

Apuntes sobre la restauración del Sistema Eléctrico Nacional ante colapso total y la actualización del procedimiento

Notes on the restoration of the National Electric System in the face of total collapse and the update of the procedure

Samuel Bory Constantin^{I,*}, Manuel Barroso Baeza^{II}

^IUnión Eléctrica, La Habana, Cuba

^{II}Universidad Tecnológica de La Habana, "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba

*Autor de correspondencia: samuel@dnc.une.cu

Recibido: 2 de mayo de 2022

Aprobado: 30 de agosto de 2022

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



RESUMEN/ ABSTRACT

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) no se conciben sin la existencia de planes ante contingencias que provoquen colapsos parciales y totales. El Sistema Eléctrico Nacional se ve constantemente amenazado por fenómenos meteorológicos, por tanto, no queda exento de la confección de dichos planes y cuenta con un procedimiento ante colapsos de tal magnitud. En el presente trabajo se describe el proceso de actualización del procedimiento ante caídas totales, con la introducción de las nuevas estrategias a seguir para su realización. Se detallan brevemente las etapas con las que debe contar la restauración luego del colapso. Luego, se plantea utilizar las estrategias de "todo abierto" y la restauración en paralelo. Para su selección, se tendrán en cuenta las ventajas y desventajas de estas estrategias según la bibliografía consultada. Además, se propone cómo deben quedar formadas las islas para la restauración.

Palabras clave: Restauración, colapso, Sistema Eléctrico Nacional (SEN), Despacho, interrupciones en cascada.

Electric Power Systems (EPS) are not conceived without contingency plans for partial and total collapses. National Electric System is constantly threatened by meteorological phenomena, so it is not exempt from the preparation of mentioned plans and it has a procedure in case of collapses of such magnitude. This paper describes the procedure's updating process for total collapses, introducing new strategies to follow for its realization. The restoration's stages after the collapse are briefly detailed. Then, it is proposed to use the strategies of "all open" and restoration in parallel. For their selection, the advantages and disadvantages of these strategies will be taken into account according to the consulted bibliography. In addition, it is proposed how the islands should be formed for the restoration.

Key words: Restoration, collapse, National Electric System (NES), Dispatch Center, blackouts.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de potencia son diseñados y operados bajo estándares de confiabilidad impuestos por normas adoptadas para los mismos, sin embargo, construir y operar un sistema totalmente confiable no es económicamente viable, por ello ante la ocurrencia de eventos indeseables de gran magnitud sobre tales sistemas pueden originarse caídas parciales o totales de los mismos, tal como se ha experimentado en años recientes en diferentes partes del mundo, [1]. Las fallas eléctricas (también conocidas como interrupciones en cascada o "blackouts") causan grandes pérdidas financieras y traen desabastecimiento de electricidad a los usuarios de las redes eléctricas. Los "blackouts" son eventos costosos que amenazan la integridad de los sistemas de energía eléctrica en todo el mundo, por lo tanto, las vulnerabilidades de tales instalaciones deben minimizarse para hacer frente a varias fuentes de interrupción en los sistemas de energía eléctrica, [2].

Cómo citar este artículo:

Samuel Bory Constantin y Manuel Barroso Baeza. Apuntes sobre la restauración del Sistema Eléctrico Nacional ante colapso total y la actualización del procedimiento. 2022. 43(3), septiembre/diciembre. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

El proceso del “blackout”, comienza, generalmente como un fallo local en la red eléctrica, convirtiéndose en un gran apagón debido a la sucesión de raros y diversos eventos. Provoca desbalance entre la generación y la demanda, sobrecargas en las líneas de transmisión y comportamiento asíncrono de los generadores. Los apagones se consideran eventos de alto impacto y baja probabilidad, [3]. El impacto del tiempo de duración del colapso sobre el público, la economía y el propio sistema de potencia obliga a elevar cada vez más la efectividad del proceso de restauración, medida, fundamentalmente, por el tiempo en que permanece el sistema colapsado. Un plan de restauración efectivo reduce el impacto del colapso sobre el público, la economía y reduce la probabilidad de daños al equipamiento, [4, 5]. La identificación y localización del disturbio que originó el colapso es esencial para los operadores en lo relativo al restablecimiento de un sistema de potencia. Luego de un gran disturbio surgen un gran número de alarmas que son reportadas por el SCADA. La existencia de un sistema de comunicaciones con suficiente disponibilidad es vital en la determinación de la extensión del colapso y del estado de las instalaciones de generación y transmisión del sistema.

Con la aparición de sistemas WAMS (“Wide Area Measurement Systems”) para el monitoreo de los Sistemas de Potencia y tecnologías de punta como GPS (Geo Posicionadores Satelitales), la recolección sincronizada de datos, comunicaciones electrónicas de alta velocidad, entre otras aplicaciones, se abre un camino para mejorar el análisis de la conducta dinámica del sistema en tiempo real y por consiguiente en la localización e identificación de disturbios. La literatura científica, basada en los adelantos antes mencionados, propone métodos que analizan las características de diferentes tipos de disturbios y plantean algoritmos de identificación y localización, [6]. El restablecimiento del servicio, una vez ocurridos tales eventos, constituye una tarea muy compleja cuyo objetivo fundamental es la minimización del tiempo que se emplea para ello y de ahí la importancia que se le concede a la preparación previa de la misma. La complejidad viene dada por diversos factores, entre los cuales pueden mencionarse el hecho de que existen equipos, que pueden ponerse nuevamente en servicio en un tiempo breve una vez desenergizados, si se excede ese tiempo habrá que esperar un tiempo mucho mayor para ponerlos en servicio nuevamente, tal es el caso de las unidades térmicas; en tanto otros se vuelven inoperativos unas horas después de haber sido desenergizados, por ejemplo: los interruptores de aire comprimido, el servicio de DC en las subestaciones, etc.

Por otra parte, habrá que tener en cuenta una serie de consideraciones muy especiales del proceso de restauración para llegar a un final feliz, pues, especialmente, el sistema que se restablece es totalmente diferente a aquel que los despachadores operan habitualmente, por ello la necesidad de elaborar, mediante la realización de estudios fuera de línea, procedimientos para el restablecimiento de los sistemas una vez ocurridas las caídas parciales o totales del servicio. En Cuba, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) cuenta con una red fundamental de transmisión conformada por líneas aéreas. La red fundamental está compuesta por líneas a 220 kV que enlazan el oriente con el occidente, mayormente en dobles circuitos. Esta configuración, unida a que Cuba se encuentra situada en el corredor de los ciclones tropicales, y en un área de un número elevado de tormentas de rayos al año, hace al SEN vulnerable a disturbios provocados por eventos meteorológicos. Por otra parte, la configuración longitudinal del sistema, acorde a las características geográficas de la isla, imposibilita su robustez y por consecuencia lo hace muy vulnerable a la pérdida de su estabilidad ante contingencias que provoquen múltiples salidas, con lo cual puede colapsarse.

Históricamente Cuba ha sido azotada por eventos meteorológicos: tormentas locales severas, tormentas tropicales y huracanes o ciclones. Las tormentas locales severas, al ocurrir con más frecuencia en las cercanías de las líneas de distribución y subtransmisión, no provocan colapsos de tensión, ya que el área de acción de las mismas no incide en muchos elementos importantes de la red. En el caso de los ciclones tropicales, el área de acción abarca una mayor cantidad de elementos de generación y de la red de transmisión. En dependencia de la velocidad de los vientos y de la trayectoria trazada en el desplazamiento, será el grado y magnitud de los destrozos ocasionados en las áreas afectadas, así como las consecuencias para el Sistema Eléctrico. Con frecuencia los huracanes han provocado caídas parciales en las zonas oriental y occidental en dependencia de las condiciones de estabilidad en cada zona, sus trayectorias y los puntos de entrada y salida del territorio nacional.

Debido a la forma de la isla de Cuba alargada y estrecha, y por consiguiente la configuración del SEN, unido a la forma en que pasan los huracanes por el territorio nacional, son más frecuentes los colapsos parciales. Las restauraciones que se han llevado a cabo en estos casos han sido secuenciales, conformando microsistemas con la generación distribuida, siempre que ha sido posible, hasta que los trabajos realizados en las líneas de transmisión han permitido enlazar las diferentes zonas en las que se ha dividido el SEN. En septiembre de 2017, con el paso del Huracán Irma, ocurrió el primer colapso total del sistema desde su interconexión como Sistema Nacional. Esta caída total no fue de golpe; sino como es característico durante el paso de estos eventos meteorológicos. El evento meteorológico fue provocando colapsos parciales a medida que avanzaba de oriente a occidente por el norte del archipiélago. La última zona con servicio colapsa luego de la salida de la central termoeléctrica Antonio Guiteras, la cual aporta mayor inercia al sistema, y la central Ernesto Guevara en Santa Cruz del Norte, encargada de la regulación de la frecuencia.

Debido a la configuración longitudinal del SEN, resulta imposible garantizar su operación segura ante contingencias del tipo N-2 o más graves, como las provocadas por los eventos meteorológicos que azotan nuestro país. Estos eventos provocan colapsos parciales en su mayoría, pero como ya se argumentó anteriormente, no es posible descartar la posibilidad de un colapso total. Prepararse para tal situación es el objetivo de los planes de restauración que se desarrollan en los despachos de carga, y Cuba no está exenta de ello. En la primera sección de este trabajo se presentan las estrategias de restauración y manipulación adoptadas para la actualización del procedimiento ante caída total del SEN. Se explica brevemente en qué consisten cada una de ellas y se exponen las ventajas y desventajas fundamentales de su adopción. A continuación, se enumeran las etapas con las que cuenta el procedimiento para la restauración del SEN. Se describe cómo debe ser la determinación del estado del sistema. Se plantean las acciones necesarias a realizar para la preparación de las redes y de la generación. Se propone que se defina el estado al cual pretende llegarse luego de la restauración, así como la adecuación del plan propuesto a las condiciones en las que quedó el sistema luego del colapso. En la última etapa se implementa el plan de restauración, se muestra una tabla en la que se conforman las islas propuestas y se mencionan las principales premisas que deben tener en cuenta los despachadores durante la restauración. Por último, se tratan una serie de pautas a seguir de orden logístico y de capacitación del personal para un mejor desempeño durante la restauración del SEN.

DISEÑO Y ACTUALIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE RESTAURACIÓN

La restauración de un sistema de potencia después de un colapso, es una tarea compleja que requiere de una coordinación efectiva de toma de decisiones, ante configuraciones de la red y condiciones de operación no comunes, [7]. Cada disturbio es único en dependencia de las condiciones de operación en las que se suscita, siendo imposible predecir con exactitud la respuesta del sistema. Debido a ello, tampoco es posible diseñar un plan de restauración para cada contingencia que provoque un colapso del sistema, por lo cual se elabora un plan general que debe ser adaptable a cada situación. Este plan debe servir como guía para lograr la pronta restitución del SEN en caso de colapso del mismo.

Estrategias

Para la conformación del plan o Procedimiento de Restauración del SEN ante colapso total, se han adoptado algunos referentes metodológicos reportados en la literatura internacional. Seguidamente se hace referencia a cada uno de ellos, y se valora su aplicabilidad y adecuación al proceso de restauración del SEN.

- Estrategia “Restauración en Paralelo” mediante la formación de islas o microsistemas (“Build-Up” como también se conoce en la literatura)

Esta estrategia es la más utilizada internacionalmente, especialmente cuando el sistema ha sufrido un colapso total y es imposible recibir asistencia desde sistemas vecinos. Esta táctica consiste en la selección de áreas, dentro del sistema de potencia, que contengan generación con arranque autónomo, las cuales van a ser restauradas individualmente para luego ser sincronizadas con las áreas eléctricas adyacentes.

A esta estrategia se le realizaron actualizaciones debido a la cantidad de emplazamientos de generación distribuida, que consumen Diesel y Fuel Oil, que fueron construidos en las inmediaciones de las centrales termoelectricas y servirán como unidades de arranque en negro, suministrando la energía necesaria a los servicios auxiliares de las unidades que estaban disponibles o sincronizadas antes del colapso.

Ventajas de la estrategia “Restauración en Paralelo”:

- Se reduce considerablemente el tiempo de la restauración.
- Se reducen los efectos de sobretensiones, al no existir la necesidad de conectar líneas de alta tensión en momentos en que el sistema no tiene la capacidad de consumir altas magnitudes de potencia reactiva.

Desventaja:

- Se necesita más personal al tener que destinar un equipo u operador para cada isla, [7, 8].
- Estrategia de manipulación “Todo abierto”

Se ha adoptado igualmente la estrategia de “Todo Abierto” una vez confirmado el colapso. Ello posibilitará la restauración de forma más segura del sistema. Esta estrategia consiste en la instrucción que tienen los operadores de abrir todos los interruptores de las subestaciones, luego de que las mismas se queden sin fuentes de alimentación. Esta estrategia es útil adoptarla cuando no se cuenta, debido a la modernización de las subestaciones, con interruptores en los que el medio de extinción del arco es con aire comprimido.

La apertura de los interruptores ante la ausencia de tensión simplifica el proceso de restauración, dejando el esquema preparado para la reconexión de los circuitos y los elementos sólo cuando sea necesario.

Ventajas de la estrategia de “Todo Abierto”:

- Hace mucho más clara la configuración del sistema. De este modo, las acciones pueden tomarse en forma directa operando únicamente los equipos necesarios para restaurar el sistema.
- Disminuye la posibilidad de que vuelva a colapsarse el sistema debido a la reconexión de la carga, debido a lo cual se evitan desviaciones considerables de la tensión y la frecuencia.

Desventajas:

- El tiempo de restauración aumenta al estar todos los disyuntores abiertos.
- Por esta misma razón aumenta la carga al sistema de CD de los sistemas de control
- Algunos desconectivos permanecerán abiertos durante un periodo grande de tiempo

Aunque se hayan escogido estas estrategias, no se descarta que, ante la imposibilidad de comenzar arranque en negro en una de las islas previstas, se llegue a estas de forma secuencial desde las islas vecinas. Gracias a la adopción de las estrategias citadas, el plan es flexible en su adaptación, pues no depende en gran medida de la disponibilidad de uno o varios elementos, especialmente, de instalaciones de transmisión.

SOBRE LAS ETAPAS DE LA RESTAURACIÓN DEL SEN

El colapso total del SEN será confirmado mediante la verificación de la ausencia de tensión en todas sus barras o en un alto por ciento de las mismas, motivado por la salida de servicio de todas o la gran mayoría de sus unidades generadoras. Una vez confirmado el colapso se procederá con las acciones que a continuación se detallan:

1. Determinación del estado del sistema

La determinación del estado del sistema será el punto de partida para el diseño de un plan de restauración, tomando como base las pautas que aparecen en el procedimiento. Para poder establecer un adecuado plan de restauración, es necesario determinar la extensión del colapso y el estado, en cuanto a disponibilidad para su reutilización, de los distintos componentes del sistema. Una aproximación común para simplificar esta tarea es dividir el proceso de restablecimiento por etapas: preparación del parque de generación, restablecimiento de la red de transmisión y atención de la demanda. El hilo conductor es la disponibilidad de generación en cada etapa del restablecimiento, de tal manera que se pueda ir restableciendo la demanda desatendida. De esta manera, con una capacidad de generación disponible es posible atender la demanda del SEP y mantener en todo momento el balance generación-demanda necesario para estabilizar el sistema de energía y devolverlo a su condición normal, [1].

En el procedimiento se plantea que la determinación del estado del SEN se deberá realizar mediante el método de encuesta a cada objetivo. Los despachadores son los encargados de encuestar y dar a conocer al Despacho Nacional la situación de cada objetivo, disponibilidad de sus elementos para ser usados en la restauración, así como los posibles elementos fallados y las señalizaciones de las protecciones que hayan actuado. Nunca en sentido contrario para evitar que colapsen los medios de comunicación. En el caso de colapso por eventos meteorológicos, las líneas falladas solo serán probadas y reconectadas al SEN luego de ser emitidas las certificaciones de aptas para el uso por las direcciones técnicas de las empresas responsables correspondientes. En menos de una hora se debe tener determinado el estado del sistema y haber trazado el plan de restauración.

2. Preparación de las plantas y de las redes de transmisión

En este apartado del procedimiento se plantea que es necesario restablecer con prontitud los servicios auxiliares de las centrales disponibles. En el proceso de actualización se propone la utilización de los generadores de emergencia para el arranque en negro donde sea posible, sumado a las centrales de generación distribuida emplazadas dentro del perímetro de las termoeléctricas, o las más cercanas en dependencia de sus localizaciones respectivas. Los emplazamientos y las unidades con arranque en negro seleccionadas, deben tener la capacidad suficiente, para suplir los niveles anticipados de carga y los requerimientos de regulación de tensión necesarios, para servir la energía requerida por otra unidad en su arranque. Las rutas de enlace se deben realizar a la menor tensión permisible para evitar sobretensiones y con el menor número de manipulaciones posible.

En caso de que en alguna de las centrales no se pueda proceder con el arranque en negro, se llegará a estas desde las islas más cercanas de forma secuencial.

3. Definir el estado del sistema al cual pretende llegarse después de la restauración

Esta etapa es la siguiente luego de tener determinado el estado del sistema post colapso. Se propone proceder de inmediato a la planificación del sistema al cual pretende llegarse luego de la restauración, teniendo en cuenta la generación, los elementos de las redes que se encuentran disponibles y el nivel de demanda que se pretende servir. La definición del estado del sistema al cual pretende llegarse deberá ser colegiada por el grupo que se conforme con el fin de restaurar el sistema

4. Adecuar el plan de restauración acorde a la situación del sistema

De acuerdo a lo ya referido, se ha adoptado la estrategia de construcción de islas. Cada isla tendrá como núcleo una unidad o emplazamiento de generación distribuida con arranque en negro y una unidad térmica disponible como composición mínima. Además, se podrán conectar otras unidades disponibles si son necesarias y no se pone en riesgo la estabilidad de la isla. El Despacho Nacional luego debe informar a los Despachos Provinciales y a las Centrales Térmicas, las unidades y emplazamientos que se utilizarán en la conformación de las islas, así como las cargas prioritarias y de control que serán reconectadas.

5. Implementación del plan restauración del sistema

En este apartado se definen los grupos de trabajo que se harán responsables de cada isla que se conforme, cuáles islas atiende el Despacho Nacional y cuáles los Despachos Provinciales. A continuación, se muestran, en la tabla 1, las islas propuestas.

Tabla 1. Islas propuestas para la restauración del SEN en caso de colapso total

Isla	Arranque en negro	Térmicas	Baterías Fuel	Baterías Diésel
1	Motores Fuel de Mariel	Unidad disponible en Mariel	Fuel de San Agustín	Batería de Artemisa
2	Motores Fuel de Apolo	OP7	Fuel de Regla	
3	Unidades de Jaruco	Unidad de CTE E. Guevara (Santa Cruz)		
4	Unidades de Energías Varadero y/o Batería diésel José Martí	CTE A. Guiteras	Fuel José Martí	Batería de José Martí Diésel
5	Batería diésel de Refinería Cienfuegos	Unidad en CTE CMC		Batería Junco Sur
6	Fuel de Felton	Unidad en CTE LRP		
7	Fuel de DOF	Unidad de DO.		
8	Fuel de Renté	Unidad en CTE. A. Maceo		
9	Motores del Fuel de Moa			Batería de Baracoa

Fuente: Elaboración propia

Para esta etapa de la restauración, también se enumeran en el procedimiento una serie de premisas que deben tener en cuenta los despachadores para la conformación de las islas. Seguidamente se muestran algunas de las más importantes:

- Siempre que sea posible, la unidad térmica que se seleccione para su reconexión, con el fin de conformar la isla, deberá poseer capacidad de regulación primaria de la frecuencia o al menos alguna de las baterías de fuel o diésel de la isla.
- La energización de los equipos auxiliares de la unidad térmica que se desea arrancar, deberá ser de forma secuencial, es decir, arrancar un equipo a la vez.
- En el caso de los grupos fuel o diésel empleados para energizar los servicios auxiliares, deberán operarse de modo isocrónico, posicionando los controladores de los mismos en el modo correspondiente.
- Durante el arranque en negro, como medida para darle más estabilidad al microsistema inicial, el despachador podrá hacer uso de cargas de control que permitan llevar los motores a su potencia mínima. Estos deben ser circuitos apagables y que no tengan conectada la DAF ni DAV, o con estas automáticas bloqueadas durante el proceso de restauración hasta que la isla esté estable o sincronizada con otras islas.

- Una vez arrancada y sincronizada la unidad térmica núcleo de la isla, se procederá de inmediato a conectarle pequeños bloques de carga, teniendo en cuenta las siguientes premisas: nunca superior al 5% de la capacidad de generación en línea; considerando además la rampa de toma de carga de la unidad en cuestión; teniendo en cuenta que el propósito en este estado no es incorporar la mayor cantidad de carga sino restaurar el sistema; tomando solo la carga necesaria como elemento estabilizador de la isla que se está conformando. Cada Despacho Provincial tiene una relación de los circuitos de importancia estratégica que deben ser los de prioridad a cerrar a partir de este punto.
- El despachador deberá tener en cuenta el efecto de la carga fría, el cual puede hacer que la misma en el instante de conexión llegue a 1.5 veces su valor de estado estable. Pero en la realidad lo que ocurre es que hay una demora para lograr alcanzar ese valor, [9, 10].
- El despachador deberá energizar la isla hasta las fronteras enmarcadas en este procedimiento, dejándolas listas para sincronizarlas de inmediato con sus islas vecinas. Esta sincronización deberá realizarse siempre que sea posible a través de las redes a 220 kV.

Cuando se haya restaurado el sistema con la generación necesaria el despachador procederá a restaurar toda la carga del mismo o la que se haya planificado restaurar.

Sobre las comunicaciones

En este apartado se trazan las pautas a seguir para evitar el colapso de las comunicaciones y evitar la avalancha de llamadas telefónicas al DNC. Se plantea la emisión de una nota informativa con el fin de informar a los medios y evitar la conmoción social.

Sobre las fuentes de alimentación de respaldo

Cada objetivo deberá poseer fuentes de alimentación de respaldo, en especial los despachos los cuales deberán tener fuentes de respaldo con autonomía de más de 24 horas. Los objetivos deben informar la disponibilidad de las fuentes de alimentación de respaldo y el tiempo de autonomía que poseen.

Sobre el entrenamiento de los despachadores

Los despachadores del SEN deberán entrenarse y evaluarse periódicamente en la aplicación práctica de este procedimiento, empleándose para ello el Simulador con que cuenta el DNC. Para la conformación de las islas se utilizaron las herramientas informáticas con las que cuenta el Despacho Nacional. Con la herramienta Flujo de Carga (Decoup) se corrieron los flujos de carga para analizar el comportamiento de las tensiones y se simuló corridas de estabilidad de frecuencia con el simulador (SimPow) para el entrenamiento de los operadores con que cuenta actualmente el DNC, obteniéndose resultados satisfactorios. Se incluyó además una nueva isla en los estudios por la entrada de la generación móvil en las patanas ubicadas en la termoeléctrica del Mariel.

CONCLUSIONES

1. El Sistema Eléctrico Nacional, debido a la ubicación geográfica del archipiélago cubano, está expuesto a eventos meteorológicos que pudieran provocar colapsos parciales o totales.
2. Atendiendo a que en el mundo los SEP preparan planes de restablecimiento ante determinadas contingencias, el Despacho Nacional de Carga como operador del SEN, ha obtenido un procedimiento para la restauración del SEN ante caídas totales, cuya génesis fue aplicada en el restablecimiento del mismo en el colapso total sufrido en el año 2017 producto del paso del huracán Irma. Dicho plan necesitaba ser actualizado por la entrada de nuevas tecnologías de generación y control de tensiones.
3. Con la actualización del Procedimiento de Restauración del Sistema Eléctrico Nacional después de un colapso total, los operadores cuentan con un plan actualizado, el cual ahorra tiempo de preparación en caso de ocurrir una contingencia, o ante el paso de los organismos meteorológicos que afectan el país durante la temporada ciclónica.

RECOMENDACIONES

- Actualizar los microsistemas con la entrada de las patanas de Regla y Tallapiedra
- Capacitar al personal de los despachos provinciales para los procesos de restauración luego de un colapso y en el arranque en negro de las centrales de su jurisdicción operacional, con el fin de garantizar una correcta supervisión y operación de los microsistemas que se van creando.

REFERENCIAS

- [1]. Pardo Ricardo Andrés y Jesús María López-Lezama. ``Revisión de metodologías de arranque óptimo de generación para el restablecimiento de sistemas de potencia considerando fuentes de energía convencionales y renovables no convencionales``. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 2020, vol. 19, n. 36. [Consultado 23 de enero de 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v19n36/2248-4094-rium-19-36-187.pdf>
- [2]. Acosta Rivera, F. L., *et al.* ``Análisis del sistema de arranque en negro en la República Dominicana``. Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones, 2019, vol. 2, n. 2, p. 29-49. [Consultado 4 de enero de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.22206/cyap.2019.v2i2.pp29-49>
- [3]. Moreno, R., Ríos, M. A. y Torres, A. ``Security Schemes of Power Systems against Blackouts`` Bogota, Colombia : Universidad de los Andes, 2010, [Consultado 2 de enero de 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/224172397_Security_schemes_of_power_systems_against_blackouts
- [4]. PES Task Force Report. ``Power Systems Restoration the Second Task Force Report``. IEEE Trans. V. PWRS-3 . n.1, 1988, p. 118-126. [Consultado 2 de enero de 2022]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5273429>
- [5]. M. M. Adibi: Discussion of D.S. Kirschen, T.L. Volkman. ``Restoration of Power System with Expert System``. IEEE Trans. Vol. 6, n. 2. 1991, p 565. [Consultado 5 de enero de 2022]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/76698>
- [6]. Tianshu, Bi, *et al.* ``Novel Method for Disturbance Identification in Power Systems``. International Symposium on Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, June 2006. [Consultado 23 de enero de 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/224651854_Novel_method_for_disturbance_identification_in_power_systems
- [7]. Adibi M. M. and L. H. Fink. ``Power Systems Restoration Planning``. IEEE Trans. On Power Systems. Feb. 1993. vol. 9, n.1. [Consultado 3 de enero de 2022]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/317561/authors#authors>
- [8]. Fink L.H., Kan-Lee Liu and Chen-Ching Liu. ``From Generic Restoration to Specific Restoration Strategies``. IEEE Trans. On Power Systems. vol. 10, n. 2, May 1995. [Consultado 23 de enero de 2022]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/387912>
- [9]. Adibi, M. M. ``Power System Restoration Methodologies and implementation``. IEEE Press. New York, Estados Unidos, 2000. [Consultado 23 de enero de 2022]. Disponible en: https://books.google.com/cu/books?hl=es&lr=&id=Is0pEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Power+System+Restoration+Methodologies+and+implementation&ots=-6wegI3xU8&sig=Lz1EtU6bKIIQYXJ6wHXODsLVFgw&redir_esc=y#v=onepage&q=Power%20System%20Restoration%20Methodologies%20and%20implementation&f=false
- [10]. North American Electric Reliability Council. ``Electric System Restoration Reference Document``. Princeton Forrestal Village, New Jersey, April 1993. [Consultado 23 de enero de 2022]. Disponible en: <https://support.sosintl.com/AvatarHandler.ashx?radfile=%5CDepartments%5C1%5CStudy%20Guides%5CNERC%5CESRRef11.pdf>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Samuel Bory Constantin: <https://orcid.org/0000-0002-2389-2780>

Diseño de la investigación, recolección de datos. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Manuel Barroso Baeza: <https://orcid.org/0000-0001-6474-4349>

Recolección de datos. Diseño de la investigación. Análisis de los resultados, en la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.