

Análisis interdisciplinario del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) para la Confiabilidad-Seguridad-Calidad (CSC) entorno a las Energías Renovables dentro de su operación y control.

Bustillo Abrego, David Antonio; *Student Member, IEEE*

Abstract— En el presente trabajo se analiza el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) desde un enfoque interdisciplinario de investigación frente al uso de energías renovables en función de la Confiabilidad, Seguridad y Calidad de las nuevas tecnologías aplicadas al SEP para su operación y control. Este análisis tiene el fin de determinar los avances en la integración de los nuevos conceptos de control y operación, el modelado, la tecnología de componentes seguras, eficientes y confiables entorno a las tecnologías de las energías renovables que permitan el desarrollo y cambios óptimos dentro del SEP. En el presente trabajo se desarrolla el análisis de las protecciones y calidad requerida por los Sistemas Eléctricos de Potencia dentro de un marco de generación mediante energías renovables, presentándose las características de las nuevas tecnologías y desarrollo de medidas de control numérico computacional para su protección; así como, la medición de las características necesarias que el servicio de energía debe prestar a los usuarios para su consumo; además de presentarse en este los sistemas de control de cada tipo de energía renovable presente con su análisis de costos y eficiencia dentro de las regulaciones y estándares existentes.

Index Terms—Energías Renovables, Calidad de la Energía, Energía Fotovoltaica y Solar, Energía Eólica, Energía Hidroeléctrica, Protecciones Eléctricas, Generación Distribuida.

I. INTRODUCCIÓN

EN el presente trabajo se desarrolla un análisis de la generación de energías renovables entorno al margen de la calidad y protecciones de estos sistemas en su control y operación; es por ello que las etapas que se seguirán para analizar a estos se dividieron en 5.

La primera es un estudio de las tecnologías de generación renovable en las cuales se abarcan la energía fotovoltaica, solar, eólica, hidroeléctrica; una vez desarrollado cada funcionamiento de acuerdo a los recursos, la segunda parte es la definición de los principios del control y operación de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) con sus etapas de Generación, Transmisión y Distribución definidas, así como, las comunicaciones y sistema SCADA de una red; establecidas las condiciones del control y operación se pasa a la tercera parte del trabajo, la cual consiste en un análisis de la calidad de la energía, en la cual se consideran aquellos

fenómenos que ejercen sobre la red una distorsión o disturbio que altera el servicio continuo del usuario de acuerdo a los estándares y normas internacionales.

Una vez identificados estos problemas se define la cuarta parte del trabajo la cual se centra en la protección de los SEP, con lo cual se realiza un análisis de las diversas herramientas y tecnologías para la seguridad del mismo; en la parte final se desarrollara un análisis de la generación de energía renovables para observar los beneficios de la regulación de cada fuente de energía dentro de sus plantas.

También dentro de los resultados se observan las situaciones y limitaciones dentro de las tecnologías ante las dificultades presentadas por fenómenos que alteren la red modificando la calidad del servicio; es por ello, que se presentan dentro de las conclusiones de este trabajo las ideas principales de considerar estas fuentes de energías renovables que contribuyen de forma eficiente a los sistemas de generación distribuidos en función del desarrollo tecnológico.

II. METODOLOGÍA

A. Generación Distribuida de Energías Renovables

La Generación Distribuida (GD) puede ser definida como una fuente de energía eléctrica conectada a una red de distribución o de un cliente, que representa una forma innovadora y eficiente para generar y distribuir electricidad, ya que genera electricidad justo donde se va a utilizar. Los avances tecnológicos permiten ahora a los sistemas de generación de energía eléctrica que se construye en los tamaños más pequeños con una alta eficiencia, bajo costo y mínimo impacto ambiental [1]. La generación distribuida puede servir como complemento de la electricidad generada por plantas de energía enormes que se entregan a través de la red eléctrica. La generación distribuida tiene el potencial para proporcionar las condiciones necesarias para mejorar la fiabilidad, así como la transmisión y distribución (T & D), con menores requisitos de margen de reserva, la mejora de la Calidad de la Energía, la reducción de las pérdidas de las líneas, el control de potencia reactiva, la mitigación de la transmisión y la distribución de la congestión y aumento de la capacidad del sistema. La generación distribuida también proporciona beneficios económicos porque las tecnologías de la GD son modulares y proporcionan flexibilidad de ubicación

y la redundancia, así como plazos de entrega cortos, que permiten a las tecnologías de energía renovable un campo ideal, aunque bajo las condiciones existentes de la red las GD pueden tener dificultades respecto de la calidad de la energía ya que los equipos presentan sensibilidad a causas anómalas de voltaje en magnitud y forma de la onda, límites térmicos y estabilidad.

B. Tipos de Energía Renovable

En esta sección de la investigación se presentan las diversas fuentes y tecnologías de almacenamiento y generación de energía sobre los recursos renovables, los que se presentan en este trabajo son: la energía solar, la energía fotovoltaica, la energía eólica.

1. Energía Solar:

Para un profundo detalle en el diseño de sistemas solares se requiere de conocimiento y experiencia en el uso de: (1) sistemas de programas de simulación que detallen el desarrollo de un sistema térmico solar, que de igual forma se requiere en el caso fotovoltaico; (2) diseño convencional del equipo, control y sistema hidrodinámico; (3) practica en instalaciones de equipo electrónico y convertidores; (4) y el desarrollo de un análisis económico.

a) Termo solar

Para esta tecnología se identifica como elemento primordial el colector térmico, que representa un intercambiador de calor que convierte la energía de la radiación solar en calor. En esencia los receptores reciben la radiación y transfieren su energía térmica a través de un fluido de trabajo (agua, aire, o aceite) un colector se puede caracterizar también por su receptor, lo que implica un mecanismo que siga los haces de luces a concentrar para el fluido de trabajo, en función de una mayor capacidad recolectora, o un sistema estático. Los sistemas de concentración pueden ser parabólicos, los cuales concentran la energía de los rayos solares a través de espejos rectangulares (en forma de U) que permiten concentrar en la tubería que se encuentra en el foco de la parábola la energía de estos para calentar el fluido de trabajo el cual seguirá su proceso en un intercambiador de calor con agua que será empleada para una turbina y producir energía eléctrica, este proceso de generación se presenta en la Fig. 1.

Solar Thermal Power

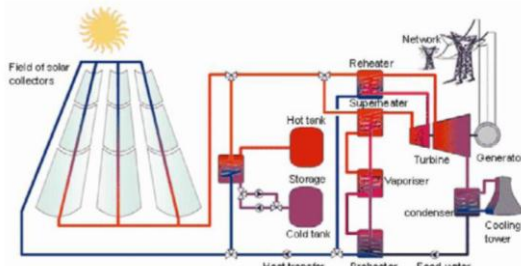


Fig. 1 Proceso de Generación de Energía a través de espejos parabólicos

Otros tipos de colectores que se emplean de igual forma son: los tipos en forma de plato con un sistema de pistones, el cual utiliza la expansión del fluido de trabajo para desplazar pistones y convertir esa energía mecánica en eléctrica en un generador a través de mecanismos; el sistema de torre de potencia concentrada de luz, en este caso todos los espejos del campo empleado se disponen de tal forma que dirigen la luz solar a un único receptor el cual se encuentra en la punta de la torre y tiene una tubería por la cual se transfiere a la sal fundida la energía, ya que esta posee un retención efectiva del calor, para luego transferir este por el mismo proceso, solo que se advierte el cuidado de mantener la temperatura adecuada de la sal fundida ya que si se solidifica puede provocar danos dentro de las instalaciones del sistema de tuberías y de los accionamientos de la planta, este se visualiza en la Fig. 2. [2]

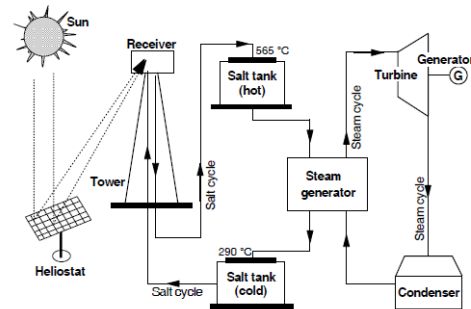


Fig.2 Centro de una planta de potencia de torre solar.

b) Fotovoltaicos

Este sistema representa la conversión directa de la luz solar en energía eléctrica, sin la intervención de alguna máquina, los dispositivos fotovoltaicos son de estado sólido, estas celdas solares tienen como propiedades una curva de I-V que presenta el punto en el cual cada celda da su máxima potencia a una condición determinada, en estas se determina por un estudio que la potencia decrece 0.47%/°C, la gráfica se puede apreciar en la Fig. 3.

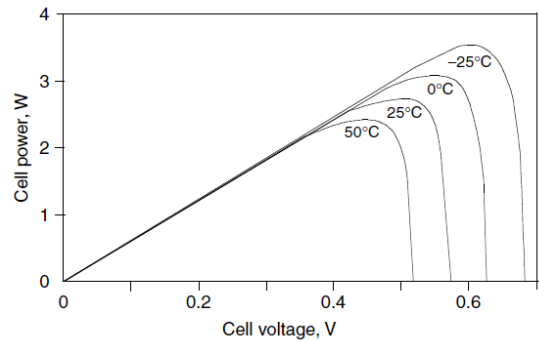


Fig.3 Curva de dependencia de la potencia contra el voltaje de una celda Fotovoltaica.

El proceso de fabricación de estas se observa en la Fig. 4, a través de su manufactura puede variar la composición de los materiales a utilizar en los semiconductores, lo cual puede variar la capacidad de absorción de energía; las celdas pueden clasificarse como cristalinas y de películas delgadas, esto se observa en la Fig. 5, cada una de estas presenta un espacio

requerido para su utilización y su eficiencia en el módulo respectivo, estos datos se reflejan en la Tabla I [3].

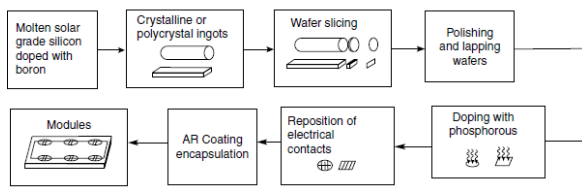


Fig. 4 Proceso general de manufactura de celdas fotovoltaicas.

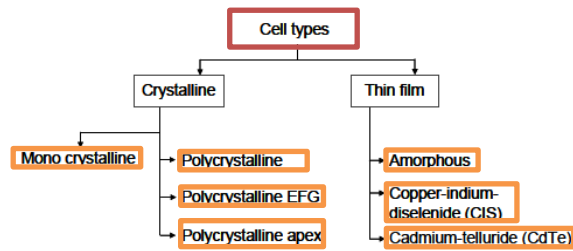


Fig.5 Tipos de Celdas Fotovoltaicas.

| Tipo de Celda | Espacio Requerido (m ² /Kw _p) | Eficiencia de los módulos (%) |
|----------------------|--|-------------------------------|
| Monocrystalina | 7-9 | 17 |
| Policristalina (EFG) | 8-9 | 13 |
| Policristalina | 9-11 | 13 |
| Lamina delgada | 11-13 | 9 |
| Amorfo | 16-20 | 7 |

Tabla I. Espacio y eficiencia de celdas de acuerdo a su tipo.

Estos sistemas tienen diferentes configuraciones tales como los observados en los diagramas de bloque de la Fig. 6, los cuales se presentan como: a) un acople directo a cargas de tipo DC, b) un sistema de almacenamiento pero en condiciones de utilidad aun aisladas de la red, c) uno que está conectado a cargas de AC con su convertidor y d) uno que se acopla a los modelos de plantas, que es un arreglo PV (fotovoltaico) directo a la red; pasando únicamente por su convertidor.

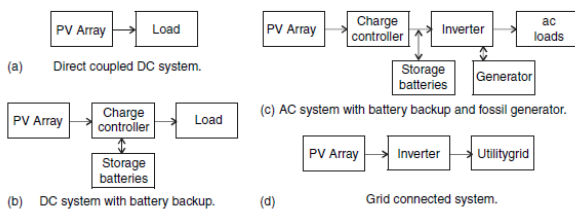


Fig.6 Configuración de Sistemas Fotovoltaicos

2. Energía Eólica

La energía eólica es la fuente más rápida expansión de la energía en el mundo de hoy. En los últimos 10 años, la capacidad mundial instalada de energía eólica ha crecido a una tasa promedio superior al 28% por año, dando lugar a una capacidad nominal instalada a finales de 2004 de unos 48.000 MW, suficiente para abastecer a unos 16 millones de hogares en promedio, de América. A partir de enero de 2005,

Alemania fue el líder mundial en instalaciones de Energía Eólica con cerca de 16.600 MW instalados, seguido por España con 8300, los EE.UU., con 6.700, Dinamarca con 3100, la India, con 3.000, Italia con 1100, los Países Bajos con 1100, el Reino Unido con 900, Japón con 900, y China, con 800. Aunque la energía eólica suministra sólo un 0,6% de la demanda de electricidad del mundo hoy en día, el tamaño de la contribución que está creciendo rápidamente.

Una descripción de la conversión de energía eólica en energía eléctrica utilizable requiere una explicación de los componentes del combinado mecánico y eléctrico, que se equilibran en conjunto en los circuitos de control. Relacionadas con el alcance de este libro, la funcionalidad eléctrica de la WECS y su interacción con el sistema de energía estará en primer plano. En la Fig. 6 hay un resumen de los tipos de construcción WEC con viento del rotor que se le da. La figura se muestra un tipo de WEC con caja de cambios. La velocidad del rotor, que es a menudo en el rango de 8-22 rpm, es el valor de entrada de la caja de cambios que generalmente tiene una relación de transmisión de 1:90. Por el lado de salida de la velocidad es de alrededor de 1.500 rpm, que es la velocidad de sincronismo de los generadores de cuatro polos. El uso de máquinas de inducción estándar de cuatro polos se ve favorecido en este tipo de WEC. Una desventaja de este sistema es la necesidad de un equipo de rotación rápida que puede ser una fuente de interrupciones mecánicas durante el tiempo de funcionamiento previsto de 20 años. Este tipo WEC pueden ser visual identificados por las dimensiones de largo horizontal de la transmisión, lo que resulta en una forma larga góndola.

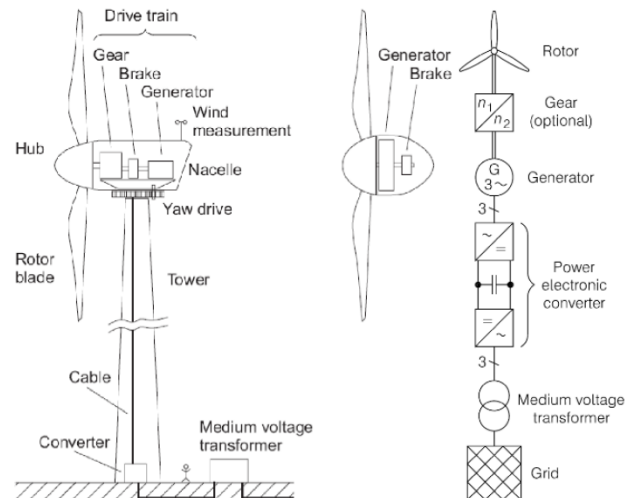


Fig. 7 Sistema y Diagrama de bloques de un WEC (Convertidor de Energía Eólica)

La curva de potencia de una turbina de viento sigue la relación entre el límite de velocidad del viento (la velocidad a la que el aerogenerador se pone en marcha) y la capacidad nominal, aproximadamente. La turbina de viento por lo general llega a la capacidad nominal a una velocidad de viento de entre 12-16 ms⁻¹, dependiendo del diseño del aerogenerador. El accionamiento (o la hoja) de la velocidad del dispositivo debe ser siempre menor que la velocidad del viento o arrastre, no se genera y no se produce potencia en ese

caso. La eficiencia de la extracción de energía del dispositivo puede expresarse como el cociente entre la potencia extraída por el dispositivo de la potencia disponible en el viento que pasa por el área ocupada por el dispositivo (el área proyectada del dispositivo), una relación conocida como el coeficiente de velocidad, C_p . La potencia teórica de la turbina del aerogenerador está dada por la Ec. 1, mientras que la Ec. 2 muestra la potencia en el caso considerando un coeficiente de las características físicas de la turbina en el área del flujo del aire.

$$P_o = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$P_o = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * C_p(v) \quad (\text{Ec. 2})$$

Esto significa que la potencia depende de 1/3 de la velocidad del viento, siendo principalmente influenciado por tanto por la altura de la torre, siendo el límite de conversión de la potencia eólica. El coeficiente de velocidad de la energía eólica depende de una cantidad de energía convertida por la turbina eólica. Su valor máximo teórico es $C_p = 0.593$. En la práctica, los coeficientes de WEC poder ocurren en el rango de $C_p = 0.4 - 0.5$.

3. Energía Hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas aprovechan la caída de agua: bajo la influencia de la gravedad, el agua desciende a través de un tubo de fuerza, la cual ejerce una fuerza sobre una turbina que provoca el giro del eje del rotor en el generador.

La generación de energía hidroeléctrica supone el almacenamiento de un fluido hidráulico, el agua, la conversión de la energía hidráulica (potencial) de la energía del fluido en energía mecánica (cinética) en una turbina hidráulica, y la conversión de la energía mecánica en energía eléctrica en un generador eléctrico. La hidroelectricidad es una fuente importante de energía renovable y proporciona una gran flexibilidad de carga base, en horas pico, y aplicaciones de almacenamiento de energía. Mientras que los costos iniciales de capital son elevados, la simplicidad inherente de las plantas hidroeléctricas, junto con sus bajos costos de operación y mantenimiento, larga vida útil y alta fiabilidad, la convierten en una fuente muy rentable y flexible de generación de electricidad. Especialmente valiosa es su característica de operación de respuesta rápida para la puesta en marcha, carga, descarga, y después de las variaciones de carga del sistema.

Otras funciones útiles incluyen su capacidad de iniciar sin la disponibilidad de la tensión de alimentación del sistema (capacidad de arranque en negro), la capacidad para transferir con rapidez desde el modo de generación en modo síncrono-condensador, y se bombea a la aplicación de almacenamiento. Hay unidades de múltiples tamaños de plantas varían desde unos pocos kilovatios hasta un máximo de 18 GW.

Los componentes de una unidad generadora hidroeléctrica se observan en la Fig. 8 y Fig. 9, las unidades generadoras pueden orientar sus ejes de forma vertical, horizontal o inclinada de acuerdo a las condiciones físicas del tipo de

turbina aplicada; los principales componentes de estos sistemas son: la turbina, el generador, el switchgear, el transformador del generador, así como, el gobernador, el sistema de excitatriz y el sistema de control.

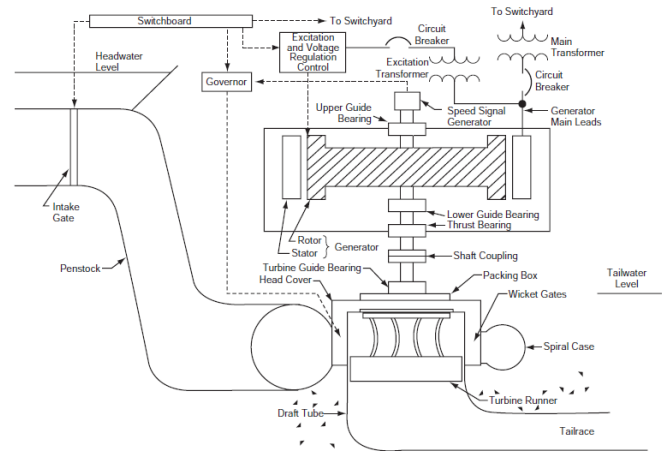


Fig. 8 Arreglo de la unidad vertical Francis, IEEE Std.1020

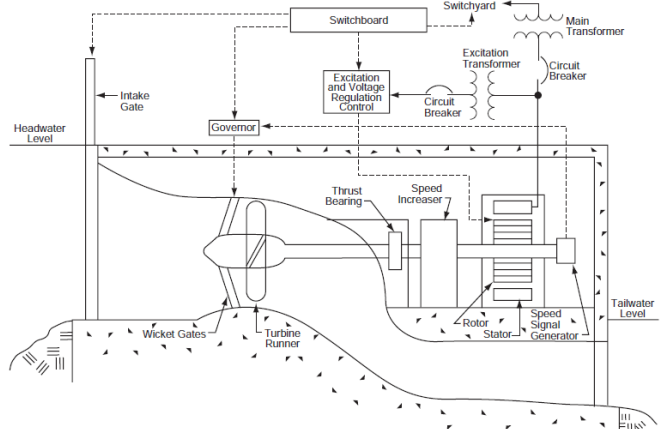


Fig. 9 Arreglo de la unidad horizontal de flujo axial, IEEE Std. 1020

C. Principios de Control de los SEP para las energías renovables.

1. Control Sistema Hidroeléctrico

La información detallada sobre el control de las plantas de energía hidroeléctrica está disponible en estándares de la industria (IEEE, 1010, 1020, 1249). Una jerarquía general de control se muestra en la Tabla II están incluidos. Los controles manuales, normalmente se instala junto al dispositivo controlado, se utilizan durante las pruebas y mantenimiento, y como respaldo a los sistemas de control automático. En la Fig. 10 se ilustra la relación de los lugares de control y las funciones típicas disponibles en cada lugar. Los detalles de las funciones de control disponibles en cada lugar se describen en la norma IEEE 1249. Secuencias automáticas implementadas para el arranque, la sincronización, y el cierre de las unidades hidroeléctricas están detalladas en la norma IEEE 1010 [4].

| Categoría de Control | Subcategoría |
|----------------------|--------------|
| Localización | Local |

| | |
|-------------------------|-----------------|
| | Centralizada |
| | Fuera del lugar |
| Modo | Manual |
| | Automático |
| Operación (Supervisión) | Con Supervisión |
| | Sin Supervisión |

Tabla II. Características de un control Jerárquico de una planta hidroeléctrica

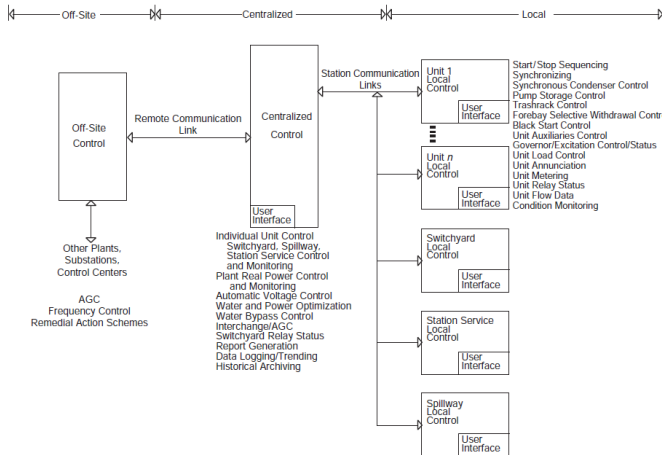


Fig. 10 Relación de la central local, y el control fuera del sitio, IEEE Std. 1249.

2. Sistema Eólico

El propósito del sistema de control de una turbina eólica es la gestión de la operación segura y automática de la turbina. Esto reduce los costos operativos, ofrece una respuesta dinámica y consistente calidad de los productos, y ayuda a garantizar la seguridad. Esta operación es por lo general diseñada para maximizar la captura anual de energía del viento y reducir al mínimo las cargas de la turbina.

Sistemas de control de turbinas de viento se suele dividir, funcionalmente si no físicamente, en tres partes: (1) un controlador que controla numerosas turbinas de viento en un parque eólico, (2) un controlador de supervisión para cada turbina individual, y (3) por separado dinámica los controladores de los subsistemas de la turbina diferentes en cada turbina. Estos tres niveles de control operan jerárquicamente con lazos de control de enclavamiento, esto se puede observar en la Fig. 11. El controlador del parque eólico, a menudo se llama un control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), puede iniciar y cerrar la operación de la turbina y coordinar el funcionamiento de numerosas turbinas de aire [5].

Control de los procesos mecánicos y eléctricos requiere de cinco componentes funcionales principales, los cuales se observan en la Fig. 12:

1. Un proceso que tiene un punto o puntos que permiten que el proceso para ser cambiados o influenciados.
2. Sensores o indicadores para comunicar el estado del proceso en el sistema de control.

3. Un controlador, que consta de hardware o software lógica, para determinar qué medidas de control deben ser tomadas. Los controladores pueden consistir en las computadoras, circuitos eléctricos, o los sistemas mecánicos.

4. Amplificadores de potencia para suministrar energía a la acción de control. Normalmente, los amplificadores de potencia están controlados por una entrada de bajo consumo de energía que se utiliza para controlar la potencia de una fuente externa de alta energía de origen.

5. Actuadores y componentes para intervenir en el proceso para cambiar el funcionamiento del sistema.

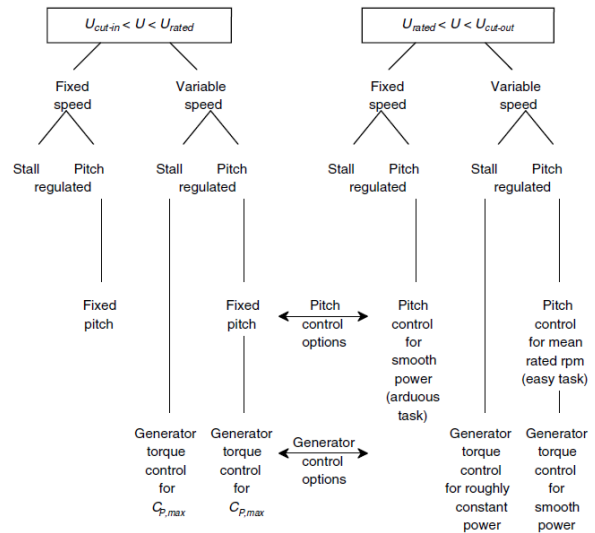


Fig. 11 Clasificación de los tipos de control de acuerdo a la característica de la velocidad y regulación.

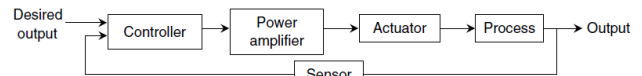


Fig. 12 Componentes de un sistema de control.

3. Sistema Fotovoltaico

Módulos fotovoltaicos se pueden conectar a la red con inversores módulo, los inversores de cadenas o de los inversores centrales, ver la Fig. 13. Inversores módulo con potencias pequeñas se fijan en la parte posterior de cada módulo. Se puede ajustar un MPP óptimo por cada dispositivo que se traduce en un alto rendimiento energético total de la instalación fotovoltaica. Este concepto de descentralización implica un esfuerzo alto si un sistema de monitoreo debe ser aplicado. Los inversores de cadenas convertir la corriente continua de una cadena módulo completo. En comparación con el módulo inversor, la regulación MPP es menos óptimo si la luz incidente es distribuido de manera desigual o sombreado surge en algunos módulos. Sin embargo, un sistema de control es más fácil de implementar. Inversores centrales ofrecen la posibilidad de seguimiento de las mejores, ya que sólo una interfaz de datos y una unidad de procesamiento son necesarias. Sin embargo, no hay seguimiento MPP individuales es posible. La aplicación de los tipos de inversor depende de las necesidades de monitoreo, la distribución de la luz incidente, el sombreado y el módulo siempre están

diseñadas en tres fases hacia las plantas. En la Fig. 12 se aprecia el sistema de un control de una fase en un sistema fotovoltaico [6].

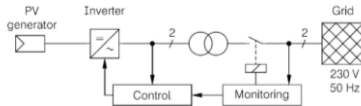


Fig. 13 Control de una fase en un Sistema Fotovoltaico

III. RESULTADOS

Una vez desarrollado el contenido y análisis de las fuentes de energía renovable de interés en este trabajo y sus diferentes tecnologías de aplicación para la generación de energía eléctrica, se puede observar ya con el análisis del control y operación de cada tipo de planta generadora renovable, en cada caso se reportan en la interconexión de estos sistemas problemas con la calidad de energía, este concepto se refiere a una amplia variedad de los fenómenos electromagnéticos que caracterizan a la tensión y la corriente en un momento dado y en un lugar determinado en el sistema eléctrico. Es posible que lo vinculen con la confiabilidad de suministro de energía, calidad del servicio y la calidad del suministro. Por lo general, ha sido suficiente para distinguir entre "calidad de la tensión" y "la continuidad del suministro" [7].

La calidad de la tensión (término utilizado internacionalmente: "calidad de la energía" (PQ)) se refiere a las características técnicas de la electricidad en un momento dado en un sistema eléctrico, evaluados en relación con un conjunto de parámetros de referencia técnica. En este plazo, las desviaciones de la tensión (o corriente) del ideal son analizadas, teniendo en cuenta la electricidad como una onda senoidal de frecuencia única de amplitud y frecuencia constante.

La continuidad del suministro se refiere a la probabilidad de que el funcionamiento satisfactorio de un sistema de energía en el largo plazo. Denota la capacidad de suministrar el servicio eléctrico adecuado sobre una base casi continua, con pocas interrupciones durante un período prolongado de tiempo. Está cubierta por los índices de confiabilidad, los tres más comunes se denominan SAIFI, SAIDI, y CAIDI.

Problemas de calidad se producen debido a los diferentes tipos de perturbaciones eléctricas. Más de las perturbaciones EPQ dependen de la amplitud o la frecuencia o la frecuencia en ambos y la amplitud. Basado en la duración de la existencia de perturbaciones EPQ, los eventos pueden divididos en el tipo a corto, mediano o largo plazo. Los disturbios causan la calidad de energía la degradación procedente de un sistema de energía y su clasificación se incluye principalmente:

1) Interrupción / bajo voltaje / baja tensión: son alteraciones de tipo muy común. Durante la interrupción de la alimentación, nivel de tensión de un bus en particular se cae a cero. La interrupción puede ocurrir durante un período corto o mediano o largo plazo. Bajo tensión y la tensión son más de caída y elevación de los niveles de tensión de un bus en particular con respecto a la tensión del bus estándar. A veces, menores y mayores tensiones de poco porcentaje son

aceptables, pero al cruzar el límite del nivel de tensión deseado, se les trata como perturbaciones. Tales alteraciones son el aumento de la cantidad de potencia reactiva dibujado o entregado por un sistema, problemas de aislamiento y tensión estabilidad.

2) Tensión / corriente de desequilibrio: tensión y corriente de desequilibrio puede ocurrir debido al desequilibrio en la carga en el sistema de generación o el sistema de transmisión y desequilibrada de carga. Durante el desequilibrio, los componentes de secuencia negativa aparecen. T dificulta el rendimiento del sistema puede cambiar las pérdidas y en algunos casos, puede dificultar la tensión estabilidad.

3) Armónicos: los armónicos son las componentes alternas con otras frecuencias que los actuales fundamental en las señales de voltaje y corriente. Hay varias razones para la generación de armónicos como la no linealidad, el uso excesivo de los semiconductores basados en los dispositivos de conmutación, el diseño de diferentes restricciones, armónicos, etc tener efectos adversos efectos sobre la generación, transmisión y distribución, así como en equipos de consumo también. Los armónicos se clasifican como armónicos entero, sub armónicos e interarmónicos.

Armónicos entero tienen frecuencias que son enteros múltiples de la frecuencia fundamental y armónicos tienen frecuencias que sub son menores que la frecuencia fundamental y armónicos tienen frecuencias entre que son mayores que las frecuencias fundamentales. Entre estos armónicos todo armónicos entre entero y son muy comunes en el sistema de poder. La aparición de sub armónicos es comparativamente menor que otros. A veces, los armónicos se clasifican: armónicos y armónicos tiempo espacial (espacio). Es evidente que las causas de ocurrencia son diferentes. Los armónicos son, en general, no son bienvenidos y deseable. Los armónicos son evaluados con respecto a la fundamental. Seguimiento de los armónicos con respecto a la fundamental es la consideración importante en la aplicación del sistema de potencia. De este factor de distorsión propósito diferente con respecto a los derechos fundamentales se han introducido.

4. Transitorios: los transitorios puede generar en el sistema en sí mismo o puede venir del otro sistema. Transitorios se clasifican en dos categorías: DC transitoria y AC transitorios se dividen en dos categorías: solo un ciclo y varios ciclos.

5. Hueco de tensión: es una perturbación de corta duración. Durante la bajada de tensión, la tensión RMS cae a un nivel muy bajo durante un periodo corto de tiempo.

6. Tensión de inflamación: es una perturbación de corta duración. Durante la bajada de tensión, el voltaje RMS aumenta a un nivel muy alto durante un corto periodo de tiempo.

7. Flicker: es la variación no deseada de frecuencia del sistema.

8. Sonando las ondas: las perturbaciones oscilatorias de

magnitud en descomposición durante un período corto momento de que se conoce como sonido de las olas. Se le puede llamar un tipo especial de transitorio. La frecuencia de un parpadeo puede ser o no ser lo mismo con la frecuencia del sistema.

9. Cortes de energía: que es un tipo especial de interrupción en el corte de energía se ha producido por no más de 60 s [9].

Debido a estas y otras posibles fallas los sistemas deben estar protegidos; es por ello, que el equipo de protección se aplica con el objetivo de minimizar los efectos de fallas y otros fenómenos anormales en la operación de sistemas eléctricos de potencia. Un sistema de energía eléctrica se considera como todas las plantas necesarias para generar, transmisión y distribución de energía eléctrica, incluyendo los generadores, transformadores de potencia, líneas y cables, interruptores, etc. Fallas en los sistemas de energía puede ser el resultado de influencias externas o internas, mientras que las razones más comunes de los estados anormales son:

- Sobreintensidad debido a descargas atmosféricas
- Cortocircuitos debido a la destrucción mecánica o recubrimiento de aislamiento (por ejemplo, durante obras viales, causados por la caída de árboles, animales, pájaros, etc)
- Sobrecarga térmica (sobrecorrientes)
- El envejecimiento de aislamiento
- Mantenimiento / personal de los errores
- Los desastres climáticos (inundaciones, terremotos, grandes nevadas, etc.)

Las consecuencias de una falla pueden ser:

- Daño a la planta debido a los efectos dinámicos y térmicos de la corriente de falla
- Pérdida de suministro a las cargas
- Peligro para las vidas humanas
- Pérdida de la estabilidad del sistema
- Posibilidad de cascada acontecimientos que condujeron a los apagones.

Los sistemas de procesamiento digital se pueden emplear para resolver estas fallas a través de las variables que permiten detectar los valores que determinan un tipo de falla, esto en conjunto con el control selectivo de la operación en la red permite realizar la operación en el tiempo y área indicada de la falla, protegiendo tanto al equipo como a los usuarios.

En la Fig. 14 se puede observar una línea temporal de la evolución de estos sistemas a través del uso de sistemas fasoriales de medición PMU, conocida como la cuarta generación como se aprecia en la misma [10].

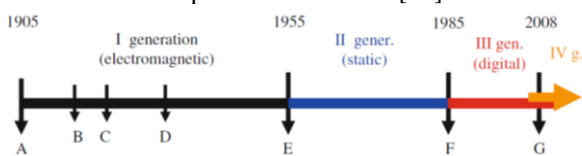


Fig. 14 Historia de la tecnología de protección. A) Relés de sobrecorriente y bajo voltaje con TC y TT, B) relés de

inversión de sobreintensidad, C) relés diferenciales y relés direccionales, D) relés a distancia con características de tiempo calificado, relés estáticos E) con los filtros y los comparadores, F) relés digitales de medición fasores, G) primera gran área de medición sistemas de protección.

Las protecciones en un generador se realizan mediante sistemas de control como el que se ejemplifica en la Fig.15 y Fig. 16.

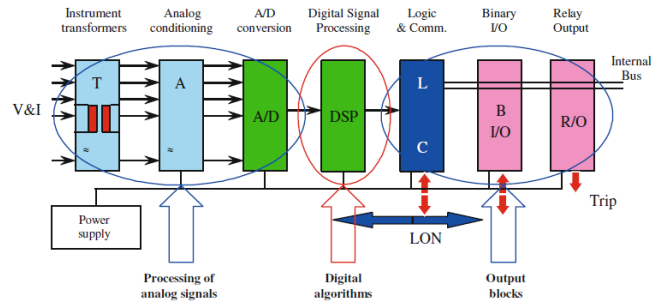


Fig. 15 Estructura de un relé de cuarta generación.

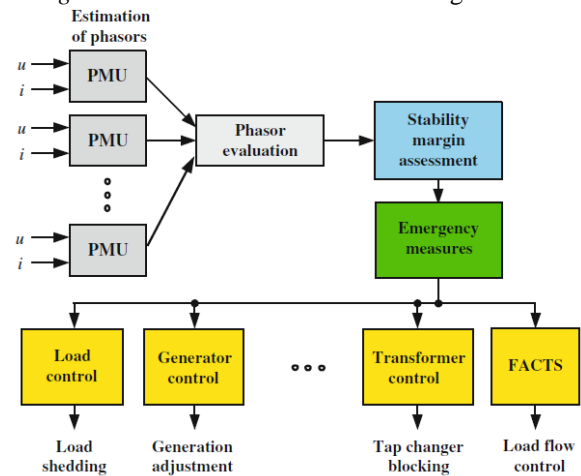


Fig. 16 WAMPS funciones para el mantenimiento de la integridad del sistema.

Al trabajar con FACTS (Flexible AC Transmission Systems) se presenta un esquema de transmisión en donde cada línea de transmisión es mantenida a su impedancia óptima generalmente por medio de compensadores serie con tiristores controlados.

Una vez analizada este control y medición de los equipos de instrumentación y protección se procede al análisis del objetivo dentro del trabajo el cual se centra en torno a 3 ejes la seguridad, calidad y confiabilidad, de este último será del cual trataremos en esta sección. Para lo cual analizaremos las técnicas de flujo de carga usadas actualmente, ya que para poder planificar la expansión y diseño a futuro de un sistema de potencia requiere de este análisis, pocos métodos han sido desarrollados y estos a su vez han sido sujetos a pocas mejoras, los más conocidos son Newton Raphson, Gauss-Seidel, método de desacople rápido del flujo de cargas, método de corriente directa de flujo de cargas y métodos probabilísticos de flujos de carga; por lo cual estos métodos pueden dividirse en métodos determinísticos y probabilísticos

de flujo de cargas, los primeros responden de forma determinística, ya que se especifican en ellos los valores de potencia generada y demanda de las cargas de una configuración de red seleccionada para calcular el flujo de cargas; mientras en los probabilísticos se requieren entradas de funciones densamente probabilísticas para obtener los estados del sistema eléctrico de potencia y sus flujos en términos de las funciones mencionadas, siendo el principal objeto de este análisis la obtención de la magnitud y ángulo de fase del voltaje en cada bus además de sus potencias activas y reactivas del flujo de cada línea.

La función principal de un sistema de potencia es proporcionar energía eléctrica a sus clientes de la manera más económica posible, con un grado aceptable de calidad. La Fiabilidad de la fuente de alimentación es una de las características de calidad de la energía. Las dos restricciones de la economía y la fiabilidad son competitivas debido a una mayor fiabilidad de la oferta en general, requiere una mayor inversión de capital. Estas dos limitaciones son equilibradas de muchas maneras diferentes en diferentes países y por diferentes empresas de servicios públicos, aunque generalmente se basan en varios conjuntos de criterios.

Hay dos categorías principales de técnicas de evaluación: análisis y simulación. Las técnicas de análisis representan el sistema mediante un modelo matemático y evalúan las medidas o indicadores de este modelo con soluciones matemáticas. Las técnicas de simulación estiman las medidas o indicadores, simulando el proceso real y el comportamiento aleatorio del sistema. Técnicas probabilísticas de simulación son un subconjunto de las técnicas de simulación que tratan el problema como una serie de experimentos reales. Los parámetros de entrada de cada uno de los experimentos simulados obtenidos (por ejemplo usando Monte Carlo) se seleccionan de sus valores. Las dos categorías de métodos tienen ventajas y desventajas. La simulación de Monte Carlo requiere una gran cantidad de tiempo de cálculo y no se utiliza ampliamente si otros métodos de análisis están disponibles. En el otro lado, si los métodos de análisis son demasiado complejos, las simulaciones probabilísticas pueden dar una buena aproximación de los resultados. Las medidas o indicadores de resultado en las dos categorías de técnicas de evaluación son sólo tan buena como el modelo derivado del sistema, la idoneidad de la técnica de evaluación, y la calidad de las hipótesis y los datos de entrada utilizados en los modelos [11].

Para las plantas hidroeléctricas, los indicadores tales como el factor de carga, factor de capacidad y factor de disponibilidad se pueden utilizar para la planta completa o para cada generador y sus respectivos equipos por separado o en ambos: la disponibilidad, el factor de capacidad, la tasa de seguridad-accidente, y tasas de corte.

Para las plantas de energía solar depende del clima, especialmente de las condiciones dominantes, tanto en el sitio

y la región, donde la planta se ha instalado. Los indicadores de desempeño más importantes son difíciles de medir, ya que dependerá de la posición exacta del sol. Por lo tanto, la medida específica requiere de instrumentos especiales. Los indicadores de rendimiento incluyen los rendimientos de referencia, el rendimiento de la matriz, el rendimiento final, y rendimiento.

En las plantas de energía eólica el rendimiento de la planta depende en gran medida de las turbinas de viento y las condiciones del viento en el sitio. Por lo tanto, junto con los indicadores de desempeño técnico y del régimen de viento deben de ser considerados. Las mediciones de viento deben llevarse a cabo con una tasa de 1 Hz y documentar los parámetros de uso, tales como:

- La velocidad media del viento.
- Distribución de Weibull.
- La distribución direccional de la energía eólica.
- Intensidad de turbulencia.

Para que la producción de energía de viento diferentes modelos de turbinas similares, su desempeño es medido y documentado. Las curvas son por lo general sólo en relación a las condiciones estándar y no es útil con precisión para diversas instalaciones en un sitio.

IV. CONCLUSIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Básicamente, los efectos de parpadeo de WECS se ven influidos por la alimentación del dispositivo, el tipo de generador y su tipo de acoplamiento de la red. El flicker es generalmente causado por los cambios de carga debido a las variaciones de velocidad del viento, cizalladura del viento entre el rotor inferior y superior extremo de las palas y los efectos de la torre sombra. Los dos últimos puntos son importantes sólo para el gran diámetro del rotor en potencias de megavatios.

La frecuencia limitada de conmutación de los convertidores de frecuencia provoca distorsiones en las corrientes de salida de la WECS. Su altura es proporcional a la relación de la red de valores de impedancia RG/XG e inversamente proporcional a la frecuencia del pulso PMW. Si la distorsión armónica total de los valores actuales de un convertidor de PMW se asigna a la potencia de salida relativa.

La utilización de energías renovables permite tener un sistema más robusto que puede permitir evitar inconvenientes con el servicio de los sistemas de distribución, transmisión y generación.

Al proponer medios para mitigar los problemas asociados con armónicas debería tenerse cuidado y asegurarse que la medida correctiva tomada para minimizar los problemas no los empeore. Lo anterior puede suceder por resonancia entre filtros armónicos, capacitores usados para corregir el factor de potencia y la impedancia del sistema.

Dentro del sistema de control los buses DC de un sistema de generación distribuido se controlan de forma análoga con respecto a los de AC con un gobernador, ya que ambas regulan la cantidad de materia o fluido de trabajo que servirá para aumentar la potencia en caso la frecuencia baje ante una falla o de forma inversa en una desconexión evite que se acelere el generador síncrono.

La eficiencia en los paneles fotovoltaicos es superior en el caso de una estructura Monocristalina, ya que los espaciamientos dentro del material son menores que en el policristalino. Se debe en el caso de estos sistemas en caso de conectarse con un sistema de baterías recordar los tiempos de carga profunda y flotante que se presentan, ya que esto permite definir el margen de carga que en un tiempo determinado permanecerá en flotación hasta verse en la necesidad de cargarse nuevamente en carga profunda.

V. REFERENCIAS

- [1] A. K. Raja, Power Plant Engineering, New Age International, 1997.
- [2] Frank Kreith, Handbook of Energy efficiency and renewable energy, ISBN 0-8493-1730-4, CRC PRESS, 2007.
- [3] Strzelecki, Ryszard II. Benysek, Grzegorz, Power electronics in smart electrical energy networks, 2008 Springer-Verlag London Limited.
- [4] M. Kaltschmitt, Renewable Energy, Technology, Economics and Environment, ISBN 978-3-540-70947-3 Springer Berlin Heidelberg New York, 2007.
- [5] James L. Kirtley, Electric power principles: sources, conversion, distribution and use, ISBN 978-0-470-68636-2, John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [6] Olimpo Anaya-Lara, Wind energy generation: modelling and control, ISBN: 978-0-470-71433-1 (HB), John Wiley & Sons, Ltd., 2009.
- [7] Antonio Moreno-Muñoz, Power quality: mitigation technologies in a distributed Environment, ISBN-13: 9781846287718, Springer-Verlag London Limited 2007.
- [8] Ali Keyhani, Integration of green and renewable energy in electric power systems, John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [9] Surajit Chattopadhyay, Electric Power Quality, India, ISBN 978-94-007-0634-7, Springer Science+Business Media B.V. 2011.
- [10] Waldemar Rebizant, Digital Signal Processing in Power System Protection and Control, ISBN 978-0-85729-801-0, Springer-Verlag London Limited 2011.
- [11] Cepin, Marko; Assessment of Power System Reliability, Methods and Applications; ISBN 978-0-85729-688-7, Springer-Verlag London Limited 2011.



David Bustillo, nació en San Salvador, El Salvador el 19 de diciembre de 1989. Estudio Bachillerato en el Liceo Salvadoreño. Es estudiante de último año de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA).

Presidente de la Rama IEEE de la misma Universidad en el año 2011, ha sido instructor de laboratorios de Redes Eléctricas I y II durante 2 años en la UCA, participante y ponente en los CONESCAPAN celebrados en El Salvador, Guatemala y Panamá en los años comprendidos desde el 2009 hasta la fecha. También participante en el congreso de electrónica e informática (CEI) del año 2010 en la UCA. Dentro de otras actividades fue participante dentro del XXIX Modelo de la Asamblea General de la OEA para Universidades del Hemisferio.