema electrónico a un conjunto de dispositivos que se ubican dentro del campo de la ingeniería y la física y que se encargan de la aplicación de los circuitos electrónicos cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para generar, recibir, transmitir y almacenar información. La información de la que estamos hablando puede consistir en voz o música en un receptor de radio, en números, en una imagen en la pantalla de televisión o en datos que aparecen en una computadora.

Los sistemas electrónicos ofrecen diferentes funciones para procesar dicha información: amplificación de señales débiles para que pueda utilizarse correctamente, generación de ondas de radio, extracción de información, operaciones lógicas como los procesos electrónicos que se desarrollan en los ordenadores, de acuerdo con Maquinariapro.com (2017)

Los denominados circuitos electrónicos posibilitan la conversión y la distribución de la energía eléctrica, por lo que se pueden emplear en el procesamiento y el control de información. A nivel general puede decirse que un sistema electrónico está formado por sensores (que también se denominan como inputs o transductores) que reciben las señales físicas y las transforman en señales de corriente (voltaje). Los circuitos del sistema interpretan y convierten, a su vez, las señales de los sensores que llegan a los actuadores (u outputs), que convierten una vez más el voltaje en señales

físicas, ahora útiles, Definición.de (2017).

Según Benítez (2013), conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado. Una forma de entender los sistemas electrónicos consiste en dividirlos en las siguientes partes: Entradas o Inputs Sensores (o transductores) electrónicos o mecánicos que toman las señales (en forma de temperatura, presión, etc.) del mundo físico y las convierten en señales de corriente o voltaje. Ejemplo: El termopar, la foto resistencia para medir la intensidad de la luz.

Circuitos de procesamiento de señales Consisten en piezas electrónicas conectadas juntas para manipular, interpretar y transformar las señales de voltaje y corriente provenientes de los transductores, salidas u Outputs Actuadores u otros dispositivos (también transductores) que convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles. Por ejemplo: un display que nos registre la temperatura, un foco o sistema de luces que se encienda automáticamente cuando este obscureciendo.

Según Correia (2016), Un sistema electrónico es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo. Todo circuito electrónico requiere, para su funcionamiento, de una fuente de energía, en este caso, de una corriente eléctrica, por otro lado una serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores, fuentes, y/o dispositivos electrónicos semiconductores, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas.

- **Sistema Eléctrico**

Existen varios tipos de conexiones eléctricas como la Conexión en serie,

en esta se ubican los elementos uno a continuación del otro y la intensidad es la misma en todos los elementos que conforman el circuito. La conexión paralelo, todos los terminales del lado izquierdo se conectan unidos y los del lado derecho también y la intensidad es repartida entre los distintos componentes del circuito. La Conexión mixta, en esta se incluyen las anteriores dos porque algunos elementos se conectan uno a continuación del otro (en serie) y otros se conectan los del lado izquierdo unidos y lo mismo con los del lado derecho (paralelo), perfil, V. (2017).

Por otro lado González (2016), define a la instalación eléctrica al conjunto de elementos los cuales permiten transportar y distribuir la energía eléctrica, desde el punto de suministro hasta los equipos dependientes de esta. Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitares, dispositivos, sensores, dispositivos de control local o remoto, cables, conexiones, contactos, canalizaciones, y soportes. Las instalaciones eléctricas pueden ser abiertas (conductores visibles), aparentes (en ductos o tubos), ocultas, (dentro de paneles o falsos plafones), o ahogadas (en muros, techos o pisos).

- **Diagrama de operación**

Un proceso se puede definir como "un conjunto de actividades, acciones o toma de decisiones interrelacionadas, caracterizadas por inputs y outputs, orientadas a obtener un resultado específico como consecuencia del valor añadido aportado por cada una de las actividades que se llevan a cabo en las diferentes etapas de dicho proceso". Los diagramas de procesos son la representación gráfica de los procesos y son una herramienta de gran valor para analizar los mismos y ver en qué aspectos se pueden introducir mejoras. Lo más importante para representar gráficamente un proceso es

identificar el Inicio y el Fin del proceso. Esto debe ser acordado por el grupo de trabajo. Generalmente el inicio y el fin se representan con el icono. Fernández (2000)

- **Diagrama Unifilar**

Se puede definir un diagrama unifilar como la representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella. El esquema unifilar se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores. Típicamente el esquema unifilar tiene una estructura de árbol. En el mismo orden de ideas los diagramas de conexión son similares a los diagramas unificares, solo que en este caso en los esquemas siempre se hace referencia a las fases a las cuales estarán conectados todos los circuitos. Pueden incluir símbolos de interruptores termomagnéticos indicando su capacidad de protección para los circuitos que protegen. Los Diagramas de Conexiones son el complemento ideal para los diagramas unificares, con ambos esquemas se puede leer un plano, también se pueden saber fácilmente como se distribuye la energía eléctrica al interior de una residencia o comercio.

Para Duran (2010), lo expresa como la repetición grafica de un circuito o instalación, en la que van indicadas las relaciones mutuas que existen entre sus diferente elementos así como los sistemas que los interconectan, los esquemas deben contener todo los elementos que forman parte de la instalación, con indicación de sus características principales, y prestándole atención a los sistemas de seguridad.

De igual forma López (2010), lo define como el conjunto de conexiones coherentes de símbolos se denomina esquema de conexión y representa un

circuito eléctrico, se enumeran características que hace seguir un esquema, han de ser simplificados y el uso de símbolos e información debe mostrarse de forma clara y concisa, según el tipo de circuito a representar se adoptan distintos tipos:

- **Unifamiliar:** se utiliza para representación en planta de los circuitos eléctricos en los edificios, se define la situación de cada uno de los elementos y canalizaciones por lo que también es llamado plano de obra, facilitando la ejecución.
- **Multifamiliar:** este tipo de esquema se representa en el circuito en su totalidad, conductores, componentes, conexiones, otros y se utiliza cuando se desea mostrar la instalación en detalle o estudiar su función.
- **De Bloques:** se hace uso del esquema por bloques en el que quedan representados circuitos completos mediante rectángulos cuando no interesa el detalle o quizás porque estos ya figuran en otros esquemas, también por las propias características de la instalación.

De acuerdo con lo expresado por los autores los esquemas de conexión se refieren a las diferentes formas de conexión que existen para enlazar los equipos, este tipo de esquema de conexión depende del tipo de medio del equipo que utiliza para la recepción y envío de la señal, por lo que cada uno cuenta con característica diferente.

#### **2.1.2.2. Sistema de control**

Los sistemas de control automático han alcanzado un desarrollo tecnológico de grandes proporciones debido a su alta aplicación en diferentes procesos industriales a nivel mundial, desde controles de desempeño de máquinas herramientas comunes, hasta robótica aplicada y tecnología espacial. El objetivo principal de un sistema consiste en controlar las salidas del mismo, por medio de las señales de entrada que atraviesan los elementos del sistema de control. De forma más simplificada la variable controlada es la salida del sistema y la señal de acción es la entrada del mismo.

Un sistema de control es aquel sistema que tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y alguna entrada de referencia comparándolas y utilizando la diferencia como medio de control. Ogata (1998). Kuo (1996), define un sistema de control como aquel que permite controlar las salidas del sistema cuya acción se realiza manipulando la variable de salida mediante una entrada de referencia y de esta manera se minimiza el error o desviación de la salida o resultado del sistema.

Dependiendo de los propósitos industriales requeridos, puede determinarse el tipo de sistema de control, sea el tipo que se requiera, los sistemas de control usados en un determinado proceso son un factor determinante en el funcionamiento óptimo, rentable y confiable del mismo. Teóricamente los sistemas de control pueden clasificarse en: Sistemas de Control de Lazo Abierto y Sistemas de Control de Lazo Cerrado.

- **Lazos de control**

Según Ogata (2006), es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada, y da como resultado una señal de salida independiente. Estos sistemas se caracterizan por: (a) Sencillos y de conceptos fáciles. (b)

Nada asegura su estabilidad ante una perturbación. (c) La salida no se compara con la entrada. (d) Afectado por las perturbaciones. (e) La precisión depende de la previa calibración del sistema.

Por su parte, señala García (2006), que es aquel donde la salida no se mide, ni se retroalimenta para compararlo con la entrada, es decir, el valor obtenido como resultado en la salida no puede relacionarse con un valor preestablecido en la entrada, ya que el sistema contiene una estructura sencilla, sin retroalimentación, lo cual, constituye una desventaja para el mismo, por cuanto no permite la toma de decisiones o la corrección de errores sobre las variables, limitando estos a procesos de sencilla aplicación en los que las entradas son conocidas previamente y no existen perturbaciones.

De esta manera Ogata (2006), afirma lo anterior, diciendo que: “los sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la acción, se denominan Sistema de Control en Lazo Abierto” (p. 7). En la siguiente figura se puede observar el diagrama de bloque para un sistema de lazo abierto; en este se muestran todos los elementos que lo conforman como son la señal de entrada, la señal de error y la señal de salida (Ver figura siguiente).



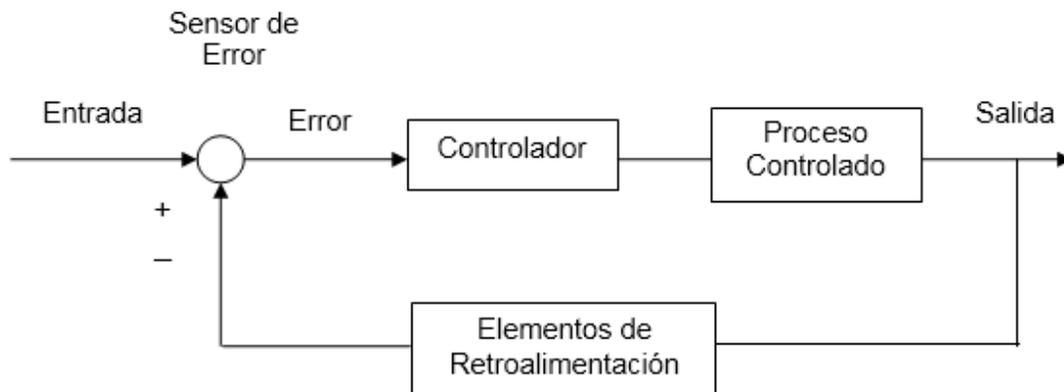
**Figura 3. Lazo de control abierto**  
**Fuente: Kuo (2000)**

Este sistema de control de lazo abierto no posee retroalimentación, por lo cual la salida no tiene efecto sobre la acción de control. Para cada entrada

de referencia corresponde una condición de operación fija. Son los más comunes, porque son mucho más simples que los sistemas retroalimentados. Además, son poco fiables, por lo cual, solo están destinados a cumplir con acciones poco complejas y de bajo riesgo.

Señala García (2006), que son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Sus características son: (a) Complejos, pero amplios de parámetros. (b) La salida se compara con la entrada y la afecta para el control del sistema. (c) Estos sistemas se caracterizan por su propiedad de retroalimentación (Ver figura 6).

De allí, que según Ogata (2006), existe retroalimentación durante el proceso comparando los valores de entrada y salida, con la finalidad de disminuir un posible error producido por perturbaciones, para obtener en la salida el resultado deseado. El mismo autor, define los sistemas de lazo cerrado, como aquellos en donde “al controlador se introduce la señal de error de actuación la cual, es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación (o señal de salida), a fin de reducir el error, de esta manera se refuerza lo antes expuesto, para así lograr el control de una variable, con la finalidad de tener un sistema estable.



**Figura 4. Lazo de control cerrado**  
Fuente: Kuo (2000)

De esa forma, el otro lazo es el sistema de control de lazo cerrado que son sistemas de control retroalimentados, la acción es reducir el error del sistema. La señal de error entrante al controlador, es el resultado de la diferencia entre la señal de retroalimentación y la señal de entrada, la cual lleva la salida de sistema a un valor deseado. Comúnmente son sistemas inteligentes basados en una tecnología confiable que pueda ejecutar tareas con un bajo índice de error posible y de una capacidad de respuesta ideal para controlar todos los posibles estados de un proceso.

Por su lado, Ogata (2006), describe que una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

Así, para obtener un control más exacto la señal controlada debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia y se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y la salida a través del sistema para corregir el error, un sistema con una o más trayectorias de retroalimentación como el que se acaba de describir se denomina sistema de lazo cerrado.

Los avances modernos en la teoría y práctica del control automático proporcionan medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorando la productividad, liberando operaciones manuales rutinarias, por tanto en base a los criterios de autores como Kuo (1996) y Ogata (1998) el control automático juega un papel fundamental en el avance de las ciencias de la ingeniería.

Dentro del marco del control automático existen instrumentos capaces de medir en modo continuo el valor o la condición de una variable, que actúan automáticamente sobre el equipo para corregir el error resultante de la comparación de la salida del sistema con el valor previamente ajustado, estos equipos son denominados controladores. Los controladores automáticos al determinar el error entre la salida y el valor previsto de la entrada, producen una señal de control que reduce dicho error a cero o a un valor muy pequeño, esta tarea la realiza mediante una acción de control la cual determina la clasificación del controlador.

- **Diagrama de Flujo**

Según Morgan (2011) Un diagrama de flujo es una representación gráfica de un proceso. Cada paso del proceso es representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso. El diagrama de flujo ofrece una descripción visual de las actividades implicadas en un proceso mostrando la relación secuencial ente ellas, facilitando la rápida comprensión de cada actividad y su relación con las demás, el flujo de la información y los materiales, las ramas en el proceso, la existencia de bucles repetitivos, el

número de pasos del proceso, las operaciones de interdepartamentales... Facilita también la selección de indicadores de proceso.

Los diagramas de flujo son múltiples y diversos y pueden abordar muchos temas distintos de formas también muy diferentes. En cualquier caso, el aspecto en común entre ellos es la presencia de un vínculo entre los conceptos enunciados y una interrelación entre las ideas. Comúnmente, se utiliza este tipo de diagramas para detallar el proceso de un algoritmo y, así, se vale de distintos símbolos para representar la trayectoria de operaciones precisas a través de flechas. Siempre que existe un diagrama de flujo existe un proceso o sistema que pretende ser graficado a través de símbolos visuales que, en vez de términos verbales, simplifican el funcionamiento de dicho proceso y lo hacen más claro y evidente al lector.

Los símbolos más utilizados en los diagramas de flujo son la línea (indica sentido y trayectoria), el rectángulo (representa un evento o proceso), el rombo (una condición), el círculo (un punto de conexión) y otros. Además, existen diversos tipos de diagramas. El vertical, en el que la secuencia o flujo es de arriba hacia abajo; el horizontal, de izquierda a derecha; el panorámico, puede apreciarse de una vez y de forma tanto vertical como horizontal; el arquitectónico, describe una ruta sobre un plano arquitectónico de trabajo

### **2.1.3. Selección de los equipos e instrumentos de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.**

Según Lorbes (2016) La Selección de equipos es fundamental para completar un diseño a nivel de ingeniería básica, conceptual y de detalle por lo que es necesario recopilar información sobre fabricantes y seleccionar a

partir de características comunes que puedan funcionar en los sistemas diseñados anteriormente. Estos equipos suelen dividirse para efectos de la presente investigación, en equipos e instrumentos para una instalación costa afuera para la generación de energía eléctrica a partir del viento.

#### **2.1.3.1. Equipos de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.**

Los equipos funcionales de una planta son los que en conjunto producirán la energía necesaria de manera que se pueda generar un circuito de funcionamiento lógico con la capacidad para cubrir la demanda en la población de la isla San Andrés en la Guajira y poder levantar una serie de parámetros y funcionalidades eléctrica para la sostenibilidad de la misma. Dentro de los equipos se pueden mencionar los de baja tensión, alta

- **Aerogeneradores**

Según Harper (2015) El desarrollo de la energía eólica comercial a gran escala comenzó a principios de los '80 y la imagen más común de la energía eólica moderna es una hilera de inmensos aerogeneradores de un parque eólico. Sin embargo, y aunque la mayor parte de los esfuerzos de investigación van destinados a la energía eólica a gran escala, también es cierto que en los últimos años empieza a cobrar interés los pequeños sistemas eólicos modernos compuestos de una sola pequeña turbina de menor tamaño.

Esto es debido, entre otras cosas a que dependiendo de los recursos eólicos locales y del precio que tenga la energía procedente de la red eléctrica, un pequeño sistema de energía eólica puede reducir la factura en electricidad de una casa entre un 50% y un 90%. Además, la energía eólica de baja potencia puede ser instalada básicamente con dos objetivos: - instalada como un sistema independiente, eliminando el alto coste de traer las líneas eléctricas de la red desde lejos, o bien - instalada y con conexión a la red eléctrica, permitiendo al abonado vender a la compañía eléctrica la energía eólica generada.

Según Córdoba (2014) Las palas de los aerogeneradores convierten la energía cinética del viento en potencia mecánica que mueve un generador que produce energía eléctrica de una forma limpia y no contaminante. Los aerogeneradores actuales de baja potencia son versátiles y modulares. Sus rotores consisten en dos o tres palas aerodinámicamente diseñadas para la captura de la máxima cantidad de viento posible del viento. El viento hace rotar las palas, que giran soldadas a un eje que mueve un generador, que es el que produce la electricidad. Una carcasa de protección es la que une al rotor, el generador, y la cola, que a su vez es la que alinea al rotor en la dirección en la que sopla el viento.

Los aerogeneradores se suelen montar sobre torres, por lo general de unos 24-36 metros de altura. Dicha torre sitúan a las palas lo suficientemente alto como para que tengan una exposición directa al viento. Hay muchos tipos de torre posibles, pero en general, cuanto más alta sea la torre, mayor potencia se puede generar con el sistema generador de energía eólica. La torre también eleva la turbina hasta una altura en la que no tienen efecto las turbulencias creadas por objetos cercanos a nivel del suelo (tales como edificios, árboles, entre otros)

- **Conductores**

Son materiales cuya resistencia eléctrica al paso de la electricidad es muy baja. Los mejores conductores eléctricos son metales, como el cobre, el oro, el hierro y el aluminio, y sus aleaciones, aunque existen otros materiales no metálicos que también poseen la propiedad de conducir la electricidad, como el grafito o las disoluciones y soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) o cualquier material en estado de plasma.

Para el transporte de energía eléctrica, así como para cualquier instalación de uso doméstico o industrial, el mejor conductor es el cobre (en forma de cables de uno o varios hilos). Aunque la plata es el mejor conductor, pero debido a su precio elevado no se usa con tanta frecuencia. También se puede usar el aluminio, metal que si bien tiene una conductividad eléctrica del orden del 60% de la del cobre, es sin embargo un material tres veces más ligero, por lo que su empleo está más indicado en líneas aéreas que en la transmisión de energía eléctrica en las redes de alta tensión.<sup>1</sup> A diferencia de lo que mucha gente cree, el oro es levemente peor conductor que el cobre; sin embargo, se utiliza en bornes de baterías y conectores eléctricos debido a su durabilidad y “resistencia” a la corrosión.

La conductividad eléctrica del cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como la referencia estándar para esta magnitud, estableciendo el International Annealed Copper Standard (Estándar Internacional del Cobre Recocido) o IACS. Según esta definición, la conductividad del cobre recocido medida a 20 °C es igual a 58.0 MS/m.<sup>2</sup> A este valor es a lo que se llama 100% IACS y la conductividad del resto de los materiales se expresa como un cierto porcentaje de IACS. La mayoría de los metales tienen valores de conductividad inferiores a 100% IACS pero existen excepciones como la plata o los cobres especiales de muy alta conductividad designados C-103 y C-110. Megabytes on Copper (en inglés). Copper Development Association. Archivado desde el original el 10 de noviembre de

2015.

Se entiende por canalizaciones eléctricas a los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, y que además protejan a las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de cortocircuito. Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

- Tubos Conduit.
- Ductos.
- Bandejas.

- **Inversor**

El inversor de un sistema fotovoltaico es un dispositivo electrónico de potencia que transforma en corriente alterna la corriente continua proveniente de los paneles solares o módulos (Chivelet, 2007). La corriente alterna es igual que la utilizada en la red eléctrica: 220 V de valor eficaz y una frecuencia de 50 Hz. Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas (Mascarós, 2015).

Para Alcalde (2011), es un equipo electrónico que convierte la corriente continua en corriente alterna, la característica típica de un inversor es: la tensión de entrada, que se deberá adaptar a la tensión de salida del equipo de generación, la potencia máxima que puede convertir y su rendimiento, este último aspecto es de vital importancia para no tener que aumentar de forma innecesaria el número de paneles fotovoltaico.

En opinión de Valentín (2012), la tensión e intensidad generada por el sistema fotovoltaico no es la más apta para el suministro de receptores

confesionales, que son de corriente alterna, la función de un inversor es proporcionar corriente alterna a receptores de diversas naturalezas, para convertir una corriente continua en corriente alterna de determinada frecuencia hay varias etapas:

- Convertir la corriente continua en corriente de alta frecuencia y forma cuadrada de onda.
  - Transforma la forma de onda de cuadrada a sinodal de alta frecuencia.
  - Modula esa onda en amplitud y frecuencia para adaptarse a los valores convencionales.
- 
- **Baterías**

Para Carta, Calero y otros (2009), tiene como función almacenar la energía eléctrica generada que no está siendo utilizada por el consumidor, ya que al ser la radiación solar variable no podría garantizarse, en el caso de ausencia de este subsistema, el suministro de energía en todo momento. Está compuesto por baterías conectadas en serie o en paralelo. De los distintos tipos de baterías que pueden ser empleadas, las de plomo ácido son las que mejor se adaptan a este tipo de generación, de hecho más del 90% del mercado corresponde a este tipo de baterías.

En este orden de ideas, Méndez y Cuervo (2007), lo definen como un dispositivo electroquímico, capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica, dentro de un sistema solar fotovoltaico tiene la misión de acumular la energía producida para que pueda ser utilizada en períodos donde la iluminación es escasa o incluso casi nula, las características que definen el comportamiento de un acumulador o batería son fundamentales

**a) Capacidad de Descarga en Amperios Hora (Ah):** Se define la capacidad como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa de la batería plenamente cargada, es el cociente entre la capacidad nominal y la intensidad de descarga por el tiempo que actúa. una batería de 300 Ah puede suministrar 60 horas si la intensidad de descarga es de 5 amperios, tal y como se expresa en la ecuación 3

$$Duracion\ descarga\ (h) = \frac{C_n\ (Ah)}{I_N\ (A)} \quad (3)$$

Donde:

$C_r$ =Capacidad Nominal

$I_n$ = Intensidad de Descarga

**b) Profundidad de Descarga:** Se denomina profundidad de descarga al porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga, están pueden clasificarse en descargas profundas las cuales aceptan descargas del 20% de la capacidad nominal y descargar profundas que aceptan el 80% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil.

**c) Vida Útil:** Se expresa en ciclos, que se definen como el número de veces que se produce una carga / Descarga

De acuerdo con lo expresado por los autores se definiría como un dispositivo que es capaz de almacena energía eléctrica, por medio de procedimientos electroquímico, se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas debidas a la carga y la descarga,

- **Sistema de acumuladores:** las tres características que definen una batería de acumulación es la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar y la profundidad de descarga que puede sostener. La cantidad de energía que puede acumular está dada por el número de watts/hora (Wh) de la misma (Gasquet, 2004). La capacidad (C) de una batería de sostener un régimen de descarga está dada por el número de amperes/hora (Ah). Adicionalmente se puede definir el número de Wh multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Ah tal y como es mostrado en la siguiente ecuación.

$$E_{Carga\_Real} = C_{bat} \times V_{Sistema} \quad (4)$$

Donde

$E_{Carga\_real}$ : *Energía en Potencia hora asumiendo perdidas*

$V_{Sistema}$ : *Voltaje nominal del sistema*

$C_{bat}$ : *Valor de demanda del acumulador*

Despejando en la ecuación anterior  $E_{Ah}$ , se obtiene el valor de demanda del acumulador.

$$C_{bat} = \frac{E_{Carga\_Real}}{V_{Sistema}} \quad (5)$$

Al convertir el voltaje hay perdidas de energía y los acumuladores nunca llegan a su capacidad nominal del 100%, es por ello se deben considerar

distintas categorías de pérdidas, en las cuales influyen la temperatura, el envejecimiento, así como el factor de crecimiento de la misma

$$F_d = f_t \times f_e \times f_c \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación, se obtiene la carga de acumulación " $C_B$ " (Ah), la cual permite seleccionar el acumulador más idóneo para el sistema fotovoltaico necesario para la planta de consumo.

$$C_B = \frac{F_d \times C_{bat} \times t_{autonomia}}{\eta} \quad (7)$$

Dónde:

$f_t$ : Factor de temperatura.  $T > 25^\circ C \approx 1.0$

$f_e$ : Factor de Envejecimiento  $\approx 1.25$

$f_c$ : Factor de crecimiento  $\approx 1.1 - 1.15$

$C_b$ : Valor de demanda de la batería

$t_{autonomia}$ : Tiempo que la batería funcionara de manera autónoma  
 $\approx 3 \text{ dias}$

$\eta$ : Eficiencia de la batería  $\approx 80\%$

Sabiendo el valor de  $C_B$  se puede determinar la cantidad de acumuladores a utilizar realizando la relación entre la carga de acumulación total antes

mencionada y la carga de acumulación de la batería seleccionada como se muestra en la ecuación siguiente

$$\text{Numero de Acumulador} = \frac{C_B}{C_{Bateria}} \quad (8)$$

**Donde**

$C_{Bateria}$ : Capacidad del Acumulador

**2.1.3.2. Instrumentos de un parque eólico Off Shore**

Es el grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste. El instrumento más conocido y utilizado es el reloj, el cuál sirve para controlar el uso eficaz de nuestro tiempo. En otras palabras, la instrumentación es la ventana a la realidad de lo que está sucediendo en determinado proceso, lo cual servirá para determinar si el mismo va encaminado hacia donde deseamos, y de no ser así, podremos usar la instrumentación para actuar sobre algunos parámetros del sistema y proceder de forma correctiva. Creus (2011)

La instrumentación es lo que ha permitido el gran avance tecnológico de la ciencia actual en casos tales como: los viajes espaciales, la automatización de los procesos industriales y mucho otros de los aspectos de nuestro mundo moderno; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que puedan sensar lo que sucede en el ambiente, para luego

tomar una acción de control pre-programada que actué sobre el sistema para obtener el resultado previsto.

Según Sanchez (2009) Para otros usos de este término, véase Instrumentación. Instrumentación industrial: es el grupo de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste. Es el conocimiento de la correcta aplicación de los equipos encaminados para apoyar al usuario en la medición, regulación, observación, transformación, ofrecer seguridad, entre otros, de una variable dada en un proceso productivo.

Un sistema de instrumentación es una estructura compleja que agrupa un conjunto de instrumentos, un dispositivo o sistema en el que se mide, unas conexiones entre estos elementos y por último, y no menos importante, unos programas que se encargan de automatizar el proceso y de garantizar la repetitividad de las medidas. En términos abstractos, un instrumento de medición es un dispositivo que transforma una variable física de interés, que se denomina variable medida, en una forma apropiada para registrarla o visualizarla o simplemente detectarla, llamada medición o señal medida.

Una medición es, entonces, un acto de asignar un valor específico a una variable física. Dicha variable física es la variable medida. Un sistema de medición es una herramienta utilizada para cuantificar la variable medida. El elemento clave fundamental de un sistema de instrumentación, es el elemento sensor. La función del sensor es percibir y convertir la entrada (variable física) percibida por el sensor, en una variable de la señal de salida.

- **Sensores**

Según Creus (2011) un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, entre otros) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Según Sanchez (2011) Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, entre otros. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), entre otros.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de

manufactura, Robótica. Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, entre otros.

- **Actuadores**

Según Ogata (2011) Es un mecanismo que altera el valor de la variable manipulada en respuesta a una señal de salida desde el dispositivo de control automático; típicamente recibe una señal del controlador y manipula un flujo de material o energía para el proceso. El elemento final de control es aquel que finalmente modifica alguna característica del proceso según lo ordenado por el controlador. Dependiendo del tipo de proceso y de los objetivos, se tienen una variedad de estos elementos. Desde dispositivos que reciben señales de control del tipo discreto hasta otros que actúan regulando la variable de interés dentro de cierto rango como por ejemplo el flujo de un fluido a través de una válvula de control, la velocidad de un motor por medio de un variador de velocidad o la temperatura de un horno eléctrico utilizando una resistencia calefactora.

- **Controladores**

Los controladores digitales son pequeñas instalaciones inteligentes que se componen de una entrada de un sensor, un indicador digital y una salida de regulación. Existen controladores digitales para diferentes trabajos de medición y regulación. Los controladores digitales se configuran a través de las teclas del propio controlador. Existe la posibilidad de establecer valores nominales para definir así el proceso de regulación. Creus (2011)

Varios controladores digitales disponen, además de la salida de regulación, salidas para señales normalizadas, a las que puede conectar un sistema de visualización para controlar el proceso de regulación. Especialmente en los sistemas de alcantarillado los controladores digitales son imprescindibles debido a las estrictas leyes que regulan este tema. Un controlador digital verifica en este caso el valor pH de un desagüe y regula el valor para que no se contamine el medioambiente.

Un controlador digital de pH se usa también en la piscicultura o en piscinas. Los controladores digitales de temperatura se usan en los sectores de la climatización o en el control de la temperatura del agua. Gracias al amplio uso los controladores digitales se usan mucho en la industria y están preparados para realizar trabajos que normalmente requieren una solución completa de un PLC.

Según Ogata (2011) Con la llegada de los autómatas programables, los llamados PLC, la industria sufrió un impulso importante, que ha facilitado de forma notable que los procesos de producción o control se hayan flexibilizado mucho. Encontramos PLC en la industria, pero también en nuestras casas, en los centros comerciales, hospitalarios, etc. También en nuestras escuelas de formación profesional encontramos frecuentemente autómatas programables.

PLC son las siglas en inglés de Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller). Cuando se inventaron, comenzaron llamándose PC (Controlador programable), pero con la llegada de los ordenadores personales de IBM, cambió su nombre a PLC (No hay nada que una buena campaña de marketing no pueda conseguir). En Europa les llamamos autómatas programables. Sin embargo, la definición más apropiada sería: Sistema Industrial de Control Automático que trabaja bajo una secuencia almacenada en memoria, de instrucciones lógicas.

- **Reguladores de carga**

Para Vicente (2015), un regulador de carga es un dispositivo electrónico, que realiza la gestión de un sistema fotovoltaico aislado o autónomo, se encarga de conseguir que el modulo o generador fotovoltaico funcione en el punto máximo de potencia de su curva característica intensidad-tensión, así como controlar los procesos de carga y descarga de la batería o sistema de acumulación de energía, evitando la sobrecarga y sobre descarga, desconectando las cargas o consumo en corriente continua (CC) en caso de ser necesario.

En opinión de Guerrero (2013), el regulador de carga tiene la función principal de evitar que la batería continúe recibiendo energía del panel solar una vez que se ha cargado completamente, si una vez que se ha alcanzado la máxima carga, se intenta suministrarle más energía, se inicia en la batería procesos de gasificación o de calentamiento, que pueden llegar a ser peligrosos y en cualquier caso originaria un descenso de su vida útil, Otra función del regulado es la prevención de la sobrecarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, siendo este un fenómeno que puede provocar una ligera disminución en la capacidad de carga de la batería en sucesivos ciclos

En instalaciones de baja potencia se utilizan reguladores paralelos o shut, este se sitúa en paralelo al panel fotovoltaico, con el fin de eliminar el exceso de energía generada, en potencias mayores se usan en serie, cortan el suministro de energía del panel fotovoltaico, antes de que la batería llegue al nivel de sobrecarga. Esto se debe a que cuando existen tensiones mayores se necesita unos disparos de potencia para los dispositivos de control de potencia de mayor tamaño, ya que debe soportar mayores niveles de intensidad Pareja (2010).

En este sentido, un regulador de carga es un dispositivo que permite controlar la cantidad de energía que es suministrada al acumulador cuando este cargado en su totalidad, protegiéndolo de sobrecarga y sobre descarga ya que evita que se agote en exceso la carga, ayudando así alarga la vida útil, Para determinar el regulador a utilizar, primero se debe conocer la corriente y la tensión que soporta el circuito, para evitar que el regulador trabaje al límite se debe sumar el 10% de la corriente máxima que soporta el regulador, tal y como se muestra en la ecuación 15

$$I_{regularador} = N * I_{sc} \quad (9)$$

Donde

$I_{sc}$ : Corriente de Corto circuito del aerogenerador

$N_p$ : Número de elementos de generación.

## 2.2. SISTEMA DE VARIABLES.

Esta variable será medida por sus causas, consecuencias, acciones y métodos de identificación, así como también será medida a través de elementos. Según Hernández, Fernández y Baptista (2006) las variables son susceptibles de observarse y de medirse con respecto a una propiedad que puede variar. En toda investigación es importante plantear variables, ya que éstas permiten relacionar algunos conceptos y hacen referencia a las características que el investigador va a estudiar. Aunque Hurtado (2008)

prefiere usar el concepto de “evento”, el cual es más amplio pero el mismo incluye el término variable y es el que discutirá a continuación.

### **2.2.1. DEFINICIÓN NOMINAL.**

#### PARQUE EOLICO OFF SHORE

### **2.2.2. DEFINICIÓN CONCEPTUAL.**

Según Carta et al (2016) La tecnología necesaria para extraer la energía cinética del viento que sopla sobre el mar presenta ciertas características propias, es decir, las turbinas que se instalen han de contar con un diseño adecuado a las condiciones externas del ambiente donde va a funcionar, las cuales son diferentes a las que se presentan en tierra. Como ya se ha mencionado, como consecuencia de la relativamente suavidad de la superficie de los océanos se genera una baja rugosidad superficial y, por tanto, baja intensidad de turbulencia.

Ello se traduce en que la velocidad del viento sea superior a la de tierra a una misma altura y, por tanto, pueden instalarse torres de menor altura que las utilizadas en tierra. Además, se generan intensidades de turbulencia más bajas como consecuencia de la menor rugosidad superficial y al menor gradiente vertical de temperatura que se genera en el mar (la luz solar penetra varios metros en el agua, mientras que en tierra el calor se mantiene en la superficie y, por tanto, lo calienta más), dando lugar a menores daños por fatiga y que la vida de la turbina sea mayor. Sin embargo, hay que tener en cuenta, a la hora de fijar la altura óptima de la torre, la profundidad del mar en el lugar de instalación, el diámetro del rotor y las condiciones de mar (mareas, oleaje, corrientes marinas).

### **2.2.3. DEFINICION OPERACIONAL.**

Para definir operacionalmente la variable se cuenta con un instrumento para poder establecer la relación entre los objetivos específicos y el quehacer de la investigación, esto es el cuadro de operacionalización de la variable. Para este estudio la variable Central Eólica Off Shore presenta 4 áreas para su propuesta, las cuales son los parámetros y requerimientos para el diseño del parque, posteriormente el diseño del mismo, selección de sus equipos y/o componentes y finalmente la evaluación técnica y financiera del mismo donde se incluyen simulaciones para extrapolar el comportamiento una vez aprobado y licitado el proyecto en cuestión. A continuación, se presenta el cuadro mencionado:

**Cuadro 1**  
**Operacionalización de la variable**

<b>Objetivo General:</b> Proponer un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.					
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variable</b>	<b>Área</b>	<b>Sub Área</b>	<b>Elementos</b>	
Determinar los parámetros y requerimientos de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.	<b>PARQUE EÓLICO OFFSHORE PARA ABASTECER LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA ISLA DE SAN ANDRÉS.</b>	Parámetros y requerimientos de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.	Requerimientos de un parque eólico offshore	Velocidad el viento Dirección del viento Batimetría Latitud Longitud	
			Parámetros de un parque eólico offshore	Demanda eléctrica Distancia a la costa Potencia Frecuencia eléctrica Voltaje del sistema	
Diseñar un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de san Andrés		Diseño de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de san Andrés.	Diseño estructural		Diseño Mecánico Diseño Electrónico Sistema eléctrico Diagrama de operación Diagrama unifilar
				Sistema de control	Lazos de control Diagrama de flujo
Seleccionar los equipos e instrumentos de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.		Selección de los equipos e instrumentos de un parque eólico offshore para abastecer la demanda de energía eléctrica de la Isla de San Andrés.		Equipos de un parque eólico Off Shore	Aerogeneradores Soportes Flotantes Sub estación Conductores Protecciones Inversor Baterías
				Instrumentos de un parque eólico Off Shore	Sensores Actuadores Controladores Regulador de carga
Evaluar el funcionamiento del parque eólico propuesto a través de simulaciones.			<b>NO OPERACIONALIZABLE</b>		