

**ESTUDIOS SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA LOGRAR  
LA EFICIENCIA EN LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE MEDIA TENSIÓN  
STUDIES ABOUT THE OPTIMIZATION OF THE ADMINISTRATION OF THE MAINTENANCE TO  
ACHIEVE THE EFFICIENCY IN THE ELECTRIC SUBSTATIONS OF HALF TENSION**

Carlos Manuel Ruano González, [cmruanog@gmail.com](mailto:cmruanog@gmail.com), [carlos.ruano@reduc.edu.cu](mailto:carlos.ruano@reduc.edu.cu)

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad Electromecánica, Universidad de Camagüey,  
Camagüey, Cuba

**Resumen**

Con la inclusión de la generación distribuida se ha mejorado la confiabilidad mediante su interconexión al Sistema Electroenergético Nacional, ahora el papel de la subestación en el nuevo contexto es otro porque no solamente sirve para el enlace de varios consumidores, sino que también a través de ella se entregará al sistema, determinada potencia para mejorar la confiabilidad. Actualmente el mantenimiento está caracterizado por la búsqueda continua de tareas que permitan eliminar o minimizar la ocurrencia de fallas y/o disminuir las consecuencias de las mismas. En este trabajo se trata sobre los principales aspectos teóricos del funcionamiento de las subestaciones eléctricas de media tensión de interiores y se analiza el modelo de gestión contextualizado del mantenimiento a las subestaciones eléctricas de media tensión mediante métodos de la inteligencia artificial, y los fundamentos teóricos del modelo de gestión del mantenimiento a las celdas eléctricas de media tensión.

**Palabras clave:** mantenimiento, generación distribuida, optimización, inteligencia artificial

**Abstract**

With the inclusion of the distributed generation she has improved the dependability by means of their interconnection to the System National Electroenergetic, now the paper of the substation in the new context is other because it is not only good for the connection of several consumers, but rather also through her you to surrender to the system, certain power to improve the dependability. At the moment the maintenance this characterized by the continuous search of tasks that they allow to eliminate or to minimize the occurrence of flaws and to diminish the consequences of the same ones. In this work it is on the main theoretical aspects of the operation of the electric substations of half tension of interiors and the pattern of administration contextualized is analyzed from the maintenance to the electric substations of half tension by means of methods of the artificial intelligence, and the theoretical foundations of the administration pattern from the maintenance to the electric cells of half tension.

**Keywords:** maintenance, distributed generation, optimization, artificial intelligence

## **Introducción**

En la actualidad el continuo crecimiento del consumo de energía eléctrica tiene aparejado un incremento en las inversiones desde la generación hasta la distribución, y es necesaria su interconexión para asegurar un óptimo suministro de la energía con la calidad requerida. Además, es ineludible un cambio acelerado en la gestión del mantenimiento, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico, debido a la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial por la influencia que ejerce de forma directa sobre la administración de los activos (Álvarez Fernandez, 2019.).

El Sistema Electroenergético Nacional (SEN) no escapa de ello y dentro de éste, las subestaciones eléctricas como uno de los elementos principales, de una subestación de cualquier tipo, ya sea de transformación, transferencia o enlace, las cuales son comunes a todos los sistemas de energía. Últimamente los costos de mantenimiento y operación de las empresas eléctricas (generación, transmisión y distribución) han estado subiendo de una manera rápida en los últimos años (Alcántar Bazúa, 2019).

Actualmente existen nuevas técnicas que permiten disminuir y/o mejorar la confiabilidad y el desempeño de las mismas (Castelo Vega, 2017). El mantenimiento busca a grosso modo asegurar el servicio de la empresa de una manera continua, segura y compatible con el medio ambiente. Con la inclusión de la generación distribuida se ha mejorado la confiabilidad mediante su interconexión al sistema, ahora el papel de la subestación en el nuevo contexto es otro porque no solamente sirve para el enlace de varios consumidores, sino que también a través de ella se entregará al sistema, determinada potencia para mejorar la confiabilidad, esto conduce a preguntarse, ¿qué tipo de gestión de mantenimiento se propondrá a partir de los requerimientos del sistema?

Actualmente, el mantenimiento está caracterizado por la búsqueda continua de tareas que permitan eliminar o minimizar la ocurrencia de fallas y/o disminuir las consecuencias de las mismas (Cuascuas Gutiérrez (2010). Las empresas eléctricas no están ajenas a ello, por lo que se hace necesario enfocar los esfuerzos a disminuir las fallas y averías que muchas veces se pueden evitar. Para lograr esto las corrientes filosóficas, de los nuevos conceptos del mantenimiento han demostrado un gran poder en identificar tareas potenciales a ejecutar.

Muchas de las actividades de rutina que se ejecutan en el mantenimiento de los equipos primarios inciden en su buen funcionamiento (Cuascuas Gutiérrez, 2008). Las más significativas están dadas por pruebas de aislamiento, pruebas de apertura y cierre eléctrico y manual, inspección minuciosa y

detallada de conexiones, vástagos, barras, porcelana, etc., así como otras que llevan implícita distintas tareas de acuerdo con el elemento en cuestión.

Estudio de las corrientes actuales del mantenimiento las operaciones de mantenimiento tienen lugar frente a la constante amenaza que implica la ocurrencia de una falla o error en un sistema, maquinaria o equipo (Gondres Torné et al, 2018). Las corrientes actuales están basadas principalmente en dos estilos, de forma proactiva y reactiva, el primero será objeto de un pequeño análisis mediante dos de sus formas principales que se detallan a continuación.

### **1.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)**

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas, este tuvo su origen en la Industria Aeronáutica.

El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Dedicar mucha atención a las tareas del mantenimiento que más incidencia tengan en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones y, garantizar que la inversión en mantenimiento sea utilizada donde más beneficio reporte.

En la empresa eléctrica cubana sería interesante disminuir los costos y actividades de mantenimiento, lo que conllevaría además una mejora en los niveles de confiabilidad, disponibilidad, eficiencia y seguridad; un ejemplo interesante se presenta en la referencia (García Garrido, S. 2020). Esta técnica se basa en seleccionar el mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieran, para esto se necesita realizar un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de estas, para luego decidir dónde y qué tipo de mantenimiento ejecutar.

### **1.2 Mantenimiento basado en la condición**

El mantenimiento predictivo o basado en la condición (BC), consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial). El mantenimiento predictivo depende de unas series de técnicas (herramientas, equipos, conocimientos, métodos, procedimientos y filosofías) que aplicados en armonía logran con efectividad su objetivo. Predecir eventos en maquinarias y sistemas que puedan interferir con el proceso productivo y tomar acciones para evitarlos.

Las técnicas de las cuales depende el mantenimiento predictivo son bastante costosas debido a que la mayoría emplean tecnología de punta y no son destructivas aplicándose on-line de acuerdo con el campo de utilización; por ejemplo, el monitoreo de la condición consiste en monitorear los movimientos de las maquinarias rotativas y recíprocas para estudiar su comportamiento (Hu, Q. & et al, 2022); la tribología analiza los fenómenos relacionados con la fricción y el desgaste obteniendo resultados del análisis físico-químico de los aceites lubricantes de las maquinarias; la termografía: Consiste en el monitoreo de las temperaturas de operación de los sistemas (mecánicos y eléctricos) a través de rayos infrarrojos; y así sucesivamente se podrían mencionar otros que tienen funciones parecidas y siguen la misma premisa de su alto costo, aunque no por ello dejan de ser casi los ideales para la gestión del mantenimiento.

### **1.3 Relación entre el RCM y el basado en la condición**

Con la aplicación del RCM se pueden responder las preguntas que plantea este método, pero esto solo no bastaría para una correcta aplicación, sino que se pueden implementar las técnicas del mantenimiento basado en la condición para adelantarse a la posible falla de una forma más acertada, o sea, no es más que su uso en el momento correcto de acuerdo con las especificidades del proceso de RCM.

Los intervalos de inspección pueden ser acortados o determinados por las características de los elementos en cuestión una vez que estos sean sometidos a un proceso de estudio de acuerdo con su confiabilidad operacional, por lo que una opción factible es instalar un sistema de monitoreo o chequear continuamente el estado del elemento mediante técnicas de avanzada que permitan identificar la falla potencial lo más pronto posible. Sin embargo, se necesita trabajar más para hacerlo más efectivo, además estas técnicas se han logrado obtener ciertos avances en los transformadores de potencias, no así en el resto de los equipos primarios que componen las subestaciones eléctricas.

Antes de realizar cualquier análisis para llegar a la utilización de inteligencia artificial se debe conocer las primeras aproximaciones mediante el uso de métodos multicriteriales para tomar una decisión partiendo de las especificaciones de los fabricante, su topologías y otros según los expertos, y a partir de ahí establecer lo que en el ámbito mundial ha sido abordado principalmente usando propuestas metodológicas que utilizan técnicas tales como: Sistemas expertos, modelos de redes Petri, redes neuronales y lógica difusa, etc.

#### **1.3.1 Redes Petri**

Mediante la utilización de redes Petri, se plantea una metodología para restaurar los subsistemas de una subestación con mayor rapidez y efectividad. La metodología permite analizar gran cantidad de

reglas empíricas que se utilizan para la restauración de cada sistema en particular, combinando la experiencia en el manejo de subestaciones con métodos computacionales de programación.

### **1.3.2 Redes Neuronales**

Teniendo en cuenta, que es posible decir que las RNA han sido aplicadas prácticamente en casi la totalidad de las áreas ha donde ha llegado la computación. A pesar de esto no se puede plantear que se han convertido en el paradigma ideal para resolver toda clase de problemas, pero sí han tenido mucho éxito en un gran número de ellos.

Así mismo, las redes neuronales artificiales han tenido una gran utilización en sistemas de potencia. En la referencia (Jaramillo Carrión y Miño Santander, 2018) se describen algunas aplicaciones de las redes neuronales a problemas reales, ilustrando además algunos aspectos prácticos del diseño de redes, requerimientos de los datos de entrenamiento, características de la entrada y los algoritmos de aprendizaje. Se consideraba también que las RNA no eran adecuadas para la solución de tareas que requieran de gran precisión, pero esto ha cambiado y en la actualidad se utilizan con muy buenos resultados en aplicaciones científicas e ingenieriles, entre las que se pudieran mencionar las siguientes:

- Solución de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales.
- Identificación de sistemas dinámicos.
- Modelación y control de procesos.
- Detección de fallas en sistemas dinámicos.

Como se puede apreciar las RNA tienen un amplio campo de aplicación y su uso está determinado prácticamente por el ingenio de los que quieran utilizarla.

#### Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos (AG) es una técnica de búsqueda basada en la teoría de la evolución de Darwin y ha cobrado popularidad en el del mundo durante los últimos años. Esta técnica se basa en los mecanismos de elección que utiliza la naturaleza según los cuales los individuos más aptos de una población son los que sobreviven, al adaptarse más fácilmente a los cambios que se producen en su entorno. La aplicación más común de los algoritmos genéticos ha sido la solución de problemas de optimización, en donde han mostrado ser muy eficientes y confiables. No todos los problemas pudieran ser apropiados para la técnica, y se recomienda, en general, tomar en cuenta las siguientes características antes de intentar usarla:

- Su espacio de búsqueda (sus posibles soluciones) debe estar delimitado dentro de un cierto rango.
- Debe poderse definir una función de aptitud que indique qué tan buena o mala es una cierta respuesta.

- Las soluciones deben codificarse de una forma que resulte relativamente fácil de implementar en la computadora.
- Lo más recomendable es intentar resolver problemas que tengan espacios de búsqueda discretos, aunque estos sean muy grandes.

Una característica que debe tener esta función es ser capaz de "castigar" a las malas soluciones, y de "premiar" a las buenas, de forma que sean estas últimas las que se propaguen con mayor rapidez; y ello es lo que pudiera usarse para lograr una gestión eficiente del sistema de mantenimiento a utilizar en los elementos de interconexión del SEN.

### **1.3.3 Lógica Difusa**

En la actualidad, la lógica difusa se ha convertido en una de las áreas más activas y fructíferas dentro de las investigaciones en teoría de conjuntos difusos, existiendo un gran número de aplicaciones que han puesto de manifiesto la utilización efectiva de un sistema difuso en el contexto de procesos complejos mal modelados, donde tradicionalmente se obtienen buenos resultados con un operador humano experimentado, sin el conocimiento de la dinámica subyacente. Básicamente, la lógica difusa proporciona un medio efectivo de concebir la naturaleza aproximada e imprecisa del mundo real. Actualmente, las empresas cubanas tratan de implementar el sistema de mantenimiento por diagnóstico, haciendo que en ocasiones se presenten problemas sobre todo a la hora de decidir un mantenimiento o el tiempo probable de ejecutarlo, a partir de las pruebas diagnósticas.

Sin dudas la introducción de la lógica difusa puede ayudar en esas decisiones (Marrero Hernández, R. A. & et al, 2019). Para el cálculo de los índices de deterioro y el momento apropiado para dar mantenimiento a los elementos de interconexión del SEN, considerando la misma como un sistema compuesto por estos dispositivos se necesita determinar los coeficientes de importancia del deterioro de cada tipo y del elemento en cuestión, obtenidos con la ayuda de los expertos seleccionados, según el método de expertos y de las informaciones de las inspecciones a la subestación, así como del análisis cuantitativo y cualitativo de las operaciones de los mismos. También se puede usar las relaciones de preferencia para su optimización adecuada (Morales Anguiano, 2021).

Como se ha visto hasta ahora siempre que se usen correctamente las técnicas de IA con las corrientes filosóficas del mantenimiento se obtendrán buenos resultados que redundarán en el funcionamiento óptimo del sistema a analizar, por lo que las técnicas mencionadas constituyen una herramienta fundamental para la implementación de las estrategias de restablecimiento en un sistema de soporte a la decisión.

Actualmente, los procedimientos que rigen la actividad del mantenimiento y el diagnóstico en las subestaciones eléctricas de los grupos de generación distribuida en Cuba se realizan de una forma

planificada, sin tener en cuenta los datos históricos, datos estadísticos y las técnicas de diagnósticos como es la termografía infrarroja y no están acorde a las filosofías de los mantenimientos, además de la observación de diferentes variables subjetivas que dependen del hombre cuando se realizan las revisiones visuales, que no siempre es el mismo criterio

los estudios e investigaciones que se llevan anualmente en el mundo referido a la utilización de las modernas técnicas y métodos de inteligencia artificial y filosofías del mantenimiento mundial en todas las esferas de sociedad, pues se hace necesario e imprescindible cambiar la filosofía existente respecto a la gestión del mantenimiento y el diagnóstico en las subestaciones eléctricas de los grupos de generación distribuida y tener en cuenta lo antes mencionado para así evitar posibles averías en el sistema eléctrico (Núñez Ramírez, 2015), no incurrir en gastos innecesarios en los mantenimientos y aumentar la eficiencia operacional de las subestaciones.

Es el caso que, la inteligencia artificial en el contexto energético, permite sincronizar y orquestar tecnologías tales como big data, aprendizaje máquina, Internet de las cosas (IoT) o los denominados sistemas ciberfísicos para incrementar la eficiencia en la provisión de energía que directamente reduce los costos y el impacto medioambiental (Osorio Patiño y Culma Ramírez, 2019).

Por tanto, el problema a resolver está dado por: No disponer de una metodología para la gestión del mantenimiento y el diagnóstico adecuada que sea aplicable eficientemente a las subestaciones eléctricas de los grupos de generación distribuida. Ya que los aplicados presentan insuficiencias que no garantizan la disponibilidad operacional de las mismas, ni la disminución de los costos en que se incurren para lograr su eficiencia.

Si desarrollamos un sistema de gestión de los mantenimientos y el diagnóstico sustentado en el procesamiento, mediante las técnicas y modelos estadísticos convenientes de la información de su explotación y los resultados de los mantenimientos, donde la estadística tiene que ver con la recopilación, presentación, análisis y uso de datos para tomar decisiones y resolver problemas, por esta razón es tan utilizada en varios campos, entre ellos los sistemas eléctricos de potencia, principalmente los relacionados con la confiabilidad, que es el área de la estadística que se encarga del estudio de las fallas que presentan distintos componentes a lo largo del tiempo a través de la utilización de métodos de Inteligencia Artificial (IA), identificación de fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia Basado en reconocimiento de patrones. Evaluación de técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el diagnóstico de fallas en plantas de potencia. Digitalización e inteligencia artificial, aliados para la eficiencia energética, entonces se debe esperar un aumento de la disponibilidad de estas, así como la disminución de los costos del mantenimiento y su eficiencia operacional.

El **objeto de estudio** de esta investigación son las subestaciones de media tensión de interiores.

El trabajo tiene un **alcance correlacional explicativo**, debido a que busca determinar cómo y por qué se relacionan las diferentes variables que inciden en la gestión del mantenimiento a las subestaciones de media tensión de interiores, estableciendo un modelo que da respuesta al problema abordado.

El **objetivo general** de este trabajo consiste en: Desarrollar una gestión del mantenimiento y el diagnóstico en las subestaciones eléctricas de los grupos de generación distribuida con el fin de disminuir los costos asociados a los mismos y obtener un incremento de la disponibilidad, para lograr una eficiencia óptima en su operación.

El **campo de acción** delimitado por el objetivo es: La gestión de los mantenimientos y el diagnóstico en las subestaciones eléctricas de los grupos de generación distribuida.

Para la consecución del objetivo general se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los fundamentos teóricos relacionado con el mantenimiento de las subestaciones eléctricas.
- Seleccionar un sistema de mantenimiento y diagnóstico de las celdas eléctricas de acuerdo a las variables de las inspecciones visuales, datos históricos, técnicas de diagnóstico y con métodos de la Inteligencia Artificial.
- Validar la gestión del mantenimiento y el diagnóstico a través de un caso de estudio.

De acuerdo al problema científico planteado anteriormente puede formularse **la hipótesis** de la forma siguiente: Si se desarrolla un sistema de gestión de los mantenimientos y el diagnóstico sustentado en el procesamiento, mediante las técnicas y modelos estadísticos convenientes, de la información de su explotación y los resultados de los mantenimientos, entonces se debe esperar un aumento de la disponibilidad y la eficiencia de estas, así como la disminución de los costos del mantenimiento y su eficiencia operacional.

Las tareas de investigación asociadas al trabajo son las siguientes:

1. Análisis teórico de los siguientes aspectos:
  - a. Análisis operacional de las subestaciones eléctricas de interiores.
  - b. Estudio de la gestión de los mantenimientos a las subestaciones eléctricas.
  - c. Análisis de las pruebas de funcionamiento y parámetros fundamentales que se miden en un mantenimiento a una subestación eléctrica.
2. Selección y aplicación de métodos para el análisis de variables e indicadores orientado a la gestión contextualizada de los mantenimientos.
3. Elaboración de un modelo para la evaluación de las diferentes variables, enfocado a la confiabilidad en la gestión del mantenimiento, el diagnóstico y su operación.

4. Elaboración de una metodología para la planeación del mantenimiento y el diagnóstico considerando los factores de riesgo y utilizando métodos de la Inteligencia Artificial.
5. Aplicación y validación de la metodología.

La **novedad científica** del trabajo está dada por la integración de diferentes variables de cierto grado de incertidumbre (inspección visual, datos históricos), termografía infrarroja, la Inteligencia Artificial y con las herramientas del concepto de mantenimientos, sea la base para la conformación de una metodología para la gestión del diagnóstico y los mantenimientos a las subestaciones eléctricas de los grupos de generación distribuida que hasta el momento nunca se había propuesto.

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Fundamentos teóricos sobre la gestión de mantenimiento en las subestaciones eléctricas de los grupos de generación distribuida**

Las subestaciones eléctricas son las encargadas de mantener la calidad de la energía utilizada, además conectan los distintos niveles de tensión que se utilizan y realizan los cambios de tensión para la utilización de la energía eléctrica por parte de los consumidores, estas se clasifican en subestaciones reductoras, elevadoras y de transmisión y enlace, poseen varias configuraciones topológicas de acuerdo a su diseño y utilización.

En la actualidad el continuo crecimiento del consumo de energía eléctrica tiene aparejado un incremento en las inversiones desde la generación hasta la distribución, y es necesaria su interconexión para asegurar un óptimo suministro de la energía con la calidad requerida. Además, es ineludible un cambio acelerado en la gestión del mantenimiento, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico, debido a la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial por la influencia que ejerce de forma directa sobre la administración de los activos. El Sistema Electroenergético Nacional (SEN) no escapa de ello y dentro de éste, las subestaciones eléctricas como uno de los elementos principales de una subestación de cualquier tipo, ya sea de transformación, transferencia o enlace, los cuales son comunes a todos los sistemas de energía.

### **2.2. Funciones y componentes principales de una celda eléctrica de media tensión**

En primera instancia es necesario saber que es una celda de media tensión. Según la definición “es una celda de media tensión, también conocida como cuadros, paneles, consolas o armarios, que deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional, tal como IEC 62271-200, IEC 62271-1, de reconocimiento internacional como la UL347, ANSI-IEEE c37o NTC que aplique y demostrarlo mediante un certificado de conformidad de producto.” Las aplicaciones en donde podemos encontrar estas celdas de media tensión varían entre los tres sectores los cuales son el

industrial, el comercial y el residencial, estos regidos según los requerimientos técnicos que solicite la aplicación. Dentro de estas celdas podemos encontrar diferentes elementos que la componen como son los barrajes, los cables, los interruptores, entre otros. Esta composición de las celdas ha venido variando a lo largo de los años en cuanto a la metodología de funcionamiento, específicamente, de los interruptores de circuito tanto para media y baja tensión.

### **2.2.1. Tipos de celdas eléctricas**

Se implementan diferentes configuraciones, las cuales van a depender de la necesidad de la aplicación en cuanto a niveles de seguridad y confiabilidad. Dentro de los tipos de topología, encontramos las siguientes:

- Barra sencilla
- Barra principal y barra de transferencia
- Doble barra
- Doble barra más seccionador de “By-pass”
- Doble barra más seccionador de Transferencia
- Doble barra más barra de transferencia
- Anillo
- Interruptor y medio

Una subestación eléctrica debe ofrecer unas características tales como flexibilidad, la cual determina la capacidad de adaptación ante cualquier perturbación del sistema, la confiabilidad y la seguridad, que se profundizara más adelante, las cuales hablan de la continuidad que debe tener el sistema ante la desconexión de cualquiera de los equipos o elementos que lo componen.

Las celdas de media tensión pueden venir de dos tipos, se encuentra de tipo mampostería en la cual los equipos se les realizan el montaje en obra y las celdas prefabricadas o modulares las cuales se han venido diseñando de acuerdo a las necesidades que se encuentran en el mercado de ahorro de espacio. Otra forma de diferenciarlas es dividiéndolas según la norma que las rigen, por lo general las de mampostería son de una clasificación más robusta por lo que estas serían celdas regidas bajo la norma NEMA y su principal protección es hacia los equipos, mientras que las modulares van a estar regidas bajo la norma IEC que busca proteger las instalaciones y las personas.

Las celdas tipo IEC son las que se han venido actualizando con la tecnología y con su enfoque de protección no solo para las instalaciones sino también para protección de las personas, tal como se mencionó anteriormente. Es por esto que para este trabajo se hará un énfasis en las celdas modulares o bajo la norma IEC, sin embargo, los equipos propuestos para aumentar la confiabilidad y la seguridad eléctrica en las celdas, no discriminan entre tipo de celdas.

## **2.3. Evolución de la gestión de mantenimiento en las subestaciones eléctricas de media tensión de interiores**

### **2.3.1. Filosofías del mantenimiento aplicadas a las subestaciones de media tensión de interiores**

El mantenimiento según la IEEE no es más que el acto de preservar o mantener las condiciones de un equipo para su correcta operación, o sea, la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas que incluyen acciones de supervisión, que puedan mantener o restaurar el estado para el cual cumple con las funciones afines a su desempeño un equipo o sistema determinado.

El objetivo de la gestión del mantenimiento a las celdas eléctricas que componen una subestación de media tensión de interiores, es asegurar la máxima confiabilidad y disponibilidad de las celdas a bajos costos para que cumpla con sus funciones operativas nominales dentro de un contexto operacional, previniendo o corrigiendo, cuando sea necesario, condiciones que pongan en riesgo la operación de la misma y de la instalación a la que está asociado, así como a los equipos e instalaciones vecinas.

Es conveniente desde el inicio establecer las diferencias entre los términos monitoreo y diagnóstico, El monitoreo es el proceso continuo y sistemático mediante el cual se verifica la eficiencia y la eficacia de un producto mediante la identificación de sus logros y debilidades y en consecuencia se recomiendan medidas correctivas para optimizar los resultados esperados (Pérez Rondón, 2021). Es, por tanto, condición para la rectificación o profundización de la ejecución y para asegurar la retroalimentación entre los objetivos, presupuestos teóricos y las lecciones aprendidas a partir de la práctica.

Asimismo, es el responsable de preparar y aportar la información que hace posible sistematizar resultados y procesos, por lo que representa un insumo básico para el diagnóstico. Para que el monitoreo sea exitoso requiere del establecimiento de un sistema de información, identificando a los usuarios de la información, los tipos de información prioritaria, vinculando las necesidades y las fuentes de información, estableciendo métodos apropiados para efectuar la recopilación de datos e identificar los recursos necesarios. El monitoreo es la medición de uno o varios parámetros previamente establecidos que se define como la recolección de datos, e incluye el desarrollo de sensores, técnicas de medición y hardware para la adquisición y almacenamiento de los mismos.

El Diagnóstico es el proceso integral y continuo de investigación y análisis de los cambios más o menos permanentes que se materializan en mediano y largo plazo, como una consecuencia directa o indirecta del quehacer de un equipo en el contexto, la población y las organizaciones participantes. Por ello, constituye una herramienta para la transformación, que arroja luz sobre las alternativas para

la mejora permanente de las intervenciones presentes y futuras, o sea, transfiere buenas prácticas. El diagnóstico es la ciencia encargada de determinar por los síntomas, el estado y el carácter de una posible rotura, envejecimiento, etc. de un equipo, sistema o proceso a partir del análisis y procesamiento de sus datos de pruebas, de fallas e históricos. El diagnóstico tiene como objetivo detectar las desviaciones de los parámetros de control, analizar sus tendencias, determinar sus causas de manera que permita al personal proponer las medidas correctoras y la intervención oportuna del equipo para lograr máxima disponibilidad y confiabilidad de los mismos a través del mantenimiento.

Desde esta concepción, el monitoreo y el diagnóstico tienen que ser coherentes con su objeto de análisis.

### **2.3.2. Generalidades del mantenimiento**

Varios autores generalmente dividen el mantenimiento en dos categorías principales, el Mantenimiento no Planificado (correctivo, reparación de averías) y el Mantenimiento Planificado (preventivo, predictivo, proactivo). Sin embargo, otros autores prestigiosos clasifican al mantenimiento en correctivo, preventivo y predictivo. También se puede ver en más detalles otras acepciones de las filosofías del mantenimiento enfocado a la confiabilidad.

Por otro lado, de acuerdo a una de las investigaciones más recientes realizada por el grupo de trabajo de CIGRE sobre los mantenimientos, se plantea que en ninguno de los 29 países estudiados se utiliza el mantenimiento correctivo o por averías, sino que el 55% utiliza el preventivo, el 8% el basado en la condición y un 37% la combinación de ambos.

La necesidad del mantenimiento de las celdas eléctricas no es obvia y aumenta con los años a medida que los sistemas de transmisión se expanden y transportan mayores cantidades de energía a mayores distancias, de ahí la necesidad de predecir su estado (Prieto Montilla, J. M. 2017). Para ello frecuentemente se usa el *Mantenimiento Preventivo o Basado en el Tiempo*, que no es más que la planificación de diferentes intervalos de mantenimiento de acuerdo al tiempo que esté en funcionamiento el equipo o interruptor, o sea, consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares un equipo o sus componentes, independientemente de su estado en ese momento.

Esos intervalos son establecidos por los fabricantes basados en experiencias

Anteriores (Peña, 2011). Sin embargo, las investigaciones demuestran que la efectividad de estos métodos están fuertemente vinculados a la frecuencia de las inspecciones de mantenimiento y en el caso de los interruptores de potencia muchas de las fallas que ocurren no se detectan simplemente, por ello es necesario usar otras técnicas no invasivas que ayudan a determinar su estado.

A medida que las tecnologías avanzaban, también se necesitaba un nuevo enfoque en el mantenimiento, por ello los especialistas crearon lo que se conoce ahora como el Mantenimiento Predictivo o Basado en la Condición, el mismo consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para evitar las fallas o las consecuencias de las mismas según condición. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial). Su propósito es predecir con precisión la condición del interruptor, sin tener que abrirlo para su inspección (Vasco Molina, J. P . 2015). Por ello la inspección requerida se limita a la intervención correctiva o preventiva, reduciendo grandemente de esta manera el costo del mantenimiento y aumentando su eficiencia.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés), permite de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al mínimo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.

Por ello la gestión del mantenimiento en celdas eléctricas de media tensión puede tener varias maneras de complementarse entre sí, o sea, mediante.

- **Pruebas técnicas y revisiones visuales:** Para verificar la conformidad de cada una de las propiedades eléctricas y mecánicas,
- **Análisis estadísticos:** Para descubrir los componentes con falla o ayudar a crear un modelo probabilístico del envejecimiento en los interruptores para su mantenimiento.
- **Análisis de confiabilidad operacional:** Para valorar ciertos aspectos de funcionamiento in situ.
- **Monitoreo de la condición:** Para la vigilancia continua del interruptor por medio de múltiples transductores controlados por una computadora o mediante elementos que brindan las mediciones de diferentes parámetros.

Todo ello se puede integrar mediante la inteligencia artificial y brindar mejores resultados desde todos los puntos de vista.

Teniendo en cuenta la complementariedad de las formas en que puede presentarse la gestión del mantenimiento en los interruptores de potencia, se hará referencia en los próximos epígrafes a las pruebas y revisiones visuales, los análisis estadísticos, la confiabilidad operacional, al monitoreo de la condición y finalmente a la integración de todo mediante la inteligencia artificial, que es la fundamentación de este trabajo.

Con base en los resultados obtenidos de pruebas realizadas las celdas, el personal responsable del mantenimiento, tiene los argumentos suficientes para tomar la decisión de mantener energizado o

retirar de servicio un equipo en operación que requiera mantenimiento, para el mantenimiento del equipo, es conveniente considerar los aspectos siguientes:

a) Archivo histórico y análisis de resultados obtenidos en inspecciones y pruebas. Es necesario además considerar las condiciones operativas de los equipos, así como las recomendaciones de los fabricantes.

b) Establecer las necesidades de mantenimiento para cada equipo.

c) Formular las actividades de los programas de mantenimiento.

d) Determinar actividades con prioridad de mantenimiento para cada equipo en particular.

e) Se debe contar con personal especializado y competente para realizar las actividades de mantenimiento al equipo y establecer métodos para su control.

Mejorando las técnicas de mantenimiento, se logra una productividad mayor y se reducen los costos del mismo.

### **2.3.3. Técnicas de inteligencia artificial aplicadas en la gestión de los mantenimientos y el diagnóstico**

Existen varios métodos de inteligencia artificial que se pueden aplicar a las gestiones de mantenimiento. A continuación, se mencionan algunos de ellos:

1. **Aprendizaje automático**: El aprendizaje automático se puede utilizar para analizar grandes cantidades de datos de mantenimiento y detectar patrones que indiquen la necesidad de realizar mantenimiento a algunos de ellos. Este método se utiliza para analizar grandes cantidades de datos históricos y predecir posibles fallas en los equipos de mantenimiento. Se pueden utilizar técnicas de regresión, clasificación y agrupamiento para identificar patrones en los datos y tomar decisiones basadas en ellos.

2. **Redes neuronales**: Se pueden utilizar redes neuronales para predecir el desgaste de los equipos y mejorar la programación del mantenimiento preventivo. Estas redes pueden analizar datos en tiempo real y generar alertas para el personal de mantenimiento cuando se detecta un problema potencial.

3. **Sistema experto**: Los sistemas expertos son programas de software que utilizan reglas y conocimientos específicos para tomar decisiones. En el caso de mantenimiento, se pueden utilizar para identificar los problemas existentes en el equipo y determinar los pasos que deben seguirse para repararlo.

4. **Simulación**: La simulación se utiliza para crear modelos virtuales de equipos y sistemas. Se pueden utilizar estas herramientas para probar diferentes escenarios y optimizar la programación del mantenimiento.

En general, la inteligencia artificial se puede aplicar de diversas formas a las gestiones de mantenimiento, lo que permite una mejor eficiencia y eficacia en la administración del mismo.

Algunos de los métodos de inteligencia artificial que se aplican en la gestión de mantenimiento a las subestaciones eléctricas de alta tensión son:

En los análisis de datos la inteligencia artificial se utiliza para analizar grandes cantidades de datos en tiempo real para identificar patrones y tendencias que indiquen problemas potenciales en subestaciones eléctricas, los más aplicados en alta tensión son:

1. **Aprendizaje automático**: Se utiliza para determinar patrones y tendencias a partir de grandes conjuntos de datos relacionados con las operaciones y mantenimiento de las subestaciones. Esto puede ayudar a predecir y prevenir fallos y averías, así como a optimizar los tiempos de inactividad y la eficiencia en la gestión de los activos.

2. **Redes neuronales artificiales**: Estos algoritmos de aprendizaje profundo pueden ayudar a mejorar la precisión de los modelos predictivos y analíticos utilizados en el mantenimiento, por ejemplo, para detectar problemas de calidad de la energía o identificar señales de alerta temprana de fallas potenciales.

3. **Lógica difusa**: Esta técnica se puede utilizar para modelar el conocimiento y la experiencia de los expertos en mantenimiento y operaciones, y luego aplicar esos modelos para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento preventivo, donde se modelan problemas en los que la realidad no es completamente precisa o binaria, es decir, en situaciones donde la respuesta no es un simple "verdadero" o "falso", sino que existe un grado de incertidumbre o ambigüedad.

4. **Análisis de datos en tiempo real**: Las subestaciones eléctricas modernas están equipadas con sistemas de monitorización y control en tiempo real que permiten recopilar y analizar grandes cantidades de datos. La inteligencia artificial puede ser utilizada para analizar estos datos en tiempo real y alertar al personal de mantenimiento cuando se detectan anomalías o problemas.

5. **Sistemas de recomendación**: Estos sistemas pueden ayudar a los encargados de mantenimiento a seleccionar las mejores prácticas y herramientas para llevar a cabo diferentes tareas de mantenimiento. Esto puede mejorar la eficiencia y reducir los costos y el tiempo de inactividad.

6. **Aprendizaje automático**: El aprendizaje automático se puede utilizar para analizar grandes cantidades de datos de mantenimiento y detectar patrones que indiquen la necesidad de realizar mantenimiento a algunos de ellos. Este método se utiliza para analizar grandes cantidades de datos históricos y predecir posibles fallas en los equipos de mantenimiento. Se pueden utilizar técnicas de regresión, clasificación y agrupamiento para identificar patrones en los datos y tomar decisiones basadas en ellos.

### **2.3.4. Filosofías del aprendizaje automático en la inteligencia artificial**

En el estado actual de desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) existen técnicas para tratar de solucionar problemas complejos mediante el empleo de procesos de búsqueda, formas de representación del conocimiento y aprendizaje. Una de esas ramas es el Aprendizaje Automático, el cual aborda lo relacionado con cualquier proceso de aprendizaje-clasificación-predicción, y tiene sus exponentes principales en las Redes Neuronales Artificiales, los Algoritmos Genéticos, el Razonamiento Basado en Casos, Modelos Lineales, Modelos Estadísticos e Inferencia empleando Reglas.

En el caso de Inferencia empleando reglas dependiendo del objetivo las técnicas se pueden clasificar en Inducción Predictiva y en Inducción Descriptiva. Dichas técnicas están ligadas directamente a la Lógica Difusa, la Teoría de los Conjuntos Aproximados (RST, por sus siglas en inglés) y más recientemente a la Teoría Difusa de los Conjuntos Aproximados (FRST, por sus siglas en inglés), que es la combinación de las dos anteriores y más avanzada que estas porque resuelve algunos problemas de ajustes de parámetros y umbrales de corte.

### **2.3.5. Aplicaciones de aprendizaje automático en los Sistemas Eléctricos de Potencia**

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) no han permanecido ajenos a la implementación y uso de la IA en sus distintos elementos, o sea, han abierto un nuevo camino hacia el desarrollo de la protección de sistemas y máquinas eléctricas, imponiéndose, debido a su versatilidad, alta precisión y nivel de exactitud, con gran auge sobre los métodos tradicionales de protección; las técnicas más usadas hasta el momento son las relacionadas con los llamados sistemas híbridos, donde intervienen las redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos y conjuntos aproximados.

En el caso de las Redes Neuronales han alcanzado gran desarrollo y alto nivel de aplicación, varias han sido dirigidas a los análisis de seguridad, predicción de la demanda, detección y diagnóstico de fallas, operación de los SEP y modelación, entre otros.

Mientras que el uso de los algoritmos genéticos se ha ido expandiendo en los SEP estos están inspirados en el principio Darwiniano de la evolución de las especies y en la genética. Son algoritmos probabilísticos que ofrecen un mecanismo de búsqueda paralela y adaptativa basada en el principio de supervivencia de los más aptos y en la reproducción.

También se han realizado trabajos con la lógica difusa en los SEP, tanto en las redes de distribución y transmisión, transformadores, generadores, interruptores de potencia etc.

En cuanto a la filosofía de la RST, se basan en la suposición de que alguna información está asociada con cada objeto del universo de discurso El análisis de datos de los conjuntos aproximados provee un método para ganar compenetración en las propiedades de datos y se basa en los datos

originales, no necesita cualquier información externa, así como no es necesaria ninguna suposición acerca de los datos, por lo que sirve para analizar tanto rasgos cualitativos como cuantitativos y es utilizado indistintamente en los SEP

La mayoría de las veces las técnicas se implementan de forma mixta, de manera que se aprovechen las características de cada una de ellas de forma sinérgica. La combinación de todas ellas también contribuye a aumentar las prestaciones del sistema de diagnóstico de fallos

En el caso particular de los equipos primarios de subestaciones eléctricas de potencia, no así en su conjunto como celdas, se han realizado varios estudios encaminados a la selección del tiempo de mantenimiento óptimo mediante el uso de la Lógica Difusa, se han usado diferentes vías o métodos, uno de ellos es mediante las Relaciones de Preferencia Difusas entre los tiempos de mantenimiento según los criterios definidos previamente, vinculando el procedimiento de la inducción de una relación entre criterios para obtener la Relación de Preferencia entre las variables de mantenimiento y así ordenar los mismos en cuestión de mejor a peor, obteniendo finalmente las bases para seleccionar el óptimo; otro ha sido utilizando diferentes variables de las inspecciones visuales, determinando los índices de deterioro a través de la fuzificación y desfuzificación de dichos parámetros para tomar la decisión óptima del tiempo de mantenimiento.

También se han realizado estudios de los parámetros a monitorear de acuerdo a las fallas más frecuentes, utilizando matrices de fallas, de síntomas de fallas y relacional difusa, a través de las cuales obtienen el operador difuso y las reglas de diagnóstico correspondientes, así como proponen métodos adaptativos de corrección de la matriz relacional difusa.

Por otro lado, algunos autores han combinado las redes neuronales y la lógica difusa para el diagnóstico de fallas, obteniendo un modelo para la identificación de fallas a partir del conocimiento incierto y datos ambiguos, así como el mejoramiento de su precisión.

Sin embargo, todavía existen potencialidades que no se explotan al máximo, tanto en la cantidad de variables o parámetros a tener en cuenta en la gestión del mantenimiento, así como en las técnicas de inteligencia artificial que han avanzado considerablemente en los últimos años, y en específico las que se combinan entre sí, por ello se propone usar todos los beneficios inherentes a dichos sistemas híbridos, principalmente la Teoría Difusa de los Conjuntos Aproximados, los cuales permitirán obtener un modelo apropiado en la gestión del mantenimiento de dichos elementos; ya que se resolvería el problema de incertidumbre de los datos obtenidos en las revisiones visuales que tienden a ser difusos, mientras que por otra parte se concatenaría la solución de las pruebas de funcionamiento y los métodos utilizados para la determinación de la confiabilidad que están íntimamente interrelacionados entre sí.

Para utilizar la lógica difusa, se sigue que las variables no pueden ser perfectamente clasificadas como verdaderas o falsas. En lugar de eso, la lógica difusa permite asignar grados de verdad para las variables en cuestión, como son:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Relación de pruebas realizadas a los equipos primarios como son, resistencia de aislamiento, resistencia de contactos, prueba de alta tensión.
- Resultados de las inspecciones visuales.

La aplicación de la lógica difusa se puede dividir en tres pasos básicos:

1. Definir las variables de entrada: Se deben identificar todas las variables relevantes y definir cada una de ellas como una función de pertenencia que describe su grado de verdad.
2. Definir las reglas: Se deben establecer las reglas que relacionan las variables de entrada con las variables de salida.
3. Definir las variables de salida: Se deben definir las variables de salida, las cuales se obtienen aplicando las reglas antecedentes a las funciones de pertenencia de las variables de entrada.

Una vez definidas estas variables, se puede utilizar una herramienta de lógica difusa para procesar la información y obtener soluciones que se adapten a las condiciones cambiantes del entorno. La lógica difusa se aplica en diversos campos, como en ingeniería de sistemas inteligentes, control de procesos, análisis de mercado, procesamiento de imágenes, entre otros. Por ello se propone usar todos los beneficios inherentes a dichos sistemas híbridos, principalmente la Teoría Difusa de los Conjuntos Aproximados, los cuales permitirán obtener un modelo apropiado en la gestión del mantenimiento parcial de dichos elementos; ya que se resolvería el problema de incertidumbre de los datos obtenidos en las revisiones visuales que tienden a ser difusos, mientras que por otra parte se concatenaría la solución de las pruebas de funcionamiento y los métodos utilizados para la determinación de la confiabilidad que están íntimamente interrelacionados entre sí.

## **Conclusiones**

- La humedad y la temperatura siempre serán un problema que estará presente en las celdas de media tensión, sobre todo en Cuba en los que los niveles de humedad en el ambiente son altos y ocasionan mucha corrosión por causa de los niveles de salinidad e incluso las fuertes temperaturas que pueden calentar los compartimientos en los que haya ingreso de agua y así convertirlo en humedad por causa de la vaporización de esta.

- Los datos históricos de las pruebas y revisiones visuales que se obtienen de las celdas eléctricas de media tensión no se utilizan adecuadamente en Cuba, lo cual incide negativamente en proporcionar una valoración completa del estado real de los mismos.
- El uso de la inteligencia artificial en la gestión y solución de diversos problemas donde intervienen diferentes variables que puedan ser ambiguas o subjetivas, permite incluir las variables necesarias para la gestión contextualizada del mantenimiento de las celdas eléctricas.

## Referencias Bibliográficas

- Álvarez Fernández, E. (2018). Gestión de mantenimiento: Lean Maintenance y Tpm. [en línea]. [Tesis de maestría, Universidad de Oviedo]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24850/1/UPS-CT010528.pdf> .
- Alcántar Bazúa, L. p. (2019). Apuntes de Subestaciones Eléctricas. Mexico: Bajo Tierra Ediciones. ISBN 1-55937-988-X
- Castelo Vega, H. S. (2017). Modelo de gestión de mantenimiento de producción total y su incidencia en el rendimiento operacional en el area de extrusión de balanceados para animales. [en línea]. [Memoria inedita, Universidad Técnica de Ambato]. Disponible en: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26702/1/Tesis\\_%20t1331mgo.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26702/1/Tesis_%20t1331mgo.pdf).
- Cuascuas Gutiérrez, J. H. (2020). Simulación de interruptores de potencia con gas en ATP Draw. [en línea]. [Memoria inedita, Instituto Politécnico Nacional]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/7182/1/4.pdf>:
- Cuascuas Gutiérrez, J. H. (2008). Arquitectura y montaje de subestaciones aisladas por Hexafloruro de Azufre. Ciudad de Mexico, Mexico: Instituto Politécnico Nacional.
- Gondres Torné, I., Lages Choy, S. y del Castillo Serpa, A. (2018). Modelo de gestión de mantenimiento parcial a interruptores de potencia mediante inteligencia artificial. Revista Chilena. [en línea]. Chile: Universidad de Chile. vol. 26, no. 3, pp. 391-397. ISSN 0718-3305. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v26n3/0718-3305-ingeniare-26-03-00391.pdf>
- García Garrido, S. (2020). Mantenimiento correctivo. Organización y gestión de la reparación de averías. [en línea]. Madrid, España: RENOVETEC. ISBN 978-8479785482. Disponible en: <http://www.renovetec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>.
- HU, Q. ZHANG, L. AN S. ZHANG, D. (2023). On Robust Fuzzy Rough Set Models. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. **20**(4), 636-651. ISSN 0718-3305.

- Jaramillo Carrión, L. R. y Miño Santander, L. B. (2018). Manual de verificación y mantenimiento Subestación Eléctrica CC Santo Domingo. [en línea]. [Memoria inedita, Universidad de Cuenca]. Disponible en: <http://192.188.48.14/handle/123456789/40?offset=80>.
- Marrero Hernández, R. A., Vilalta Alonso, J. A. y Martínez Delgado, E. (2019). Modelo de diagnóstico-planificación y control del mantenimiento. Ingeniería Industrial. [en línea]. La Habana, Cuba: Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Cujae. vol.40, no.2, pp. 148-160. ISSN 1815-5936. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v40n2/1815-5936-rii-40-02-148.pdf>
- Anguiano, J. N. (2021). Interruptores Electromagnéticos. [en línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/617708300/INTERRUPTORES-ELECTROMAGNETICOS>
- Núñez Ramírez, F. H. (2015). Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. [en línea]. Santo Domingo, Republica Dominicana: Centrales De Generacion y Subestaciones Electricas.. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/225150793.pdf>.
- Osorio Patiño, W. y Culma Ramírez, C. A. (2019). Manual para la operación de subestaciones eléctricas con niveles de tensión 115 kV, 33 kV y 13,2 kV . [en línea]. [Memoria inedita, Universidad Tecnológica de Pereira]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/45d3d748-ba03-4ca9-8c45-a405093484f7/content>.
- Pérez Rondón, F. A. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial. [en línea]. [Memoria inedita, Universidad Santo Tomas]. . Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- Prieto Montilla, J. M. (2017). Circuitos de Control de Dispositivos de Corte en Subestaciones Eléctricas. [en línea]. [Memoria inedita, Universidad de Sevilla]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/91143/fichero/Primera+revisi%F3n+%28Recupera+do+autom%E1ticamente%29.pdf>.
- Peña, D. A. (2011). Estudio de procedimientos para el mantenimiento de interruptores aislados en SF6 en el taller de equipos de distribución de la EDC, ubicado en el centro de servicios de Chacao. [en línea]. [Memoria inedita, Universidad Central de Venezuela]. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/14125/1/TESIS.pdf>.
- . Vasco Molina, J. P. (2015). Diseño de un esquema de reconexión automática para alimentadores primarios en siete subestaciones tipo de la Empresa Eléctrica Quito S.A. [en línea]. [Memoria

inedita, Universidad Politécnica Salesiana]. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8067/6/UPS-KT00957.pdf>.