



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2025,
Volumen 9, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1

SIMULACIÓN AVANZADA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA: HISTORIA, DESARROLLO Y APLICACIONES CON ETAP Y DIGSILENT POWERFACTORY

Adrián González Martínez

Tecnológico Nacional de México, Campus Tapachula

José Antonio Cortés García

Tecnológico Nacional de México, Campus Tapachula

Jorge Antonio Castellanos Juárez

Investigador independiente

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i3.18450

Simulación Avanzada en Ingeniería Eléctrica: Historia, Desarrollo y Aplicaciones con ETAP Y Digsilent Powerfactory

Adrián González Martínez¹adr.gonzalez@tapachula.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0000-7504-5404>Tecnológico Nacional de México; Campus
Tapachula
México**Jorge Antonio Castellanos Juárez**castellanosjuarezjorge@gmail.com<https://orcid.org/0009-0001-5475-8090>

Investigador independiente

México

José Antonio Cortés Garcíajos.cortes@tapachula.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0009-9219-5434>Tecnológico Nacional de México; Campus
Tapachula
México

RESUMEN

La simulación en ingeniería eléctrica ha recorrido un camino impresionante, pasando de métodos manuales y analíticos a entornos digitales avanzados que permiten un análisis, planificación y operación de sistemas eléctricos con una precisión asombrosa. Este artículo se adentra en esta evolución, enfocándose en dos herramientas destacadas: ETAP y Digsilent PowerFactory. La simulación eléctrica es esencial para enfrentar la creciente complejidad de los sistemas modernos, especialmente con la masiva integración de energías renovables, redes inteligentes y generación distribuida. Históricamente, los ingenieros se han visto limitados por cálculos manuales y modelos simplificados. Sin embargo, el avance de la computación en las décadas de 1980 y 1990 dio lugar a herramientas como ETAP (creado por Operation Technology Inc.) y PowerFactory (desarrollado por Digsilent GmbH), que revolucionaron el campo con módulos especializados para análisis de flujo de carga, cortocircuitos, estabilidad transitoria, protección y confiabilidad. ETAP se destaca por su facilidad de uso y su enfoque industrial, siendo la opción preferida en plantas petroquímicas, generación convencional y distribución. En cambio, PowerFactory ofrece una flexibilidad superior para el modelado avanzado, micro redes, integración de energías renovables y planificación a gran escala, siendo más común utilizarlo en entornos académicos y particularmente por regiones en donde las normativas y estándares europeos predominan. Ambos programas han evolucionado para incluir modelos de energías renovables, tecnologías HVDC, inteligencia artificial y automatización. Este estudio también analiza sus aplicaciones clave en diseño, planificación, análisis de protección, calidad de energía, confiabilidad y estudios de contingencias. Finalmente, se abordan las tendencias futuras de la simulación, como la digitalización de redes, gemelos digitales, inteligencia artificial y plataformas colaborativas en la nube. Además, la evolución de la simulación eléctrica es un reflejo del progreso tecnológico y de la necesidad de adaptarse a un mundo en constante cambio.

Palabras clave: simulación, ETAP, Digsilent

¹ Autor principal

Correspondencia: adr.gonzalez@tapachula.tecnm.mx

Advanced Simulation in Electrical Engineering: History, Development, and Applications with ETAP and Digsilent PowerFactory

ABSTRACT

Simulation in electrical engineering has undergone remarkable progress, transitioning from manual and analytical methods to advanced digital environments that enable analysis, planning, and operation of electrical systems with astonishing precision. This article explores this evolution, focusing on two prominent tools: ETAP and DIgSILENT PowerFactory. Electrical simulation is essential for addressing the growing complexity of modern systems, particularly with the massive integration of renewable energy, smart grids, and distributed generation. Historically, engineers have been constrained by manual calculations and simplified models. However, advancements in computing during the 1980 and 1990 led to tools like ETAP (developed by Operation Technology Inc.) and PowerFactory (developed by DIgSILENT GmbH), which revolutionized the field with specialized modules for load flow analysis, short circuit analysis, transient stability, protection, and reliability. ETAP is noted for its user-friendliness and industrial focus, making it the preferred choice in petrochemical plants, conventional generation, and distribution. In contrast, PowerFactory offers superior flexibility for advanced modeling, microgrids, renewable energy integration, and large-scale planning, and is more commonly used in academic settings, particularly in regions where European regulations and standards prevail. Both programs have evolved to include renewable energy models, HVDC technologies, artificial intelligence, and automation. This study also examines their key applications in design, planning, protection analysis, power quality, reliability, and contingency studies. Finally, future trends in simulation are discussed, such as network digitalization, digital twins, artificial intelligence, and collaborative cloud platforms. Moreover, the evolution of electrical simulation reflects technological progress and the necessity to adapt to a constantly changing world.

Keywords: simulation, ETAP, DIgSILENT

Artículo recibido 26 mayo 2025

Aceptado para publicación: 29 junio 2025



INTRODUCCIÓN

La simulación en ingeniería eléctrica se ha convertido en un pilar fundamental para el diseño, análisis, y operación de sistemas eléctricos de potencia. Permite anticipar el comportamiento de redes antes de su implementación, optimizar el uso de recursos, evaluar escenarios de contingencia, y garantizar estabilidad, confiabilidad y eficiencia energética. Además, en un contexto donde las redes eléctricas son cada vez más dinámicas y distribuidas, con alta implementación de energías renovables, la simulación es vital para estudiar interacciones no lineales y efectos transitorios (Grainger, (1994)). También ayuda en el cumplimiento normativo, ya que muchas regulaciones exigen análisis detallados previos a la implementación de sistemas, esto con el fin de evitar perturbaciones en el sistema eléctrico en funcionamiento.

La evolución de la simulación eléctrica ha sido impulsada principalmente por el desarrollo de la computación digital. En las décadas de 1960 y 1970, los estudios de flujo de carga y cortocircuito se realizaban con técnicas numéricas manuales o en ordenadores centrales con programas rudimentarios como EMTP. En los años 80 y 90 surgieron herramientas como ETAP y DIgSILENT PowerFactory, las cuales ofrecieron interfaces gráficas y mayor precisión en el modelado. Con la revolución digital del siglo XXI, estas herramientas incorporaron funciones avanzadas como análisis dinámico, estudios de estabilidad transitoria, integración de energías renovables y simulación en tiempo real (Kundur, 1994) (Glenn W. Stagg, 1968)

Con el pasar de los años, más softwares especializados salieron al mercado, cada uno con sus ventajas y desventajas, este incremento de herramientas para el análisis y estudios de sistemas eléctricos hicieron que los ingenieros se preguntarán que software sería el ideal para sus actividades diarias. Esto no quedo en el pasado, actualmente varios ingenieros desconocen los alcances y funciones que tienen los softwares especializados en análisis de sistemas eléctricos. Por ello es necesario realizar la comparación de las capacidades y aplicaciones de ETAP y DIgSILENT Powerfactory en el contexto de la simulación de sistemas eléctricos. El problema de investigación se centra en el vacío existente en la literatura sobre una evaluación sistemática de estos softwares, lo cual limita la comprensión de sus ventajas y desventajas en situaciones específicas de aplicación.

La importancia de abordar este tema radica en la creciente complejidad de las redes eléctricas modernas, que requieren herramientas avanzadas para garantizar su estabilidad y eficiencia. En un entorno donde la integración de energías renovables y la optimización del rendimiento son cruciales, entender las capacidades de estas herramientas se convierte en una necesidad para los ingenieros enfocados en realizar estudios y simulaciones de los sistemas eléctricos. La incorporación masiva de energías renovables, especialmente eólica y solar, ha modificado sustancialmente los requerimientos de simulación. A diferencia de las plantas convencionales, estas fuentes presentan variabilidad, intermitencia y menor inercia, lo que obliga a realizar simulaciones dinámicas más detalladas para evaluar la estabilidad de frecuencia y tensión (Ackermann, 2005) (Hatzigiorgiou, 2014). Las herramientas de simulación han debido incorporar modelos específicos de inversores, seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), sistemas de almacenamiento y controles de planta virtual. ETAP y PowerFactory han respondido a esta necesidad incorporando módulos dedicados, como los modelos WECC o IEC 61400 para turbinas eólicas, y simulaciones EMT (transitorios electromagnéticos) para evaluar armónicos y resonancias en sistemas FV (solar fotovoltaico).

La revisión de estudios previos revela que la simulación en ingeniería eléctrica ha sido objeto de numerosas investigaciones. Por ejemplo, (Abdi, 2024) analizan el uso de ETAP en el modelado de sistemas eléctricos, destacando sus aplicaciones en el análisis de estabilidad y flujo de carga. Por otro lado, (Victor Astapov, 2018) resalta las capacidades del entorno de simulación de DIgSILENT, enfocándose en su versatilidad para abordar distintos escenarios. Sin embargo, la literatura actual carece de un análisis comparativo que permita evaluar de manera efectiva las aplicaciones específicas de cada herramienta en casos reales.

Hace 30 años, los programas eran mayormente de línea de comandos, con interfaces limitadas y sin capacidades gráficas avanzadas. Las simulaciones estaban restringidas por la potencia de cómputo, y los modelos utilizados eran simplificados, con escasa representación de fenómenos transitorios o controladores complejos (J. Duncan Glover, 2012). En contraste, las herramientas actuales como ETAP 22 o PowerFactory 2024 ofrecen interfases gráficas avanzadas y amigables, bibliotecas extensas de componentes eléctricos con parámetros ajustables, modelado dinámico avanzado, incluyendo energías renovables, almacenamiento y micro redes, simulación en tiempo real y análisis probabilístico.

Este artículo plantea la hipótesis de que una evaluación comparativa entre los softwares ETAP y DIgSILENT Powerfactory revelará las diferencias significativas en su aplicación y rendimiento en distintos contextos de simulación. Los objetivos específicos incluyen identificar las aplicaciones clave de cada software y evaluar su efectividad en la gestión de redes eléctricas complejas. A través de este análisis, se espera proporcionar a investigadores y profesionales del sector una guía valiosa para la selección y utilización de estas herramientas en sus proyectos.

METODOLOGÍA

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo y descriptivo, orientado a explorar y analizar la evolución y las aplicaciones de las herramientas de simulación avanzada en ingeniería eléctrica, específicamente ETAP y DIgSILENT PowerFactory. De igual forma es de carácter exploratorio y documental, centrada en la revisión y síntesis de información proveniente de fuentes secundarias, como artículos científicos, manuales técnicos, normativas y documentación oficial de los programas anteriormente mencionados.

El diseño de investigación empleado es de tipo transversal, ya que la recopilación y análisis de la información se realiza en un momento determinado, permitiendo describir el estado actual y las tendencias de estas herramientas de simulación, identificando patrones importantes en la evolución de la simulación en la ingeniería eléctrica. No se contempla un experimento ni una observación participante, sino una revisión sistemática de los desarrollos tecnológicos y aplicaciones en diferentes contextos industriales y académicos del software ETAP y DigSILENT PowerFactory, haciendo énfasis en las aplicaciones de cada software, ventajas y desventajas, por lo que también se complementaría con un tipo de diseño descriptivo, con el cual podremos documentar las aplicaciones y metodologías actuales.

De igual manera, la población de estudio está conformada por la documentación técnica, estudios de caso, informes de aplicación y publicaciones académicas relacionadas con ETAP y PowerFactory. Priorizando las fuentes que aportan información relevante, actualizada y de autoridad en el campo de la simulación eléctrica.

Para la recolección de datos, se utilizaron técnicas de revisión documental y análisis de contenido. Se emplearon materiales de apoyo como tablas comparativas, esquemas y diagramas que ilustran las capacidades y aplicaciones de los programas.

En cuanto a consideraciones éticas, se respetaron los derechos de autor y las licencias de los materiales consultados, citando adecuadamente las fuentes. No se establecieron criterios de inclusión o exclusión específicos, dado que la revisión se centró en información pública. Sin embargo, se priorizó la calidad y relevancia de las fuentes para garantizar la veracidad del análisis.

La metodología utilizada permite ofrecer un panorama actualizado y fundamentado sobre la evolución y aplicaciones de las herramientas de simulación en ingeniería eléctrica, facilitando su reproducción y utilidad para futuros estudios en la materia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las herramientas como ETAP y PowerFactory han pasado por diversos hitos que marcaron su consolidación en la industria eléctrica. En el caso de ETAP, desarrollado por Operation Technology, Inc. en 1986 por Farrokh Shokoh, uno de sus primeros avances importantes fue la integración de múltiples módulos de análisis (cortocircuito, flujo de carga, coordinación de protecciones) en una sola plataforma. Además, fue uno de los primeros en adoptar simulación en tiempo real y compatibilidad con sistemas SCADA (Antonio Gómez - Expósito, 2018) (Operation Technology, 2021) (Solutions, 2025).

Figura 1: Alcances del software ETAP en el modelado y estudios de sistemas eléctricos

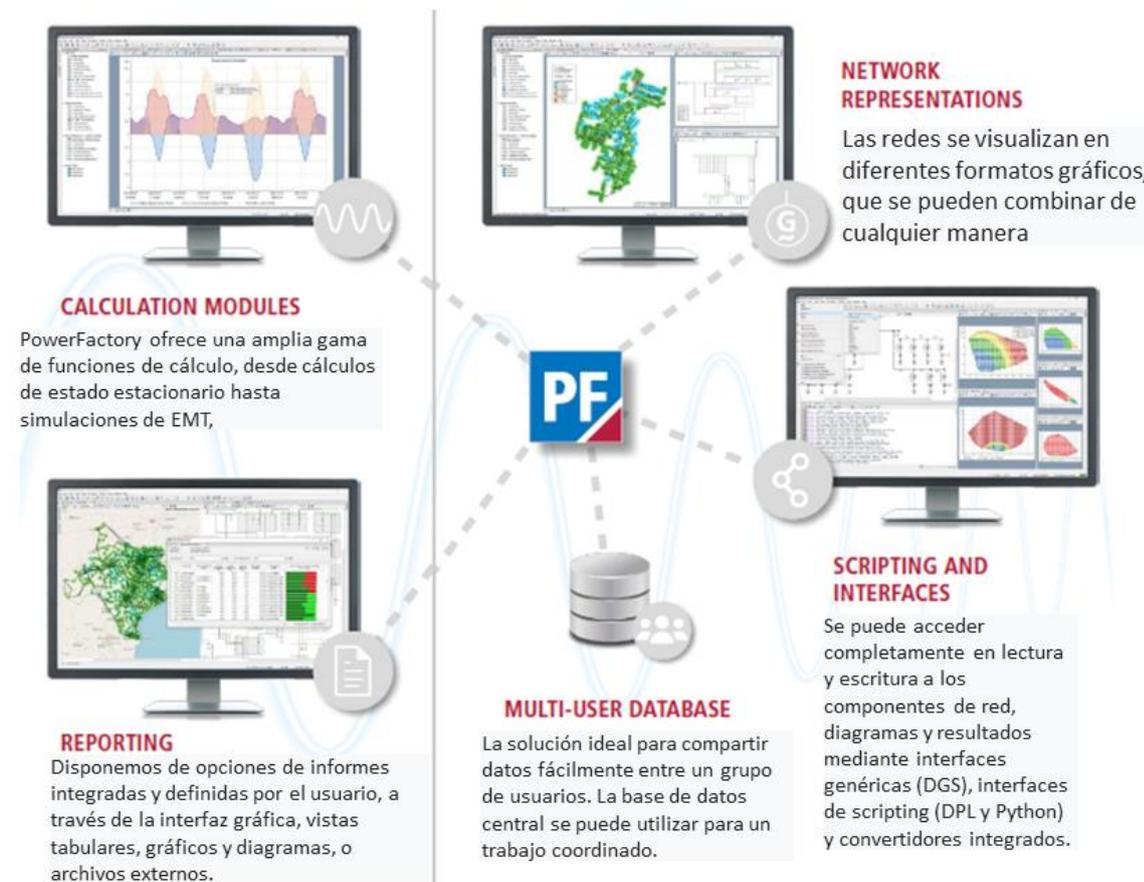


Nota. Fuente: Operation Technology, Inc. (2021). ETAP 20.6 User Guide.

Por otro lado, DIgSILENT PowerFactory, fue desarrollado en Alemania, en 1985 por Michael Powalka, y se consolidó como una herramienta robusta para análisis dinámico, estableciéndose especialmente en Europa. Un hito clave fue la incorporación de modelos para energías renovables y redes HVDC en los años 2000, así como la implementación de su propio lenguaje de scripting (DPL) para automatización de estudios (Díaz et al., 2013; DIgSILENT GmbH, 2022).

La incorporación masiva de energías renovables, especialmente eólica y solar, han modificado sustancialmente los requerimientos de simulación. En la figura 2 se muestran los alcances del software DIgSILENT.

Figura 2: Alcances del software DIgSILENT en las diferentes etapas de diseño y modelado.



Nota. Fuente: DIgSILENT GmbH. Power System Solutions (2025). Integrated Power System Analysis Software for Transmission, & Integration of Renewables.

Además, se requiere realizar análisis y estudios de integración en redes débiles, y evaluación de comportamiento ante fallas. ETAP y DIgSILENT PowerFactory han respondido a esta necesidad, incorporando módulos dedicados, como los modelos WECC o IEC 61400 para turbinas eólicas, y simulaciones EMT (transitorios electromagnéticos) para evaluar armónicos y resonancias en sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.

Lo importante del contexto anterior es comprender que, aunque tengamos softwares que nos ayudarán a realizar diferentes estudios, habrá diferencias notorias entre ellos y las aplicaciones dependerán de los alcances que tengamos en los diferentes proyectos o actividades a realizar.

Centrándonos en el primer software de estudio, Etap (Electrical Transient Analyzer Program) es una plataforma de software especializada en el modelado, simulación, operación, control, optimización y automatización de sistemas eléctricos de potencia. Este software fue concebido para atender las

necesidades de análisis integrales en sistemas industriales, comerciales y de generación, bajo un entorno gráfico altamente intuitivo.

Desde sus inicios, ETAP se ha caracterizado por integrar múltiples módulos de análisis eléctrico, lo que permite al usuario realizar estudios como flujo de carga, cortocircuito, coordinación de protecciones, análisis de armónicos, y estabilidad transitoria, en un solo entorno de trabajo (R. Gayathri, 2018)

La plataforma ha sido adoptada globalmente por empresas del ramo eléctrico, consultoras y universidades, gracias a su precisión en cálculos y capacidad de personalización. ETAP ofrece una arquitectura modular que abarca más de 50 funciones especializadas para el análisis y operación de sistemas eléctricos. En la tabla 1 se muestra a manera de resumen, los principales módulos que se destacan en el uso del software ETAP.

Tabla1: Módulos principales de ETAP.

MÓDULO	DESCRIPCIÓN
Análisis de flujo de carga.	Cálculo de flujo de potencia bajo diferentes condiciones de carga.
Análisis de corto circuito.	Evaluación de corrientes de falla bajo estándares IEC y ANSI.
Coordinación de protecciones eléctricas.	Diseño, coordinación y verificación de protecciones eléctricas.
Análisis de arco eléctrico.	Cálculo del riesgo de arco eléctrico conforme a IEEE 1584.
Estabilidad transitoria.	Simulación de eventos dinámicos como fallas y arranques de generadores.
Análisis de armónicos.	Identificación y mitigación de distorsión armónica en los sistemas eléctricos.
Simulación de arranque de motores.	Estudio del comportamiento dinámico de arranque de motores.
Monitoreo en tiempo real.	Monitoreo y control en tiempo real de sistemas eléctricos.

Nota. Fuente: ChunHua Tang (2011). Electrical power system modeling and simulation of large-scale industrial enterprise (Tang, 2011).

Para que ETAP pudiera ofrecer los diferentes módulos de estudio y análisis que tiene hasta la fecha, tuvo que pasar por una evolución radical. Desde su primera versión en 1986, ETAP ha experimentado una evolución significativa en cuanto a capacidades técnicas, interfaz de usuario e integración con

sistemas externos. En sus inicios, el software se centraba en el análisis de flujo de carga y cortocircuito, utilizando una interfaz textual básica. Con el tiempo, se incorporaron nuevas funciones como análisis de estabilidad transitoria, armonía, coordinación de protecciones y cálculo de arco eléctrico (Gönen, 2014)

A partir del año 2000, ETAP integró una GUI más sofisticada, soporte para bases de datos SQL, capacidad de simulación en tiempo real (ETAP Real-Time), y herramientas de análisis predictivo. En versiones recientes (v21 y v22), se añadieron modelos para energías renovables, micro redes, control de frecuencia e interfaces con plataformas BIM y SCADA (Inc., 2022) (Gönen, 2014). Hoy en día, el software permite incluso la simulación co-sincronizada con hardware y sistemas de automatización.

Con esta actualización y mejora constante del software ETAP tomo relevancia en distintos sectores industriales que requieren asegurar un funcionamiento correcto y confiable del sistema eléctrico, asegurando que la instalación cumple con los lineamientos normativos que apliquen. En la tabla 2 definiremos los sectores en donde mayormente utilizan el software ETAP.

Tabla 1: Sectores donde prefieren utilizar el software ETAP

SECTOR	USO
Industria petroquímica y de gas.	Para modelado de sistemas complejos con generación propia, coordinación de protecciones y análisis de seguridad.
Minería y metalurgia.	Para análisis de arranque de motores, flujo de carga y confiabilidad del suministro eléctrico.
Centro de datos y telecomunicaciones.	Estudio y análisis de redundancia, calidad de la energía y continuidad del suministro.
Sector salud.	Analizar los sistemas eléctricos críticos o de emergencia, adecuaciones en plantas de emergencia y el estudio de coordinación de protecciones.
Industria naval y aeronáutica	Para poder modelar sistemas aislados, balanceados y no balanceados.

Nota. Fuente: Wiley. IEEE Power & Energy Society (2015). IEEE Guide for Design of Industrial Substations. IEEE Std 3004.1. (IEEE, 2013)

Por otra parte, el software DIgSILENT PowerFactory es una de las herramientas más avanzadas para la simulación, análisis, modelado y operación de sistemas eléctricos de potencia. combina capacidades



de análisis de redes eléctricas con funciones gráficas, bases de datos relacionales y un lenguaje de scripting propio (DPL - DIgSILENT Programming Language), que le permite ser altamente personalizable. Es ampliamente usado por operadores de sistemas de transmisión (TSO), distribución (DSO), centros de investigación y universidades (Milano, 2010) (Thierry Cutsem, 1998)

Ahora ¿por qué utilizaría el software PowerFactory en lugar de otro programa vigente en el mercado?, de acuerdo a la investigación, dicho software se distingue por una combinación de características técnicas y funcionales que lo hacen ideal para aplicaciones en planificación, operación y análisis avanzado de redes eléctricas, dentro de las características principales podemos mencionar las siguientes:

- **Modelado orientado a objetos:** los componentes eléctricos son tratados como objetos con propiedades individuales, lo que mejora la trazabilidad, reutilización y organización (Milano, 2010).
- **Soporte para análisis híbridos EMT y RMS,** lo cual permite combinar análisis electromagnéticos de alta resolución con modelos de sistema de potencia tradicionales.
- **Capacidad multilenguaje y scripting:** el uso de DPL y Python brinda posibilidades de automatización, simulaciones en bucle y estudios personalizados.
- **Integración con herramientas externas,** como bases de datos SQL, GIS y SCADA, lo que permite un entorno de simulación conectado.
- **Precisión en modelado de controladores y sistemas dinámicos,** incluyendo generadores renovables, HVDC, FACTS y sistemas de almacenamiento (Kala Meah, 2007)

Como se pudo observar el software tiene características especiales, por lo tanto, es necesario mencionar cuales son los principales estudios que se realizan en este programa, cabe aclarar que DIgSILENT PowerFactory ofrece una amplia gama de análisis para sistemas eléctricos de generación, transmisión, distribución y sistemas híbridos, en la tabla 3 se muestran los módulos de estudio mayormente utilizados en la industria.

Tabla 2: Módulos más utilizados en el software DIgSILENT PowerFactory

MÓDULO	DESCRIPCIÓN
Análisis de flujo de carga.	Cálculo de flujo de carga balanceado y desbalanceado, optimizado, con generación distribuida.
Cálculo de corto circuito.	Evaluación de corrientes de falla bajo estándares IEC y ANSI.
Estudio de estabilidad transitoria y dinámica.	Para eventos como caídas de tensión, fallas, arranques y oscilaciones.
Análisis de armónicos y calidad de la energía.	Considerando todas las causas que generan una mala calidad de la energía, incluyendo resonancia y mitigación.
Coordinación de protecciones.	Utilizado en protecciones de baja, media y alta tensión, considerando las curvas de disparo y análisis de sensibilidad.
Estudios de confiabilidad y adecuación de red.	Mediante un análisis probabilístico.
Simulación de redes, micro redes y sistemas HVDC.	Considerando las nuevas implementaciones de generación distribuida que hay en el sector eléctrico.

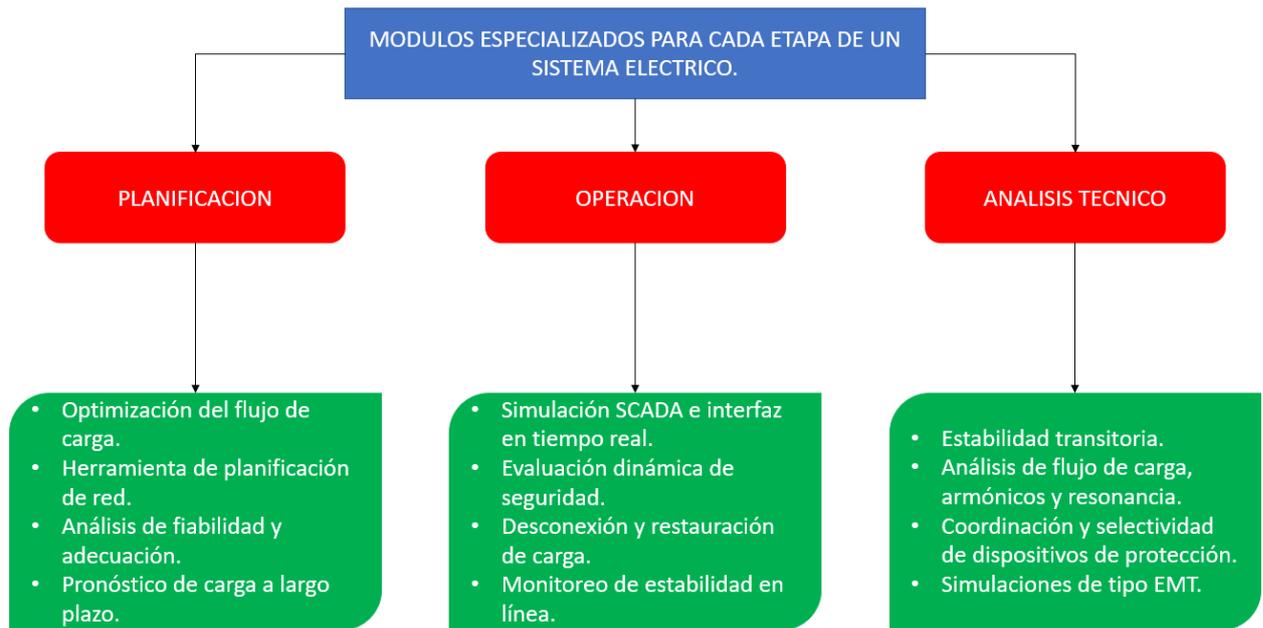
Nota. Fuente: (Solutions, 2025)

De acuerdo a las características mencionadas en la tabla anterior, el uso del software DIgSILENT se hace especialmente atractivo para operadores de red y consultoras que manejan sistemas de gran escala o sistemas con alta implementación de renovables, ya que los tipos de sistemas que requieren modelar o simular son robustos.

DIgSILENT PowerFactory tiene una fuerte presencia en Europa, especialmente en países como Alemania, Reino Unido, Francia, España y los países nórdicos, debido a su cumplimiento con los estándares IEC y a su origen europeo. También es ampliamente usado en algunos países de Latinoamérica como Brasil, México, Colombia y Chile. Su uso se debe a la robustez de sus análisis dinámicos, soporte técnico, integración con normativa internacional, y capacidad de modelado detallado (ENGINEERING, 2013)

En la figura 3 se muestra como DIgSILENT clasifica las herramientas disponibles, según sea la etapa en la que se encuentra el proyecto o el ingeniero que realiza el estudio.

Figura 3: Clasificación de los módulos especializados en DIGSILENT de acuerdo a la etapa de estudio



Nota. Fuente: de Autor.

Con la información mostrada y el entendimiento de la evolución que han tenido los softwares de estudio, por las nuevas tecnologías y fuentes de generación eléctricas implementadas en el sector, se procede a realizar una comparación entre el software ETAP y DIGSILENT PowerFactory.

Esta comparación la iniciaremos mencionando las similitudes que hay entre estas herramientas, como, por ejemplo:

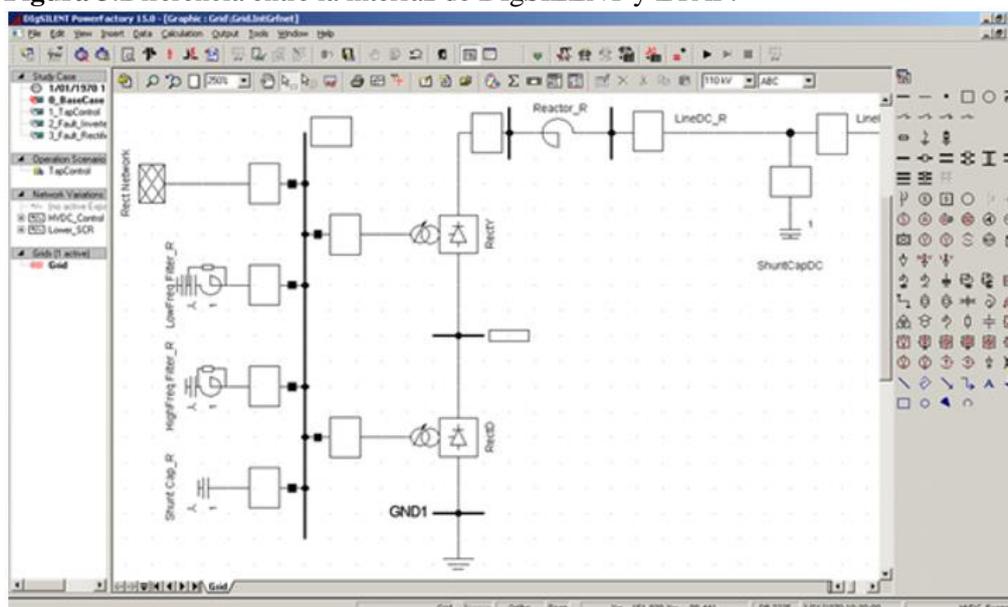
- ❖ **Amplio espectro de análisis:** Ambas permiten realizar estudios de flujo de carga, cortocircuitos, coordinación de protecciones, análisis armónico, estabilidad transitoria y dinámica, entre otros (Milano, 2010; Gonen, 2016).
- ❖ **Modelado gráfico y orientado a objetos:** Ambas plataformas ofrecen entornos gráficos intuitivos para el diseño de redes, con bases de datos relacionales integradas que almacenan datos de los elementos eléctricos (Zamora et al., 2018; Stojanovic et al., 2012).
- ❖ **Modularidad:** ETAP y PowerFactory están estructurados en módulos, lo que permite que los usuarios adquieran únicamente las funciones que necesitan.
- ❖ **Cumplimiento normativo:** Ambas herramientas se ajustan a estándares internacionales como IEC, ANSI e IEEE, lo que las hace útiles globalmente

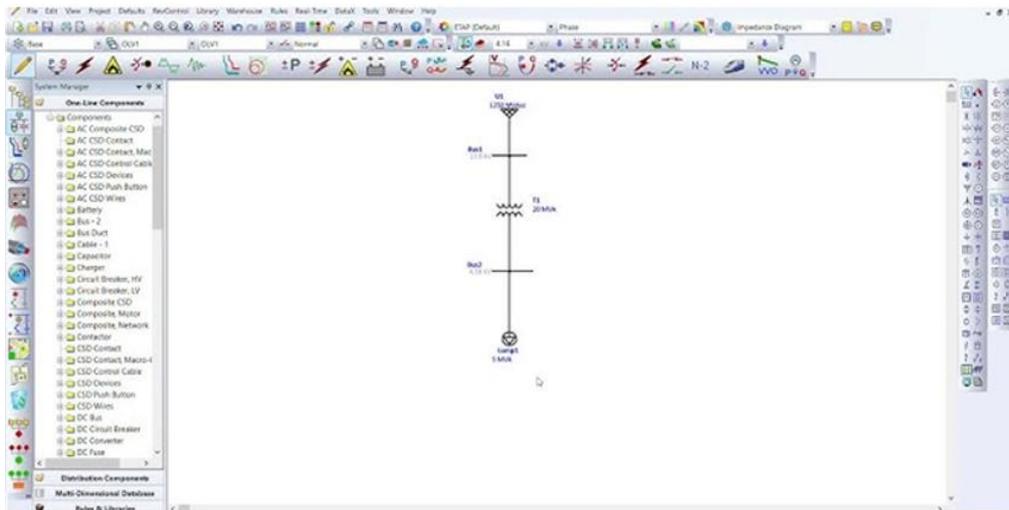
- ❖ **Uso en múltiples sectores:** Son utilizadas en industrias como generación eléctrica, petroquímica, transporte, minería, y distribución pública y privada.

Estas similitudes, muestran que podríamos usar ambos softwares cuando necesitemos simular y realizar estudios de un sistema eléctrico, sin embargo, es importante mencionar cuales son las principales diferencias entre ambas herramientas, estas se mencionan a continuación.

- **Interfaz de usuario:** ETAP posee una interfaz más amigable e intuitiva, orientada a ingenieros industriales y de campo (ver fig. 2), mientras que PowerFactory está más enfocada a usuarios técnicos y académicos, con herramientas avanzadas de scripting y personalización (ver fig. 3), (Stojanovic et al., 2012; Milano, 2010).
- **Capacidades de simulación dinámica:** PowerFactory tiene mayor capacidad en análisis dinámicos y EMT (Transitorios electromagnéticos), superando a ETAP en simulaciones detalladas de estabilidad
- **Compatibilidad y programación:** PowerFactory ofrece mejor integración con lenguajes como Python, y posee su propio lenguaje DPL, mientras que ETAP depende más de su entorno cerrado y visual (Gonen, 2016).
- **Orientación geográfica:** ETAP es muy popular en América, Asia y Medio Oriente, mientras que PowerFactory es más usado en Europa y Oceanía.

Figura 3: Diferencia entre la interfaz de DiGSILENT y ETAP.





A pesar de sus similitudes, ETAP y PowerFactory difieren significativamente en aspectos clave, esto también ha impactado en los usuarios, ya que, de acuerdo a los alcances, interfaz y uso, prefieren utilizar un software u otro. Para ejemplificar en la tabla 4 se hace un resumen de las preferencias que tienen los usuarios.

Tabla 3: *Preferencia en el uso del software ETAP y DIgSILENT.*

ETAP	DIgSILENT PowerFactory
Preferido en industrias pesadas, como petroleras, mineras, industria de gas y petroquímicas, debido a su facilidad de uso y generación de reportes automáticos.	Utilizado por directores y operadores de red, por su confiabilidad y robustez en análisis de estabilidad en redes de gran escala.
Preferido por ingenieros de planta y consultores que requieren rapidez de análisis y documentación.	Aplicado en universidades e institutos de investigación por su precisión en estudios dinámicos, programación y simulación EMT.
Utilizado en instituciones educativas técnicas en regiones de América y Asia.	Empresas de planificación que requieren la integración con plataformas externas o análisis a largo plazo.

Nota. Fuente: de Autor

Con la finalidad de dar un guía precisa, para que posteriormente podamos elegir que software utilizar, se harán comparativas precisas, sin favoritismo, siendo imparcial y basándonos en información compartida por los mismos desarrolladores de los softwares en estudio.

Comparación de interfaz, facilidad de uso y documentación.

Interfaz:

- **ETAP** presenta una interfaz más visual, basada en íconos y menús amigables, lo que facilita su adopción por usuarios con poca experiencia.
- **PowerFactory**, aunque poderosa, tiene una interfaz más técnica y estructurada, lo que requiere formación previa (Stojanovic et al., 2012).
- Facilidad de uso:
- **ETAP** es considerado más sencillo para iniciarse y obtener resultados rápidamente, ideal para usuarios de oficina técnica o mantenimiento (Gonen, 2016).
- **PowerFactory** es más complejo, pero su potencia es valorada por usuarios con experiencia.
- Documentación:
- Ambos sistemas cuentan con buena documentación. Sin embargo, PowerFactory destaca por su comunidad académica, tutoriales avanzados y base de conocimiento técnica (Milano, 2010)

Diferencia entre ETAP Y DIGSILENT en el estudio y análisis de flujo de carga, corto circuito y estabilidad transitoria

- **Flujos de carga:** Ambos ofrecen resultados confiables; sin embargo, PowerFactory permite opciones más avanzadas como flujos desequilibrados, optimización de red y flujos bajo contingencias múltiples (Milano, 2010; Kundur, 1994).
- **Cortocircuitos:** Los dos cumplen con normas IEC y ANSI, pero PowerFactory ofrece mayor flexibilidad en el cálculo según tipos de red, fuentes de energía y localización de la falla.
- **Estabilidad transitoria:** PowerFactory tiene clara ventaja en este punto. Sus capacidades para modelado dinámico, análisis EMT y simulaciones multi escala lo posicionan como líder en este campo (Milano, 2010; Kundur, 1994; Hossen et al., 2022).

Integración con otras plataformas o estándares internacionales.

- **PowerFactory** está mejor adaptado a la integración con SCADA, EMS, GIS, y sistemas externos mediante APIs, protocolos OPC, COM y DPL. También soporta el uso de Python, Matlab y XML para automatización y análisis avanzado (Milano, 2010; Schwaegerl & Tao, 2009).
- **PowerFactory Cumple** de forma estricta con estándares IEC 61970/61968 (CIM), lo que facilita su implementación en sistemas eléctricos modernos y Smart Grids (Hossen et al., 2022).

- **ETAP**, aunque también ofrece integración con otros sistemas, está más orientado al análisis interno, con menor apertura a plataformas externas, aunque se ha mejorado en versiones recientes (Gonen, 2016; Zamora et al., 2018).

Si nos adentramos mucho más a los manuales de cada uno de los softwares, encontraremos a mayor detalle características propias que diferenciaran a estas herramientas, sin embargo, con la información anterior, tendremos un panorama más claro de los alcances de ETAP y DIgSILENT, una vez concluido este tema, nos adentraremos a la aplicación clave de estos softwares en la simulación en ingeniería eléctrica, si bien podemos utilizarlos a parte de los estudios mencionados en el artículo, también se puede aplicar en estudios de calidad de la energía y en la integración de energías renovables.

La calidad de energía es un aspecto crucial en redes industriales y urbanas, tanto ETAP como PowerFactory incluyen módulos especializados para su análisis. ETAP, por ejemplo, permite realizar estudios de calidad energética integrados con análisis de armónicos para evaluar el impacto de cargas no lineales, como variadores de frecuencia, hornos de arco o UPS (García et al., 2019). PowerFactory ofrece herramientas para análisis FFT (Fast Fourier Transform) y evaluación del cumplimiento de normas como IEEE 519 e IEC 61000 (Milano, 2010).

Cumplir con estos estudios son necesarios, para garantizar el desempeño confiable de equipos sensibles, evitar penalizaciones por bajo factor de potencia y cumplir con regulaciones locales.

En el área de energías renovables, todas las fuentes en funcionamiento presentan desafíos técnicos significativos, ETAP y DIgSILENT PowerFactory son fundamentales para su modelado, análisis e implementación segura. Ambas herramientas permiten simular plantas renovables con modelos de inversores, sistemas de control, almacenamiento energético y compensación reactiva

PowerFactory destaca por su precisión en el modelado de generadores eólicos con base en aerogeneradores tipo I al IV, así como en la simulación de sistemas híbridos conectados a la red o en modo isla (Milano, 2010). ETAP ha incorporado modelos para MPPT, seguimiento solar y análisis de penetración renovable en redes industriales (García et al., 2019). Estas herramientas permiten analizar el impacto de las energías renovables en el perfil de carga, estabilidad del voltaje y frecuencia, y ayudan a diseñar esquemas de respaldo y control inteligente.

Sin duda alguna las dos opciones que se presentan en este artículo, para realizar estudios que demandan en la industria eléctrica, son de gran ayuda, con sus ventajas y desventajas, pero con resultados confiables, no obstante, las diferencias que tienen hoy, cambiarán en un futuro, esto debido que la modernización de los sistemas eléctricos harán a que estas herramientas sigan evolucionando, sobre todo por la nueva era de la inteligencia artificial y su aplicación dentro de los diferentes sectores de la industria eléctrica.

Tanto la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (machine learning) están comenzando a integrarse en los softwares de simulación eléctrica como herramientas complementarias para análisis predictivos, optimización de redes y mantenimiento preventivo. Estas tecnologías permiten identificar patrones en grandes conjuntos de datos operativos y anticipar comportamientos anómalos o eventos críticos.

Por ejemplo, autores como Siano (2014) explican que las redes neuronales artificiales y los algoritmos genéticos están siendo incorporados para mejorar el despacho óptimo de energía, prever la demanda o el comportamiento de fuentes renovables, y detectar fallas incipientes en el sistema. Asimismo, Alharbi et al. (2020) destacan el uso de técnicas de machine learning para optimizar el diseño de protecciones eléctricas y ajustar los modelos de simulación a condiciones reales mediante retroalimentación continua.

En ETAP y PowerFactory ya se observan funcionalidades que aprovechan técnicas de IA, como el reconocimiento de patrones de carga, diagnóstico de fallas, pronóstico de generación renovable o simulación inteligente de eventos de contingencia. Además, estas herramientas pueden vincularse con plataformas externas de análisis de datos como Python o MATLAB para implementar modelos personalizados de machine learning (Wang et al., 2020).

Por otra parte, las mejoras que se esperan de los softwares ETAP y DIgSILENT, deben contemplar lo mencionado con anterioridad. Gomes et al. (2020) sostienen que el futuro del software eléctrico se orienta a sistemas más autónomos y autoajustables, en los cuales los modelos se actualizan automáticamente según la operación real del sistema. Por su parte, (Schweickardt, 2008) predicen una mayor fusión entre sistemas EMS (Energy Management Systems) y simuladores como ETAP y

PowerFactory, permitiendo análisis en tiempo real con datos provenientes de medidores inteligentes (AMI) y PMUs.

Además, se esperan mejoras en las capacidades de modelado de sistemas AC/DC híbridos, electromovilidad, baterías de gran escala, controladores FACTS y dispositivos inteligentes de red (Larrea, 2001), también es probable que se incorporen módulos para ciberseguridad energética, dada la creciente digitalización del sector eléctrico.

Con la evolución hacia redes eléctricas inteligentes, las necesidades de simulación se están transformando profundamente. Las herramientas deben adaptarse para simular comportamientos dinámicos y descentralizados, incluyendo bidireccionalidad del flujo de energía, comunicación entre dispositivos, participación activa del consumidor y eventos altamente variables por el uso de energías renovables. Makarov et al. (2011) indican que las herramientas futuras deberán incluir módulos para gestión de recursos distribuidos (DERs), almacenamiento, precios dinámicos y análisis de resiliencia ante eventos climáticos extremos. Todo esto implica una evolución de ETAP y PowerFactory hacia entornos más complejos, conectados y predictivos, compatibles con la infraestructura digital del Smart grid. (Manfred Pöchacker, 2013)

CONCLUSIONES

La simulación en ingeniería eléctrica ha evolucionado de manera significativa, pasando de métodos manuales a sofisticadas herramientas digitales como ETAP y DIGSILENT PowerFactory. Esta transformación ha sido impulsada por la necesidad de abordar la creciente complejidad de los sistemas eléctricos modernos, caracterizados por la integración masiva de energías renovables y la implementación de redes inteligentes. Ambas herramientas ofrecen capacidades avanzadas que permiten realizar análisis detallados y precisos, fundamentales para garantizar la estabilidad y eficiencia de las redes eléctricas. ETAP destaca por su enfoque práctico y facilidad de uso, siendo ideal para la industria petroquímica y sectores que requieren un análisis rápido y confiable. En contraste, PowerFactory se presenta como una opción más robusta para estudios dinámicos complejos, lo que lo convierte en la herramienta preferida en entornos académicos y de investigación. Ambos softwares han demostrado su capacidad para adaptarse a los nuevos requerimientos de simulación, incorporando

modelos específicos para energías renovables y tecnologías emergentes, lo que resalta su versatilidad en un contexto energético en constante cambio.

Es crucial reconocer que, a pesar de sus similitudes, ETAP y PowerFactory difieren en aspectos clave como la interfaz de usuario, las capacidades de simulación y la integración con otras plataformas. Estas diferencias no solo impactan en la elección del software, sino también, la efectividad en la gestión de proyectos eléctricos específicos. La necesidad de realizar un análisis comparativo entre estas herramientas se vuelve evidente, dado que cada una ofrece ventajas que pueden ser decisivas según el contexto de aplicación. Con el avance de la digitalización y la creciente complejidad de los sistemas eléctricos, se espera que las herramientas de simulación continúen evolucionando, incorporando tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Esta integración no solo optimizará el rendimiento de los sistemas eléctricos, sino que también permitirá anticipar y mitigar problemas operativos antes de que se materialicen. Por lo tanto, el futuro de la simulación eléctrica seguirá en constante cambio y expansión, donde la adaptabilidad y la innovación serán factores clave para enfrentar los desafíos del sector energético global.

En conclusión, la continua mejora de ETAP y PowerFactory, junto con su capacidad para responder a las demandas del sector, subraya la importancia de estas herramientas en la ingeniería eléctrica moderna. A medida que las redes eléctricas evolucionan, también lo harán las soluciones de simulación, garantizando que los ingenieros cuenten con los recursos necesarios para enfrentar un panorama energético cada vez más complejo y desafiante.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abdi, H. (2024). *Power System Analysis Using The ETAP Software: A Comprehensive Review*. *Journal of Energy Management and Technology (JEMT)*, pp. 1–12.

Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems*. England: Royal Institute of Technology, pp. 85–223.

Antonio Gómez-Expósito, A. J. (2018). *Electric Energy Systems Analysis and Operation*. New York: CRC Press, pp. 33–102.

DIgSILENT GmbH. (2022). *Power System Solutions*. Alemania: DIgSILENT GmbH, pp. 5–36.



- DIgSILENT GmbH. (2025). *Integrated Power System Analysis Software for Transmission & Integration of Renewables*. Gomaringen: DIgSILENT GmbH, pp. 10–72.
- ENGINEERING, P. S. (2013). *Basic Software Features & Calculation Functions*. EUA: DIgSILENT PowerFactory, pp. 15–49.
- Flick, U. (2007). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata, pp. 55–140.
- García, L., Ruiz, F., & López, J. (2019). *Calidad de la Energía Eléctrica: Evaluación y Mejora en Sistemas de Potencia*. Alfaomega, pp. 40–135.
- Gayathri, R., & Sankaran, K. (2018). *Evolution of ETAP Software Tool For Power System Studies: A Literature Survey*. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(4), pp. 1–20.
- Glenn W. Stagg, A. H.-A. (1968). *Computer Methods in Power System Analysis*. London: McGraw-Hill, pp. 95–228.
- Gönen, T. (2014). *Electric Power Distribution Engineering* (3rd ed.). New York: CRC Press, pp. 55–223.
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power System Analysis*. New York: McGraw-Hill, pp. 95–348.
- Hatziargyriou, N. (2014). *Microgrids: Architectures and Control*. Piscataway: IEEE Press, pp. 88–144.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). México: McGraw-Hill, pp. 119–197.
- IEEE. (2013). *IEEE 3004.1: Recommended Practice for the Application of Instrument Transformers in Industrial and Commercial Power Systems*. EUA: IEEE 3000 Standards Collection, pp. 1–28.
- Inc., E. (2022). *Notes: Operation Technology*. EUA: ETAP Inc., pp. 8–47.
- J. Duncan Glover, M. S. (2012). *Power System Analysis & Design* (5th ed.). Stamford: CENGAGE Learning, pp. 103–275.
- Kala Meah, S. U. (2007). *Comparative Evaluation of HVDC and HVAC Transmission Systems*. *IEEE Xplore*, pp. 1–5.
- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill, pp. 227–552.
- Larrea, P. L. (2001). *Análisis dinámico de sistemas eléctricos con generación eólica*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, pp. 71–146.

- Manfred Pöchacker, W. E. (2013). *Simulating the Smart Grid. IEEE PowerTech*, pp. 1–5.
- Milano, F. (2010). *Power System Modelling and Scripting*. New York: Springer, pp. 23–178.
- Operation Technology, Inc. (2021). *ETAP 20.6 User Guide*. EUA: Operation Technology, Inc., pp. 15–88.
- Schweickardt, G. A. (2008). *Aplicaciones EMS (Energy Management Systems) para sistemas de distribución troncal de energía eléctrica*. Bariloche: Fundación Bariloche, pp. 2–6.
- Solutions, D. G. (2025). *Integrated Power System Analysis Software for Transmission & Integration of Renewables*. EUA: DIgSILENT GmbH, pp. 20–68.
- Tang, C. (2011). *Electrical Power System Modeling and Simulation of Large-Scale Industrial Enterprise*. IEEE, pp. 55–145.
- Thierry Cutsem, C. V. (1998). *Voltage Stability of Electric Power Systems*. EUA: Power Electronics and Power Systems (PEPS), pp. 89–176.
- Victor Astapov, I. P. (2018). *The Use of DigSilent PowerFactory Simulator for “Introduction into Power Systems” Lectures. Electrical, Control and Communication Engineering*, pp. 95–99.