

Design of a Monitored Automatic Transfer System to Improve Electrical Continuity in Healthcare Facilities

Diego Alejandro Rodriguez Rodriguez¹; Brandon Jair Cabanillas Noariega²; Carlos Alexis Alvarado-Silva³

^{1,2,3}Grupo de Investigación “Fabricación Digital e Innovación Educativa”, Universidad César Vallejo, Perú,

dirodriguezr01@ucvvirtual.edu.pe, brcabanillasn@ucvvirtual.edu.pe, calvarados@ucv.edu.pe

Abstract– *This paper develops the design of a monitored load Automatic Transfer Switch (ATS) to ensure electrical continuity in the HBT, achieving the overall objective in an innovative way and applying SDG 9. The load study determined a projected demand of 1,412.57 kW, which allowed for the appropriate selection of a 1600 kVA transformer and the configuration of two generator sets: the existing 420 kW set and a second 1380 kW set. This combination ensured total coverage of the demand with a reliability margin of over 20%. Critical loads were classified, fulfilling one of our research objectives. Critical areas were prioritized because they required immediate autonomy, for which an 80 kVA UPS system was implemented. The selection and sizing of the TTA, UPS, transformers, generators, and control devices was completed based on electrical calculations. A 10-second switching logic was defined, complying with NFPA 110 regulations and ensuring safe and reliable operation. Finally, operational validation demonstrated that the designed solution increases the reliability of the hospital's power supply by 12%, fulfilling the fourth specific objective.*

Keywords– *Automatic Transfer Switch; Electrical Continuity; Emergency Power System; Hospital Critical Loads; Power Supply Reliability.*

Diseño de un sistema de transferencia automática monitoreada para mejorar la continuidad eléctrica en establecimientos de salud

Diego Alejandro Rodriguez Rodriguez¹^{1,2,3}; Brandon Jair Cabanillas Noariega²²; Carlos Alexis Alvarado-Silva³³
^{1,2,3}Grupo de Investigación “Fabricación Digital e Innovación Educativa”, Universidad César Vallejo, Perú,
dirodriguezr01@ucvvirtual.edu.pe, brcabanillasn@ucvvirtual.edu.pe, calvarados@ucv.edu.pe

Resumen – En el presente trabajo se desarrolla el diseño de un Sistema de Transferencia Automática (TTA) de carga monitoreada para garantizar la continuidad eléctrica en el HBT, logrando cumplir el objetivo general planteado de manera no aplicada y aplicando la ODS 9. El estudio de carga determinó una demanda proyectada de 1,412.57 kW, lo cual permitió seleccionar adecuadamente un transformador de 1600 kVA y configurar dos grupos electrógenos: el existente de 420 kW y un segundo de 1380 kW. Esta combinación aseguró la cobertura total de la demanda con un margen de confiabilidad superior al 20%. Se realizó la clasificación de cargas críticas, cumpliendo uno de nuestros objetivos de investigación. Las áreas críticas fueron priorizadas por requerir autonomía inmediata, para lo cual se implementó un sistema UPS de 80kVA. Se cumplió con la selección y dimensionamiento del TTA, UPS, transformadores, generadores y dispositivos de control con base en los cálculos eléctricos. Se definió una lógica de conmutación de 10 segundos, cumpliendo la normativa NFPA 110 y garantizando una operación segura y confiable. Finalmente, la validación operativa demostró que la solución diseñada incrementa en un 12% la confiabilidad del suministro eléctrico del hospital, cumpliendo el cuarto objetivo específico.

Palabras clave -- Sistema de transferencia automática; continuidad eléctrica; sistema de energía de emergencia; cargas críticas hospitalarias; confiabilidad del suministro eléctrico.

I. INTRODUCCIÓN

La continuidad del suministro eléctrico en establecimientos hospitalarios es un requisito esencial debido a la dependencia de equipos médicos críticos para la atención de pacientes. Una interrupción del servicio eléctrico puede generar riesgos significativos en áreas como unidades de cuidados intensivos, salas de emergencia y quirófanos [1], [2].

Diversos estándares internacionales establecen que los hospitales deben contar con sistemas de respaldo capaces de restituir el suministro eléctrico en tiempos mínimos, garantizando condiciones seguras de operación [3], [4]. En el contexto peruano, muchos hospitales presentan sistemas de emergencia con esquemas de transferencia limitados o manuales, lo que incrementa los tiempos de interrupción eléctrica [5].

El Hospital de Trujillo dispone de grupos electrógenos como fuente de respaldo; sin embargo, la falta de un sistema de transferencia automática monitoreado representa una vulnerabilidad en términos de continuidad del servicio eléctrico. Frente a esta problemática, los sistemas de

transferencia automática permiten una conmutación rápida y segura entre fuentes de energía, reduciendo el impacto de las fallas del suministro normal [6].

Para clasificar la confiabilidad de las instalaciones, se utilizan tres conceptos fundamentales [7]: fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. La fiabilidad hace referencia a la probabilidad de que un sistema o equipo funcione sin fallos durante un período de tiempo específico, lo que permite evaluar su calidad a lo largo del tiempo. Una forma de cuantificar, según [7], es mediante el tiempo medio entre fallos (MTBF, por sus siglas en inglés). La mantenibilidad, por su parte, es la probabilidad de que un equipo o sistema pueda ser restaurado a su funcionamiento normal tras una avería, una reparación programada o una revisión, en un plazo aceptable. Esto refleja la calidad del servicio de mantenimiento, y se mide, conforme a [7], mediante el tiempo medio de reparación (MTTR, en inglés).

La clase del EPSS indica el tiempo máximo que puede funcionar el EPS sin necesidad de recargar combustible. Por ejemplo, un generador clase 10 puede operar durante 10 horas sin recarga. El tipo define el tiempo máximo que la carga crítica puede estar sin energía; por ejemplo, un tipo 10 significa que la carga puede estar sin suministro eléctrico por un máximo de 10 segundos. También existen tipos especiales como el tipo U para UPS y tipo M para transferencias manuales. Existen sistemas que almacenan energía, como los EPSSS, regulados por normas como [8], que establecen cómo deben instalarse, mantenerse, operarse y probarse. Un ejemplo de estos son las UPS, que pueden ser de tipo Online o Interactivas, cuyos diagramas de bloques aparecen en [9]. Las UPS están compuestas por baterías, inversores, instrumentación, protecciones y sistemas de transferencia. El EPS está formado por una fuente primaria rotativa [10] y un alternador.

También en [11] nos declara que la alimentación transmitida de la fuente de respaldo y el sistema UPS brindan una disponibilidad y aumenta la confiabilidad global del sistema del hospital, en caso de la falla en la red comercial, el sistema de UPS asume la carga demanda por las zonas cruciales del hospital sin tiempo de demora, mientras que la fuente de emergencia enciende para que pueda asumir la carga máxima del hospital.

El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de transferencia automática monitoreado que incremente la disponibilidad del suministro eléctrico en un Hospital, asegurando la alimentación continua de las cargas críticas.

Esta propuesta se justifica económicamente porque evita pérdidas y daños a los equipos por fallas eléctricas; ambientalmente, porque mediante un sistema de monitoreo en tiempo real se reduce el uso de papel y, al utilizar GLP, disminuyen las emisiones contaminantes; socialmente, porque mejora la continuidad del servicio hospitalario; y técnicamente, porque permite el accionamiento automático del sistema de transferencia ante cortes eléctricos y su activación remota desde la oficina de mantenimiento para pruebas periódicas, asegurando así la confiabilidad operativa del sistema.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema eléctrico del Hospital está conformado por una fuente normal proveniente de la red pública y un sistema de respaldo destinado a garantizar la continuidad del suministro eléctrico ante fallas del servicio principal, conforme a lo establecido en normativas para instalaciones hospitalarias [3], [12].

El sistema de emergencia propuesto integra dos grupos electrógenos operando a través de un sistema de transferencia automática (ATS), así como un sistema UPS destinado a la alimentación continua de equipos médicos sensibles. El ATS supervisa permanentemente las variables eléctricas de la fuente normal, tales como tensión y frecuencia, permitiendo la conmutación automática hacia la fuente de emergencia cuando se detectan condiciones anómalas.

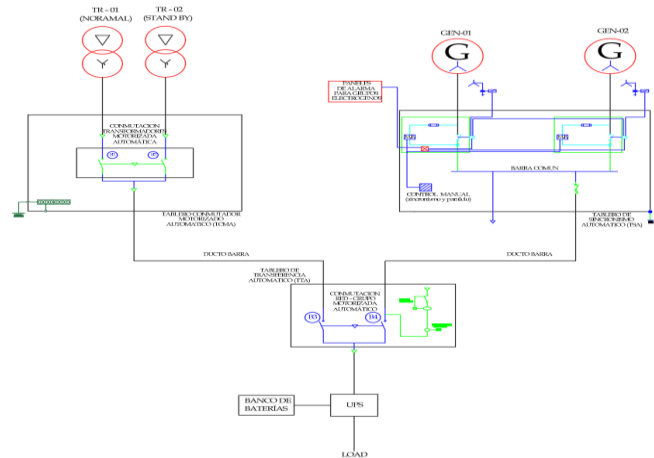


Fig. 1. Esquema general del sistema eléctrico del hospital (red normal, UPS, ATS y cargas críticas).

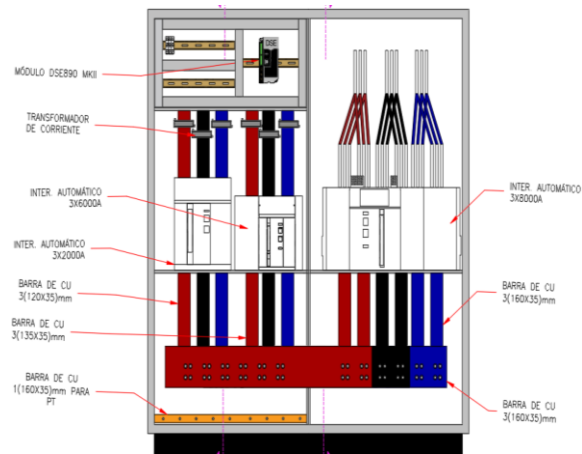


Fig. 2. Configuración de los grupos electrógenos del sistema de emergencia.

El sistema UPS actúa como respaldo inmediato durante el proceso de transferencia, evitando interrupciones en equipos críticos hasta que los grupos electrógenos alcancen condiciones estables de operación.

Ubicación proyectada del proyecto a implementar.

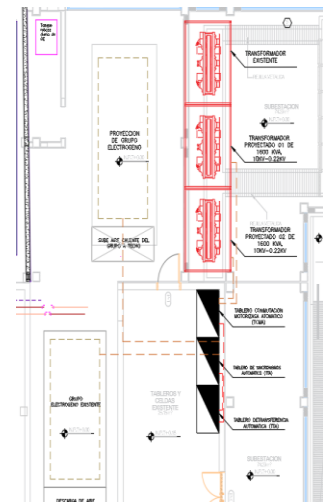


Fig. 3. Plano de la distribución de los componentes.

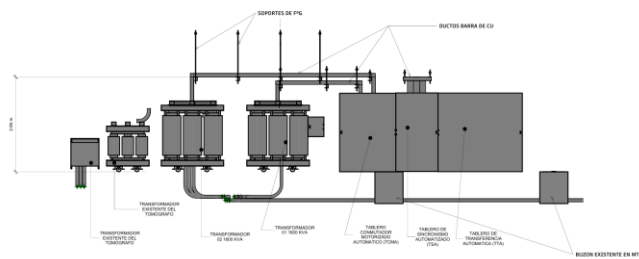


Fig. 4. Vista frontal distribución de los componentes.

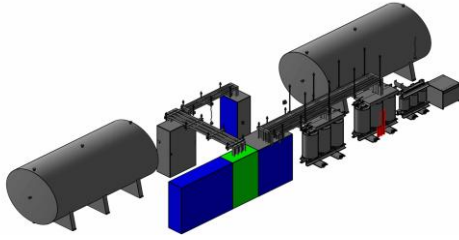


Fig. 5. Vista isométrica de la distribución de los componentes.

III. METODOLOGÍA

Este proyecto será no experimental, la cual se limitará al diseño técnico del sistema de respaldo eléctrico, y detallando sus componentes principales, el circuito de transferencia y la automatización correspondiente, así mismo, su enfoque será de tipo aplicado, que busca resolver un problema técnico real asociado a las constantes interrupciones del servicio eléctrico, la cual se expresara de manera cuantitativa, por lo que el manejo de parámetros y unidades en el proyecto serán fundamentales, de tal manera, el alcance de la investigación va a ser descriptiva ya que se va a realizar detalladamente la secuencia de cómo se desarrollará.

En primer lugar, se realizó la identificación de las cargas críticas del hospital y la evaluación de la infraestructura eléctrica existente.

La investigación para el diseño de un tablero de transferencia automática en un Hospital de Trujillo, debe apegarse a los principios éticos fundamentales, los cuales, como primer punto tenemos a la responsabilidad social, tiene como fin el bienestar de los pacientes con respecto a un servicio eléctrico ininterrumpido, así mismo, la seguridad y confiabilidad de los sistemas críticos, deben ejecutarse según la normativa del estado peruano y los cuales aseguren el funcionamiento del sistema eléctrico y la seguridad del operario a la hora que este vaya a manipularlo.

Posteriormente, se evaluó la disponibilidad del sistema eléctrico propuesto, considerando el comportamiento de los distintos subsistemas que lo componen. La disponibilidad del sistema se determinó mediante la expresión:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

donde A es la disponibilidad del sistema, MTBF el tiempo medio entre fallas y MTTR el tiempo medio de reparación.

Según registros del personal de mantenimiento del hospital, se estima que el sistema presenta en promedio 1 falla por año, con un tiempo de reparación de aproximadamente 4 horas. Considerando un MTBF:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Numero de fallos}} = \frac{20}{1} \quad (2)$$

$$MTBF = 20$$

Por lo tanto:

$$A = \frac{20}{20 + 4} = 0.83$$

Con esto nos damos cuenta de que el sistema tiene una indisponibilidad del 17% lo cual representa una perdida significativa para la continuidad eléctrica, especialmente en las áreas críticas.

Asimismo, se realizó el dimensionamiento eléctrico del tablero general de emergencia (TCMA), determinando la corriente nominal del sistema mediante:

$$In = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times FP} \quad (4)$$

$$In = \frac{1412.57 \text{ Kw} \times 1000}{\sqrt{3} \times 220 \text{ V} \times 0.9}$$

$$In = 4123.81 \text{ Amp}$$

Este procedimiento permitió validar la selección de conductores, protecciones y equipos asociados al sistema de transferencia automática.

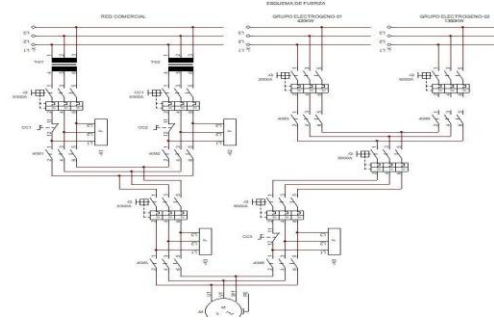


Fig. 6. Diagrama de operación del sistema de transferencia automática.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La evaluación de la disponibilidad del sistema eléctrico evidencia una mejora significativa en la continuidad del suministro eléctrico para las áreas críticas del hospital. La incorporación del sistema ATS y del sistema UPS permite reducir los tiempos de interrupción y mejorar la confiabilidad operativa del sistema.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE TABLEROS PRINCIPALES Y SISTEMA UPS

Elemento	Observaciones
TCMA	Tablero de Conmutación Motorizada Automática
TSA	Tablero de Sincronismo Automática
TTA	Tablero de transferencia automática
Sistema UPS	Respaldo a equipos sensibles

TABLA II
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS

Parámetro	GE 1	GE 2
Potencia nominal (KW)	420	1380
Tensión (V)	220	220
Frecuencia (Hz)	60	60
Corriente nominal (A)	1224.68	4023.95
Factor de potencia	0.9	0.9

Una vez que las baterías alcanzan su nivel de carga total, el microcontrolador interrumpe automáticamente el proceso de carga para evitar sobrecargas y preservar su vida útil.

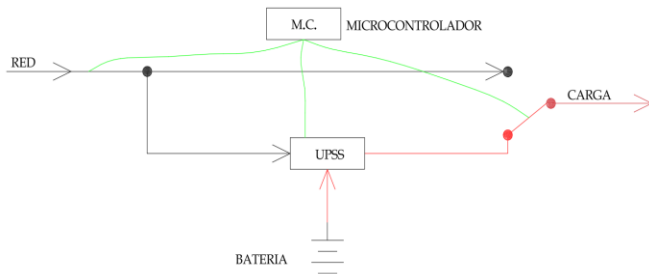


Fig. 7. Falla en la red y activación y alimentando de la carga con los UPS.

Cuando se produce una falla en la red comercial, las baterías asumen el suministro de energía hacia las cargas críticas, garantizando su operación continua hasta que el grupo electrógeno entre en funcionamiento y restablezca la continuidad eléctrica del sistema.

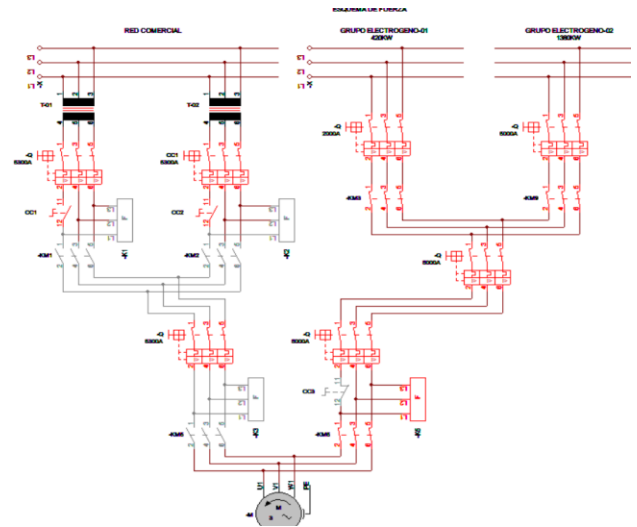


Fig. 8. Activación de los 2 grupos electrógenos en el tablero por falla en la red comercial y el aumento de demanda de un hospital de Trujillo para la continuidad eléctrica.

En el caso de que el hospital requiera una mayor demanda de energía eléctrica, el segundo grupo electrógeno se activará automáticamente antes de que el primer generador alcance su límite de carga nominal.

Este evento iniciará el proceso de sincronismo entre ambos grupos electrógenos en el Tablero de Sincronismo Automático (TSA), permitiendo su operación en paralelo. Durante esta etapa, se emitirá una señal hacia el Tablero de Transferencia Automático (TTA), el cual gestionará la conmutación y distribución equilibrada de la carga entre ambos generadores, asegurando un suministro estable y continuo.

V. DISCUSIÓN

El sistema propuesto presenta ventajas significativas frente a esquemas tradicionales de transferencia manual, principalmente en términos de reducción de tiempos de interrupción y mejora de la disponibilidad del suministro eléctrico.

El monitoreo continuo de los parámetros eléctricos representa otro factor clave para garantizar la estabilidad operativa del sistema. De acuerdo con [4], la incorporación de dispositivos de medición y control en tiempo real permite supervisar variables como voltaje, corriente y frecuencia, facilitando la detección temprana de anomalías y la toma de decisiones oportunas ante condiciones anormales. En entornos hospitalarios, esta capacidad de supervisión no solo mejora la respuesta frente a fallas de suministro, sino que también contribuye a la gestión preventiva del sistema eléctrico, reduciendo la probabilidad de eventos inesperados y mejorando la confiabilidad global del servicio.

Estos eventos, muchas veces impredecibles, pueden provocar cortes prolongados que afectan gravemente la continuidad operativa de los servicios hospitalarios. En este escenario, los sistemas de respaldo no solo actúan como una solución técnica, sino como un componente estratégico para la gestión del riesgo, permitiendo mantener operativos los procesos críticos mientras se restablece la calidad del servicio de la red pública o se gestionan alternativas adicionales de suministro.

Estos resultados son coherentes con estudios previos sobre continuidad eléctrica en instalaciones hospitalarias [2], [6].

Finalmente, la selección del tipo de interruptor de transferencia y del esquema de conmutación influye directamente en la continuidad del suministro eléctrico. Las transferencias abiertas, rápidas o cerradas presentan diferentes ventajas y limitaciones, siendo las transferencias cerradas las que ofrecen mayores beneficios en términos de continuidad operativa, al eliminar completamente la interrupción del suministro. No obstante, su implementación requiere un control preciso del sincronismo entre fuentes, tal como se indica en [16] y [17], lo que refuerza la importancia de un diseño integral y normativamente respaldado del sistema eléctrico hospitalario.

TABLA III
COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE TRANSFERENCIA

Sistema	Tiempo (s)
Transferencia automatico actual	15-20
Sistema automático propuesto	1-5

VI. CONCLUSIONES

El diseño del sistema de transferencia automática de carga (TTA) garantizó la continuidad eléctrica del Hospital, cumpliendo el objetivo general del proyecto. El estudio de cargas determinó una demanda proyectada de 1,412.57 kW, lo que permitió seleccionar adecuadamente transformadores de 1600 kVA y dos grupos electrógenos (420 kW existente y 1380 kW nuevo). La configuración de generación asegura un margen de confiabilidad superior al 20%, garantizando estabilidad del suministro ante fallas de la red comercial. Se realizó una correcta identificación y clasificación de cargas críticas y no críticas, cumpliendo el primer objetivo específico. Áreas críticas como emergencia, centro quirúrgico y UCI requieren continuidad inmediata, por lo que se implementó un UPS de 80 kVA con banco de baterías. El UPS proporciona una autonomía real de 45.6 minutos, considerada adecuada para un hospital de nivel III.

El dimensionamiento del TTA, UPS, transformador, generadores y sistemas de control se basó en cálculos técnicos, cumpliendo el segundo objetivo específico. La lógica de control definió un tiempo de conmutación de 10 segundos, cumpliendo la normativa NFPA 110 y reduciendo riesgos operativos. Ante una falla total de la red, el sistema logra arrancar generadores, estabilizar tensión y frecuencia, sincronizar y transferir la carga de forma efectiva. La continuidad en cargas críticas se mantiene sin interrupciones gracias al UPS, mientras que la indisponibilidad en cargas no críticas se minimiza. La validación operativa evidenció un incremento del 12% en la confiabilidad del suministro eléctrico, cumpliendo el cuarto objetivo específico. La integración de monitoreo, control inteligente y supervisión remota mejora la trazabilidad de eventos, el mantenimiento y la operación del sistema en condiciones adversas.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad César Vallejo por el financiamiento otorgado para la participación y presentación del presente trabajo de investigación. Su apoyo institucional contribuyó significativamente a la difusión académica y científica de los resultados obtenidos.

REFERENCES

- [1] K. 'Ulya, Y. C. Arif, and L. P. S. Raharja, "Monitoring and control design of automatic transfer switch-automatic main failure with human machine interface (HMI)," Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI), vol. 8, no. 3, pp. 475–485, Sep. 2022, doi: 10.26555/jiteki.v8i3.23750. [Online]. Available: [https://eprints.uad.ac.id/39087/1/12%20Monitoring%20and%20Control%20Design%20of%20Automatic%20Transfer%20Switch-Automatic%20Main%20Failure%20with%20Human%20Machine%20Interface%20\(HMI\)_1.pdf](https://eprints.uad.ac.id/39087/1/12%20Monitoring%20and%20Control%20Design%20of%20Automatic%20Transfer%20Switch-Automatic%20Main%20Failure%20with%20Human%20Machine%20Interface%20(HMI)_1.pdf)
- [2] M. Faisal, M. A. Hannan, P. J. Ker, M. S. B. A. Rahman, M. S. Mollik, and M. B. Mansur, "Review of solid state transfer switch on requirements, standards, topologies, control, and switching mechanisms: Issues and challenges," Electronics, vol. 9, no. 9, Art. no. 1396, 2020, doi: 10.3390/electronics9091396. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/9/1396>
- [3] D. Paul, S. Islam, and K. Rahman, "Performance evaluation and operation of automatic load transfer switch," International Journal of Renewable and Sustainable Energy, vol. 3, no. 2, Art. no. 13, 2013. [Online]. Available: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ijrse.20130206.13>
- [4] A. Pinto and J. Torres, "Contributions of Petri Nets to the reliability and availability of an electrical power system in a big European hospital: A case study," WSEAS Transactions on Systems and Control, 2021. [Online]. Available: <https://wseas.com/journals/sac/2021/a045103-965.pdf>
- [5] National Fire Protection Association, NFPA 1600: Standard on Disaster/Emergency Management and Business Continuity/Continuity of Operations Programs, 2016 ed. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association, 2016, ch. 5, art. 5.2.2.1.

- [6] National Fire Protection Association, NFPA 110: Standard for Emergency and Standby Power Systems, 2016 ed. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association, 2016, chs. 4–7.
- [7] F. J. González Fernández, Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, 5.^a ed. Madrid, España: FC Editorial, 2015, ch. 3.
- [8] Y. Hu, B. Banerjee, M. Chandorkar, and D. Divan, “Novel architecture and control for distributed UPS system,” Department of Electrical and Computer Engineering, University of Wisconsin–Madison, Madison, WI, USA, 1994, p. 683.
- [9] K. Varnavskiy, F. Nepsha, Q. Chen, A. Ermakov, and S. Zhironkin, “Reliability assessment of the configuration of dynamic uninterruptible power sources: A case of data centers,” *Energies*, vol. 16, no. 3, Art. no. 1419, 2023, doi: 10.3390/en16031419
- [10] International Electrotechnical Commission, IEC 60947-6-1: Low-voltage Switchgear and Controlgear—Part 6-1: Multiple Function Equipment—Transfer Switching Equipment, ed. 2.1. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2013, ch. 4.
- [11] C. A. Alvarado-Silva, G. C. R. de Oliveira, A. A. R. Gamboa, K. L. Gaytan-Reyna, E. S. Guidi, F. de A. Silva, and V. O. Gamarra-Rosado, “A Simulation Study on Pressure Control in Oil Well Drilling Using Gain-Scheduled PID Controllers,” *Applied Sciences*, vol. 15, no. 5, Art. no. 2748, 2025, doi: 10.3390/app15052748.
- [12] G. Enríquez Harper, El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos. México: Limusa, 2015, ch. 1.
- [13] V. Gamarra-Rosado, G. Fernández, J. Grieco, M. Armada, and N. Aliane, “Automation and cybernetics: Control of a flexible one-link manipulator,” *Kybernetes*, vol. 25, no. 5, pp. 38–47, 1996, doi: 10.1108/03684929610124104.
- [14] P. Reymond and B. Andre, Automatic Transfer System: Generic Book, ed. A01. Schneider Electric, 2016, chs. 3–6, 8, 13.