



Proyección del laboratorio de sistemas de potencia

Projection of the power systems laboratory

Projeção do laboratório de sistemas de energia

Dolores Elina Amén-Carrillo ^I

doloresamenc@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8279-1576>

Lucio Alfredo Valarezo-Molina ^{II}

Lucio.valarezo@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0490-7542>

Correspondencia: doloresamenc@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de noviembre de 2022 * **Aceptado:** 28 de diciembre de 2022 * **Publicado:** 18 de enero de 2023

- I. Maestría de Investigación en Electricidad, mención Sistemas Eléctricos de Potencia, Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Maestría de Investigación en Electricidad, mención Sistemas Eléctricos de Potencia, Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Resumen

El presente artículo se ha desarrollado con el objetivo de analizar la importancia de un laboratorio de sistemas de potencia, tomando en consideración los componentes de generación y transmisión, para lo cual se utilizó un tipo de investigación descriptiva y explicativa con enfoque cualitativo, utilizando recursos bibliográficos para identificar la importancia que tienen estos laboratorios para conocer el comportamiento del fluido eléctrico. De este modo de obtuvo como resultado que la implementación de laboratorios de sistemas de potencia, permiten fortalecer los conocimientos impartidos en clases a través de las prácticas, con lo cual se prepara a los estudiantes para afrontar futuras situaciones que podrían encontrar en su vida profesional con respecto al funcionamiento de los componentes de generación y transmisión de estos sistemas.

Palabras clave: Sistemas de potencia; Generación; Transmisión; Laboratorio; Fluido eléctrico.

Abstract

This article has been developed with the objective of analyzing the importance of a power systems laboratory, taking into consideration the generation and transmission components, for which a type of descriptive and explanatory research with a qualitative approach was used, using bibliographic resources. to identify the importance of these laboratories to know the behavior of the electric fluid. In this way, it was obtained as a result that the implementation of power system laboratories, allows to strengthen the knowledge taught in classes through practices, which prepares students to face future situations that they could encounter in their professional life with regarding the operation of the generation and transmission components of these systems.

Keywords: Power systems; Generation; Transmission; Laboratory; Electric fluid.

Resumo

Este artigo foi desenvolvido com o objetivo de analisar a importância de um laboratório de sistemas de potência, considerando os componentes de geração e transmissão, para o qual foi utilizado um tipo de pesquisa descritiva e explicativa com abordagem qualitativa, utilizando recursos bibliográficos. importância destes laboratórios para conhecer o comportamento do fluido elétrico. Desta forma, obteve-se como resultado que a implantação de laboratórios do sistema de alimentação, permite fortalecer os conhecimentos ministrados nas aulas por meio de práticas, o que

prepara os alunos para enfrentar situações futuras que poderão encontrar em sua vida profissional com relação ao funcionamento do componentes de geração e transmissão desses sistemas.

Palavras-chave: Sistemas de potência; Geração; Transmissão; Laboratório; Fluido elétrico.

Introducción

De acuerdo con Serrano (2017) un laboratorio es un lugar que se encuentra equipado con los medios necesarios para llevar a cabo experimentos, investigaciones o trabajos de carácter científico o técnico. En estos espacios, las condiciones ambientales se controlan y se normalizan para evitar que se produzcan influencias extrañas a las previstas, con la consecuente alteración de las mediciones, y para permitir que las pruebas sean repetibles.

En relación a los laboratorios de sistemas de potencia, Mendoza (2020) refiere que “estos son espacios controlados que tienen como finalidad brindar las zonas necesarias para el desarrollo de docencia, investigación y asistencia técnica en áreas tales como Sistemas eléctricos de potencia, Protecciones eléctricas y Distribución eléctrica” (p. 1).

Por su parte Cardona (2018) distingue que la importancia de un laboratorio de sistemas de potencia consiste en que se brinda a los estudiantes cuya especialidad requiere realizar prácticas en uno de estos espacios controlados, en los que se pueden realizar “análisis de flujos de potencia, análisis de contingencias y cortocircuitos, coordinación de relés de sobre corriente, coordinación de relés de distancia, estabilidad de pequeña señal y flujo de potencia óptimo” (p. 32).

Por tanto, se establece que las clases prácticas son un recurso importante para fortalecer los conocimientos teóricos brindados en las aulas de clase, razón por la cual resulta relevante contar con un laboratorio donde los estudiantes puedan simular de forma controlada el comportamiento del fluido eléctrico en cualquiera de los procesos que se requieran. En este sentido, el presente trabajo de investigación se desarrolla con el objetivo de analizar la importancia de un laboratorio de sistemas de potencia, tomando en consideración los componentes de generación y transmisión.

Laboratorios

De acuerdo con Barberá (2018) un laboratorio es un lugar físico que se encuentra especialmente equipado con diversos instrumentos y elementos de medida o equipo, en orden a satisfacer las demandas y necesidades de experimentos o investigaciones diversas, según el ámbito al cual

pertenezca. También es muy común que las escuelas, universidades o cualquier otro reducto académico cuenten con un laboratorio en el cual se dictarán clases prácticas u otros trabajos relacionados exclusivamente con un fin educativo.

Por su parte Gálvez (2017) menciona que la característica fundamental que observara cualquier laboratorio es que allí las condiciones ambientales estarán especialmente controladas y normalizadas con la estricta finalidad que ningún agente externo pueda provocar algún tipo de alteración o desequilibrio en la investigación que se lleva a cabo allí, asegurándose así una exhaustiva fidelidad en términos de resultados.

Dentro de los laboratorios según Córdoba (2018) los elementos en general a ser considerados son la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la energía, el polvo, la tierra, las vibraciones, el ruido, entre otros, ya que son las cuestiones sobre las cuales más hincapié se hará, para que estén absolutamente controladas y no contradigan la normalidad necesaria y exigida, para que el experimento se realice y obtener los resultados esperados.

Según Quezada (2019) “el uso de laboratorios es importante, pues permite a los estudiantes aprender mediante la experiencia y poner en práctica el método científico de ensayo y error. Pasar por la experiencia logra un aprendizaje significativo” (p. 1). Bajo este contexto se denota que el proceso de enseñanza aprendizaje se hace más activo, interesante y participativo, tanto para el alumno como para el docente.

De acuerdo con los antecedentes expuestos, se determina que los laboratorios permiten que los estudiantes efectúen talleres, desarrollen planificación de prácticas de laboratorio, elaboren material didáctico, informes y documentos que avalen su desempeño en las unidades académicas; logrando que todas las actividades estén acordes con el desarrollo metodológico consistente en el aprendizaje basado en proyectos.

Sistemas eléctricos de potencia

La electricidad es un fenómeno físico basado en las propiedades de la materia. Una de ellas es la movilidad de los electrones que forman parte de los átomos de cierto tipo de materiales (llamados conductores), permite transferir energía y convertirla en variadas formas para su utilización. Por lo tanto, el proceso de transferir y utilizar energía en su forma eléctrica está basado, esencialmente, en el movimiento de los electrones (Bayod, 2018).

Por otra parte de acuerdo con Enríquez (2019) “un sistema eléctrico de potencia es una red de componentes eléctricos instalados para suministrar, transferir y usar energía eléctrica. Un ejemplo de un sistema de potencia es la red que proporciona energía a un área extendida” (p. 19).

El sistema de potencia de la red eléctrica según Eguíluz (2017) puede dividirse en los generadores que suministran la energía, el sistema de transmisión que transporta la energía desde los centros de generación a los centros de carga y el sistema de distribución que alimenta la energía a los hogares e industrias. Los sistemas de potencia más pequeños se encuentran en la industria, hospitales, edificios comerciales y hogares.

La mayoría de estos sistemas dependen de la potencia trifásica, la cual se utiliza para la transmisión y distribución de energía eléctrica a gran escala en todo el mundo moderno. Los sistemas de potencia especializados que no siempre dependen de los sistemas trifásicos se encuentran en aviones, sistemas de rieles eléctricos, transatlánticos y automóviles (Glover, 2018).

Montoya (2021) explica que los sistemas eléctricos de potencia, por la gran extensión geográfica que ocupan; por los niveles de tensión en que funcionan, y por la gran cantidad de energía eléctrica que transportan, requieren de la supervisión y del comando a distancia, lo cual se realiza en los Centros de Operación y Control a través de los Sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Debido a que el funcionamiento de los sistemas eléctricos de alternado tiene un comportamiento dinámico, las condiciones de funcionamiento deben ser establecidas aplicando criterios de funcionamiento muy estrictos para evitar los problemas de estabilidad dinámica, que pueden llevar al sistema al estado de colapso.

De acuerdo con González (2017) al producirse un colapso de los sistemas de potencia se producen apagones que dejan a gran cantidad de consumidores sin el suministro de energía eléctrica, necesaria para el normal funcionamiento de la vida moderna, y el sistema requiere la restauración de cargas. Otros estados de emergencia menos críticos pueden llevar al sistema al colapso de tensión. En este fenómeno partes del sistema eléctrico sufren caídas de tensión que afectan el funcionamiento de los artefactos eléctricos conectados a la red, lo que significa que la calidad del suministro eléctrico es deficiente.

Los profesionales encargados del funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia, deben realizar tareas de planificación y operación, en los cuales no sólo se deben tener en cuenta aspectos técnicos y funcionales, sino también aspectos económicos, con la finalidad de minimizar los costos

de operación de estos sistemas, y lograr que el crecimiento de la demanda de energía sea satisfecha convenientemente.

Según Matulic (2018) “el proceso que ejecutan los sistemas de potencia con la energía eléctrica es esencialmente instantáneo, ya que esta en forma de corriente alterna no se puede almacenar” (p. 3). Esto significa que, por ejemplo, al encender la iluminación de la casa, la energía requerida es generada en alguna central, transmitida a través del sistema de transmisión hasta la ciudad donde uno vive y finalmente suministrada al hogar por el sistema de distribución, todo a una velocidad cercana a la de la luz. Además, en todo momento se debe cumplir el balance de potencia, es decir, la generación debe ser igual al consumo más las pérdidas.

El comportamiento de un sistema de potencia es dinámico, ya que el consumo de energía varía en función del tiempo. En cada instante, la potencia generada debe ser exactamente igual a la consumida más la pérdida en los procesos de generación, transmisión y distribución. De no cumplirse esta condición, los generadores del sistema se acelerarían o desacelerarían dependiendo de si existe un exceso o déficit de generación, respectivamente.

En concordancia a lo expuesto Correa (2017) explica que “para mantener el balance y la estabilidad permanentemente, existen mecanismos de control en las centrales que, ante un aumento o disminución en el consumo eléctrico, automáticamente aumentan o disminuyen la potencia mecánica entregada por las turbinas a los generadores” (p. 45).

Otro aspecto importante para entender la operación de un sistema eléctrico de potencia es el despacho económico hidrotérmico. Según Balbás (2017) es importante que “al planificar la operación del sistema en un lapso de tiempo, se debe planificar el origen de la energía a ser generada” (p. 58). Por tanto, el despacho económico hidrotérmico consiste en calcular la proporción de energía hidráulica y térmica, para el período considerado, que resulte en el menor costo de generación.

De acuerdo con Fernández (2019) el despacho económico hidrotérmico es un proceso estocástico por la aleatoriedad de la hidrología; es decir, la cantidad de energía hidráulica que se puede almacenar en los embalses o turbinar en las centrales de pasada depende del régimen de lluvias que sólo se puede predecir con un cierto nivel de probabilidad. Por lo tanto, la decisión de generar más o menos energía hidráulica y consecuentemente térmica está asociada a una probabilidad hidrológica.

Según Lovera (2018) “para minimizar el costo total de generación, primeramente se coloca la generación hidráulica y luego la generación térmica en orden creciente de su costo que se relaciona al precio del combustible y la eficiencia de las diferentes turbinas” (p. 76). En este proceso, se debe considerar la capacidad de los embalses para evitar que rebalsen o se vacíen; en el primer caso, se pierde energía que podría haber sido utilizada y en el segundo, se incurre en el riesgo de no suministrar la energía demandada por los consumidores.

Los sistemas eléctricos de potencia (SEP) son claves para el bienestar y el progreso de la sociedad moderna. Éstos permiten el suministro de energía eléctrica con la calidad adecuada para manejar motores, iluminar hogares y calles, hacer funcionar plantas de manufacturas, negocios, así como para proporcionar potencia a los sistemas de comunicaciones y de cómputo.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este artículo, el tipo de investigación propuesto es descriptivo y explicativo, en virtud de que se realizó un análisis profundo mediante la utilización de recursos bibliográficos sobre los laboratorios, sus características e importancia práctica para el fortalecimiento de los conocimientos teóricos de los estudiantes, en específico acerca del funcionamiento de los sistemas de potencia con los componentes de generación y transmisión.

Con respecto al enfoque, este se define como cualitativo debido a que se realizó una reflexión profunda con base a los resultados obtenidos a través de los instrumentos así como de la información bibliográfica extraída para fundamentar la importancia de los laboratorios de sistemas de potencia con los componentes de generación y transmisión.

Resultados y discusión

Játiva et al., (2019) en su trabajo de investigación propone el diseño y construcción de un transformador trifásico para control de voltaje en el laboratorio de sistemas eléctricos de potencia, haciendo uso de la herramienta MATLAB, desarrollando una interfaz gráfica que permite al usuario diseñar transformadores trifásicos tipo seco a partir de potencia, voltajes, tipo de conexión y requerimiento de taps en cada devanado. Una vez diseñado y construido el transformador, se ejecutan las respectivas pruebas eléctricas con la finalidad de observar que su funcionamiento sea

el adecuado y que se encuentra dentro de las normas establecidas. De los resultados de las pruebas de cortocircuito y circuito abierto se obtiene el circuito equivalente del transformador.

Mediante el trabajo realizado por Cardona (2018) se presenta el diseño e implementación de seis prácticas simuladas para el laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia del programa de pregrado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, mismas que se encuentran orientadas a la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos durante el proceso formativo académico, de manera que puedan ser aplicados en el laboratorio y así los estudiantes tengan un mayor fundamento de lo aprendido.

Jaramillo & Silva (2020) en su trabajo de investigación desarrollan el diseño, la construcción y la implementación de un generador fotovoltaico para el sistema a escala del laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia, que consta de dos etapas: la primera es la etapa de control que se encarga de la ejecución de un algoritmo MPPT, un lazo de control de corriente y un PLL que permite sincronizar el generador con la red. La segunda es la etapa de potencia que se compone de un inversor trifásico, cuyo diseño se realiza en base a optoacopladores, controladores de compuerta e IGBTs. Con lo cual se dispone de la inyección de energía necesaria para el funcionamiento del laboratorio, evidenciando el comportamiento del sistema en condiciones tanto de alta como de baja radiación, así como ante la desconexión del mismo.

De acuerdo con el estudio desarrollado por Gutiérrez & Spandre (2017) se determinan los pasos a seguir para el uso del laboratorio de sistemas de potencia, desde la preparación del sistema a tratarse hasta la realización física del mismo en el simulador; se dan reglas a seguir para obtener buenos resultados en la operación del mismo. Dentro de este estudio se ha prestado mayor atención al problema de flujo de carga; motivo principal para el uso del simulador; partiendo en principio de sistemas de potencia sencillos, hasta llegar a un sistema más complejo, donde se utilice la máxima capacidad del simulador. Todo esto con la finalidad de brindar a los estudiantes la información necesaria sobre el simulador de redes y de esta manera operar los instrumentos del laboratorio para simular sistemas de potencia reales, logrando así una mayor comprensión de lo aprendido en las aulas de clase a través de la práctica.

Por último López et al., (2018) refieren que los sistemas eléctricos de potencia operan bajo condiciones controladas producto de una planeación estratégica y monitoreo de diversos procesos mediante Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA). Por tanto, el trabajo se enfocó en implementar un sistema tecnológico a escala de laboratorio con la finalidad de brindar

a los estudiantes una herramienta que les permita probar futuras aplicaciones para los sistemas de potencia y así reforzar los conocimientos teóricos recibidos durante el proceso formativo académico.

Conclusiones

Un laboratorio se concibe como un espacio de ambiente controlado en el cual se realizan prácticas para el reforzamiento de los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de clases, por tanto en el ámbito académico tiene un alto nivel de importancia, toda vez que promueve la experimentación de la información que los estudiantes previamente han procesado y conocer el comportamiento de un determinado fenómeno, asumiendo diferentes variables que se pudieran manifestar en la vida real.

Los sistemas eléctricos de potencia con un conjunto de dispositivos que convierten la energía de una fuente primaria a energía eléctrica, la transporta y distribuye a los consumidores, dentro de estos se distingue que el componente de generación es el encargado de convertir la energía de una forma primaria a energía eléctrica, siendo posible gracias al principio de conversión electromecánica de energía, el cual postula que el movimiento de un conductor que forme un circuito cerrado dentro de un campo magnético induce en él una corriente eléctrica. De esta manera, la energía involucrada en crear ese movimiento mecánico se convierte en energía eléctrica contenida en el flujo de los electrones. Mientras que el componente de transmisión es la parte encargada de transmitir grandes bloques de energía de los centros de producción (centrales generadoras) a los centros de consumo (ciudades, parques industriales, aeropuertos, etc.) Para ello, se utilizan conductores (llamados comúnmente líneas) como el medio físico por el que fluye la carga eléctrica.

En este sentido, los laboratorios de sistemas de potencia se configuran como herramientas académicas que permiten a los estudiantes de las carreras de electricidad conocer el comportamiento del fluido eléctrico, haciendo énfasis en este caso en particular en los componentes de generación y transmisión, además de recrear determinadas situaciones en las que deban emplear los conocimientos previamente adquiridos para dar las soluciones que sean requeridas, con lo cual se fortalece el rendimiento de los educandos y por consiguiente mejora la calidad de la oferta académica.

Referencias

1. Balbás, F. J. (2017). *Sistemas de energía eléctrica en alta tensión*. Santander, España: Editorial Universidad de Cantabria.
2. Barberá, E. (2018). *El constructivismo en la práctica*. Barcelona, España: Editorial Graó.
3. Bayod, Á. A. (2018). *Fundamentos de sistemas eléctricos*. Zaragoza, España: Pressas Universitarias de Zaragoza.
4. Cardona, J. D. (2018). *Elaboración de las guías para el laboratorio de sistemas eléctricos de potencia*. Recuperado el 18 de julio de 2021, de Repositorio Digital de la Universidad Tecnológica de Pereira: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/143220>
5. Córdoba, F. J. (2018). *Experiencias de investigación en escenarios controlados*. Medellín, Colombia: Fondo Editorial del Instituto Tecnológico Metropolitano.
6. Correa, R. E. (2017). *Sistemas de transmisión flexibles*. Cali, Colombia: Programa Editorial de la Universidad del Valle.
7. Eguíluz, L. I. (2017). *Armónicos en sistemas de potencia*. Cantabria, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
8. Enríquez, G. (2019). *Introducción al análisis de redes eléctricas en sistemas de potencia*. México: Editorial Limusa.
9. Fernández, C. (2019). *Problemas de sistemas eléctricos de potencia*. Valladolid, España: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, Universidad de Valladolid.
10. Gálvez, M. d. (2017). *La innovación educativa como agente de transformación*. Madrid, España: Editorial Dykinson S.L.
11. Glover, D. (2018). *Sistemas de potencia*. México: International Thomson Editores, S. A. de C. V.
12. González, F. (2017). *Sistemas de energía eléctrica*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
13. Gutiérrez, H. A., & Spandre, E. (2017). *Uso del simulador de redes del laboratorio de sistemas de potencia, ventajas y limitaciones en comparación con un programa digital*. Recuperado el 18 de julio de 2021, de Repositorio Digital de la Escuela Superior Politécnica del Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/98878/D-103999.pdf>
14. Jaramillo, F. B., & Silva, B. J. (2020). *Diseño, construcción e implementación de un generador fotovoltaico para el sistema a escala del laboratorio de Sistemas Eléctricos de*

- Potencia*. Recuperado el 18 de julio de 2021, de Repositorio Digital de la Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21325>
15. Játiva, J., Maldonado, J., & Mena, V. (2019). Diseño y Construcción de un Transformador Trifásico para Control de Voltaje en el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia. *Revista Politécnica*, 43(1), 23-36. Recuperado el 18 de julio de 2021, de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292019000200023
 16. López, C. A., Apodaca, F., & Ortiz, V. H. (2018). Implementación de un sistema de monitoreo de área amplia a escala de laboratorio para sistemas eléctricos de potencia. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 19(2), 195-207. Recuperado el 18 de julio de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432018000200195&script=sci_arttext
 17. Lovera, S. (2018). *Medición de Potencia en Sistemas Eléctricos*. Madrid, España: Editorial Academica Espanola.
 18. Matulic, I. (2018). *Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia*. Recuperado el 01 de junio de 2021, de Revista Acta Nova: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v2n2/v2n2_a05.pdf
 19. Mendoza, J. (2020). *Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia*. Recuperado el 01 de junio de 2021, de Pontificia Universidad Católica de Valparaíso: <http://www.pucv.cl/uuaa/escuela-de-ingenieria-electrica/laboratorios/laboratorio-de-sistemas-electricos-de-potencia>
 20. Montoya, Á. (2021). *Análisis de sistemas eléctricos de potencia. Un enfoque clásico y moderno*. Bogotá, Colombia: Servicio Editorial de la UNiversidad de Pereira.
 21. Quezada, G. d. (2019). *¿Qué importancia tienen los laboratorios en la educación?* Recuperado el 01 de junio de 2021, de Comunidad Educativa Dialoguemos: <https://dialoguemos.ec/2019/04/que-importancia-tienen-los-laboratorios-en-la-educacion/>
 22. Serrano, J. A. (2017). *Laboratorio virtual de electrotecnia: prácticas de corriente alterna y de máquinas eléctricas*. Valladolid, España: Junta de Castilla y León.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).