

Metodología para el diagnóstico y la gestión de mantenimiento en las subestaciones eléctrica de los grupos de generación distribuida

Methodology for the diagnosis and maintenance management in the electrical substations of the distributed generation groups

Carlos Manuel Ruano González

ORCID: 0000-0002-9647-8759

(Recepción: 20/08/2023 y aceptación 03/10/2023)

Resumen— La generación distribuida juega un papel importante en la disponibilidad en los Sistema Eléctrico de Potencias. Por su naturaleza, cambia la concepción de las técnicas de mantenimiento respecto a las tradicionalmente usadas en las subestaciones convencionales, por lo que la gestión para su realización debe estar bien concebida y fundamentada para lograr su eficiencia operacional. Partiendo de esta consideración, se dirige el análisis hacia el diagnóstico y mantenimiento de las celdas de la subestación del grupo de generación con fuel oil HYUNDAI de 40 MW ubicado en la ciudad de Camaguey Cuba. Actualmente no se cuenta con un proceder para realizar esta actividad, y se emplean procedimientos aplicados a las subestaciones de exteriores. Después de estudios realizados ante las frecuentes averías que han comprometido el servicio y provocados daños a los equipos que componen las celdas, se propone una metodología para el diagnóstico y la gestión del mantenimiento a este tipo de subestaciones, lográndose reducir las averías y reducir los costos por concepto de mantenimiento.

Palabra clave: celdas, metodología, mantenimiento, subestación

Abstract— The distributed generation has great importance for the availability of the National Electrical of Power. For its nature, must change the conception of the maintenance procedures in relation to the traditionally used in the conventional substations, which is why the step for its realization should be well conceived and well justified. Since this consideration, the analysis is directed toward the diagnosis and maintenance of the cells of the substation of the group of generation with fuel oil HYUNDAI of 40 MW. At the present, there is not a procedure to accomplish this activity, and actions applied to the substations of exteriors are used. After of studies developed in front of frequent damages that have compromised the service and provoked damages to the equipment's of the cells, a methodology for the diagnosis and the maintenance management to this type of substations is proposed.

Keywords: cells, methodology, maintenance, substation

Carlos M. Ruano_González Universidad de Camaguey - Cuba, cmruanog@gmail.com

1 INTRODUCCIÓN

La generación distribuida juega un papel importante como complemento de la generación base y mientras no se modifique la “Matriz energética”, dando paso a la generación con fuentes renovables de energías, se hace necesario mantenerla en buen estado técnico.

Las subestaciones eléctricas de interiores, asociadas a la generación distribuida, independientemente que de forma conceptual cumplen el mismo objetivo que las subestaciones eléctricas de exteriores, tienen sus particularidades en su diseño que hace que la concepción de su diagnóstico y mantenimiento, deban tener otras consideraciones respecto a las subestaciones de exteriores tradicionalmente empleadas. Por esto es de suma importancia contar una metodología para el diagnóstico y la gestión del mantenimiento, adecuada para evitar las frecuentes averías que comprometen el servicio de energía eléctrica a los usuarios y precaver daños a los equipos primarios que componen las celdas eléctricas.

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 (IEEE Std 3007.2, 2010).

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

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 investigaciones más recientes

realizada por grupos de trabajo de Grandes Redes Eléctricas por su sigla en inglés (CIGRE), se plantea que dentro de los esquemas de mantenimientos más utilizados están el mantenimiento preventivo en un 55%, este generalmente 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, 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 las celdas eléctricas 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), el mantenimiento basado en la condición representa el 8% y un 37% la combinación de ambos.

El diseño de estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo descriptivo utilizando la metodología de estudio de caso en un grupo de Generación Distribuida con fuel oíl HYUNDAI de 40 MW, el mismo está compuesto por cuatro baterías conformadas con cuatro motores del tipo HSR77198P de 2,5 MW cada uno, cada batería tiene una generación de 10 MW para un total de 40 MW.

La subestación eléctrica de salida del grupo o Shelter, como es conocida pertenece al grupo de generación distribuida ubicado en el municipio de Nuevitas, provincia de Camaguey Cuba, la conforman 11 celdas eléctricas con la siguiente distribución:

- Cuatro transformadores tipo KMO – 0542 de salida de las baterías de 12,5 MVA y 34.5/6,6 kV.
- Cuatro líneas eléctricas de salida, una de enlace de barra y dos salidas de conexión con una subestación de 110 kV de salida de planta de una Central Termoelectrica.
- Cada celda de alta tensión la componen, generalmente, un interruptor de potencia, un desconectivo de barra, un desconectivo de tierra, un juego de pararrayos, transformadores de potencial, un transformador de corriente por fase y los conductores, todos a un nivel de tensión a 34,5 kV.

Esta subestación es atendida por la Empresa de Construcciones de la Industria Eléctrica (ECIE), siendo responsabilidad de esta entidad; la realización de los mantenimientos, la atención a averías y daños a los equipos primarios, así como la sustitución de algunos en casos en que sea necesario.

Independientemente de ser subestaciones eléctricas de interiores y encontrarse en un espacio reducido de cabinas metálicas y climatizadas, siempre existe penetración de partículas contaminantes como polvos en suspensión y hollín que, ante la condensación de la humedad, provocan, una condición anormal de funcionamiento, llegando a descargas de tensión entre las partes energizadas o activas de los equipos y hasta a severas fallas por contaminación con un apreciable índice de falla. Por lo antes expuesto, se ha prestado una especial atención a las técnicas de diagnóstico y mantenimiento de esta subestación. 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), estas técnicas del mantenimiento han tenido un cierto avance en algunos equipos primarios de subestaciones como son los transformadores de potencias, pero no el resto de los elementos que componen los campos en las subestaciones de exteriores y las celdas eléctricas de las subestaciones de interiores.

El estudio del arte en la gestión de los mantenimientos a las subestaciones eléctricas de media tensión de interiores, se refiere a la aplicación de técnicas y herramientas avanzadas en el ámbito de la ingeniería eléctrica para mejorar la eficiencia, calidad y seguridad de las operaciones de mantenimiento. Se observa que en ninguno de los estudios, se ha realizado un análisis profundo de la gestión del mantenimiento para evitar de alguna forma las diferentes fallas y averías registradas en las celdas eléctricas, por lo que a pesar del aumento gradual de las diferentes investigaciones científicas y tesis relacionadas con el diagnóstico y monitoreo de las condiciones técnicas de los equipos primarios de subestaciones, se denota un vacío en los estudios realizados en el mundo referente a la gestión de mantenimiento de las subestaciones de media tensión de interiores.

2 METODOLOGÍA

2.1 Métodos de investigación

- **Métodos teóricos**

Histórico: Para conocer los métodos más comunes desarrollados en la realización de la gestión de los mantenimientos y diagnósticos, desde su surgimiento, evolución y desarrollo.

Análisis-Síntesis: Para analizar los componentes primarios de las celdas eléctricas de modo integral y comprender su estructura. En la síntesis deben unirse armónicamente las partes previamente analizadas, a fin de revelar sus relaciones y características generales.

Sistémico: Para establecer la relación entre los factores que intervienen en el desgaste o envejecimiento de los equipos primarios.

- **Método estadístico**

Para la obtención de los patrones de comportamiento de las variables de estado para validarlo.

2.1.1 Monitoreo

El monitoreo y diagnóstico de los equipos de subestaciones han atraído gran atención desde hace mucho tiempo, este interés se ha disparado en los últimos años debido a los cambios estructurales en los negocios de la electricidad. En el competitivo mercado actual, los productores deben seguir las estrategias que coincidan en lo más posible con los intereses de los consumidores, ya que el desarrollo en el monitoreo y diagnóstico debe estar directamente relacionado con las necesidades de las empresas eléctricas y para reducir

los costos operacionales. El monitoreo y el diagnóstico se aprecia como una posible vía de optimización de los activos existentes [1], con vistas a reducir los costos de mantenimiento, prevenir las salidas por emergencia, y lograr que los equipos trabajen un plazo mayor y de una forma más segura [2].

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 [3]. Es, por tanto, condición para la rectificación o profundización de la ejecución y para asegurar la retroalimentación entre los objetivos y 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 tanto, es 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 [4].

2.1.2 Diagnóstico

Por otro lado, 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 [5].

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

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 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 [6]. 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 que permitan la intervención oportuna del equipo para lograr máxima disponibilidad y confiabilidad de los mismos a través del mantenimiento [7].

2.2 Generalidades del Mantenimiento

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 (IEEE Std 3007.2, 2010).

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.

Por otro lado, de acuerdo a investigaciones más recientes, se plantea que dentro de los esquemas de mantenimientos más utilizados están el mantenimiento preventivo en un 55%, este generalmente 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, 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 las celdas eléctricas 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), el mantenimiento basado en la condición representa el 8% y un 37% la combinación de ambos.

Se aplican de forma general los siguientes tipos de mantenimiento:

- Preventivo
- Predictivo
- Correctivo

Para cada uno de ellos, se describen a continuación sus principales características y definiciones:

- a) Mantenimiento preventivo: Es un conjunto de actividades (inspecciones, pruebas, ajustes, reparaciones, toma de muestras, etc.) regularmente programadas y aplicadas a los equipos de una instalación determinada, con el objeto de minimizar su "degradación" o pérdida de vida útil.
- b) Mantenimiento predictivo: Es una técnica que consiste en monitorear regularmente (más seguido que en el mantenimiento preventivo) los parámetros "claves" de un equipo en operación, con la finalidad de detectar y/o corregir a tiempo un problema potencial antes de que se produzca la falla del equipo.
- c) Mantenimiento correctivo: Cuando se detecta que el desempeño de algún equipo comienza a disminuir y se presume las posibles causas de este bajo desempeño, se debe atacar a dichas causas y realizar un mantenimiento del equipo para evitar que el problema se agrave. El mantenimiento realizado en este tipo de circunstancias se lo conoce como mantenimiento correctivo.

Estos conceptos han ido evolucionando y desarrollando y en cualquier caso se pueden distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento:

- a) 1ª Generación: La más larga, desde la revolución industrial hasta después de la 2ª Guerra Mundial, aunque todavía

- impera en muchas industrias. El Mantenimiento se ocupa sólo de arreglar las averías. Es el Mantenimiento correctivo.
- b) 2ª Generación: Entre la 2ª Guerra Mundial y finales de los años 70 se descubre la relación entre edad de los equipos y la probabilidad de fallo. Se comienza a hacer sustituciones preventivas. Es el Mantenimiento preventivo.
- c) 3ª Generación: Surge a principios de los años 80. Se empieza a realizar estudios CAUSA-EFECTO para averiguar el origen de los problemas. Es el mantenimiento predictivo o detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe a producción en las tareas de detección de fallos.
- d) 4ª Generación: Aparece en los primeros años 90. El mantenimiento se contempla como una parte del concepto de "calidad total". Se entiende que mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos. Es el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR). Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo coste.

Sobre la base de los resultados obtenidos de pruebas realizadas al equipo eléctrico, 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:

- 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.
- Establecer las necesidades de mantenimiento para cada equipo.
- Formular las actividades de los programas de mantenimiento.
- Determinar actividades con prioridad de mantenimiento para cada equipo en particular.
- Se debe contar con personal especializado y competente para realizar las actividades de mantenimiento al equipo y establecer métodos para su control.

Se requiere un cambio de mentalidad en las personas y se utilizan herramientas como:

- Ingeniería del riesgo (determinar consecuencias de fallos que pueden ser aceptables o no).
- Análisis de fiabilidad (identificar tareas preventivas factibles y rentables).
- Mejora de la mantenibilidad (reducir tiempos y costes de mantenimiento).

Control y evaluación del mantenimiento a subestaciones eléctricas mediante indicadores de clase mundial

Para conocer cuán eficiente es la aplicación de la política de mantenimiento planificada, se necesita controlar y evaluar la gestión del mantenimiento, esto permite actuar de forma rápida y precisa sobre los factores débiles en el mantenimiento. Deben realizarse informes concisos y específicos, formados por tablas de indicadores y sus respectivos gráficos para algunos de estos. Estos informes deben permitir un análisis fácil y adecuado a cada nivel de gestión, sobre la base de "indicadores de clase mundial", llamados así por ser utilizados y obtenidos en casi todos los países de la misma forma, de los seis indicadores de clase mundial, cuatro se refieren al análisis de la gestión de equipos y dos a la gestión de costos. En este trabajo solo se tuvo en cuenta tres indicadores del primer grupo, el indicador "tiempo medio para la falla" no se analiza, por referirse a equipos reparados. Los tres indicadores analizados son:

- a) **Tiempo medio para reparaciones (TMPR):** relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de elementos con falla y el número total de fallas detectadas en esos elementos, en el período observado. Tiene la siguiente expresión:

$$TMPR = \frac{\sum HTMN}{NTMC} [h] \quad (1)$$

Donde:

HTMN: tiempo total de mantenimiento (h).

NTMC: número total de fallas detectadas en el período observado.

- b) **Disponibilidad (DISP):** porcentaje del tiempo total que el equipo estuvo a disposición del órgano de operación para desempeñar su actividad.

$$DISP = \frac{HROP}{HROP + HTMN} \times 100 \quad (2)$$

- c) **Tiempo promedio entre fallos (TMEF):** indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo". Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Tiene la siguiente expresión:

$$TMEF = \frac{NOIT \times HROP}{NTMC} [h] \quad (3)$$

Donde:

NOIT: total de elementos analizados.

HROP: tiempo total de operación (h).

$$TMEF = \frac{7 \times 2160}{2} = 7560 [h]$$

Sobre esta línea de trabajo se dirige el análisis a las celdas que conforman la subestación del grupo de generación distribuida. Teniendo en cuenta los indicadores mencionados anteriormente y las bases de datos generadas de la gestión del

mantenimiento aplicada a la subestación de referencia, se obtiene que el tiempo promedio entre fallos tomando como ejemplo una celda que la conforman siete elementos primarios tiene como promedio dos fallas en el trimestre, es:

2.2.1 Metodología existente

La metodología existente son varias, ya que diferentes empresas están encargadas de mantener y atender las averías en los grupos de Generación Distribuida, que, al no existir un procedimiento específico para este tipo de subestación eléctrica, se aplica el procedimiento para subestaciones de exteriores, ejecutándose las actividades de mantenimiento en los tiempos programados en esta normativa [2]. Según este documento, el mantenimiento a las subestaciones eléctricas de exteriores se ejecuta una vez al año a los equipos primarios, así como acciones de diagnóstico con termografía infrarroja una vez a la semana. La medición termográfica no se realiza en las subestaciones de grupos electrógenos por lo que solo se ejecuta su mantenimiento anualmente sin acciones de diagnóstico. En la tabla 1 se aprecia un ejemplo de la programación de las celdas.

TABLA 1

Programación anual de los mantenimientos por celdas de acuerdo al modelo existente.

No. Celdas	Equipos	Año y mes de ejecución del mantenimiento		
		2020	2021	2022
1	Interruptor	Junio	Junio	Junio
	Desc. de barra	Junio	Junio	Junio
	Desc. a tierra	Junio	Junio	Junio
	TC	Junio	Junio	Junio
	Pararrayos	Junio	Junio	Junio
	Conductores	Junio	Junio	Junio

3 RESULTADO Y DISCUSIÓN

Propuesta de metodología para el mantenimiento a subestaciones eléctricas de 34,5 kV utilizadas en los grupos de generación distribuida.

Las instalaciones de los grupos electrógenos para la generación distribuida, aun en estos momentos juegan un rol fundamental como complemento de la generación base de los Sistema Eléctricos de potencias, hasta que no se logre modificar la matriz energética en lo concerniente a la generación de electricidad con fuentes de energía renovables y teniendo en cuenta la metodología de los mantenimientos a las subestaciones eléctricas de estas instalaciones no tienen con un proceder y se aplican los estándares establecidos en el procedimiento de las subestaciones eléctricas de exteriores y al no existir ninguna actividad de diagnóstico [3], este tipo de subestación eléctrica presentan una situación específica por su configuración, que son conformadas por celdas dentro de un

local climatizado a una temperatura de trabajo entre 21 y 23 °C, la cual no siempre se cumple y no existe una total hermeticidad, que provoca la acumulación de sólidos en suspensión y hollín que se depositan en las superficies provocando conducción entre las partes activas de los elementos y tierra.

Existiendo saltos de corrientes indeseados que conllevan a fallas o salidas fuera de servicio de las celdas eléctricas, por lo que se necesita disminuir la frecuencia de verificación de sus parámetros ósea que el tiempo entre un mantenimiento o control de sus parámetros puede variar, donde se busca una relación de tiempo mínimo para realizar la intervención antes que ocurra la avería [4], esto apoyado con un sistema de diagnóstico termografico una vez a la semana como se realiza en las subestaciones eléctricas de exteriores que permite el monitoreo de la condición.

Esta propuesta está basada en la experiencia de la explotación, mantenimientos y atención de las averías en una subestación eléctrica de un grupo electrógeno de 40 MW de la Generación Distribuida, que de acuerdo a los estudios y análisis realizados debidos a las frecuentes fallas presentadas en las celdas que componen la subestación eléctrica conllevan a implementar una técnica de diagnóstico de termografía infrarroja que es posible ejecutar, ya que se cuenta con la tecnología y la realización de mantenimientos en un menor plazo de tiempo.

Los indicadores de gestión del mantenimiento una vez aplicada la nueva metodología, se puede apreciar que alcanza una mayor confiabilidad al disminuir los eventos de fallos o detectar precozmente su ocurrencia, la cual permite una mejor planificación del mantenimiento. En este caso los eventos de fallo en el periodo observado, ósea en un trimestre no ocurren fallos, si no su periodicidad es de una falla en el semestre, obteniendo de la ecuación de tiempo promedio entre fallos referenciados a tres meses tenemos un valor de:

$$TMEF = 30240 [h]$$

Realizando una comparación con el tiempo promedio de la anterior metodología vemos una mejora sustancial. El tiempo promedio entre fallo en los años anteriores Tabla 2 (elaboración propia). Con la anterior metodología era de aproximadamente de 7560 [h] y ahora con la nueva metodología es de 30240 [h], valor muy superior [5].

TABLA 2

Comparación del tiempo promedio de fallo, en los últimos tres años

Años	2022	2021	2020
Tiempo promedio de fallo	7555	7855	7560

4 CONCLUSIONES

En el análisis que se realizó en la subestación eléctrica del grupo electrógeno por las continuas averías producidas por saltos de corrientes en los elementos que componen las celdas eléctricas, entre la parte activas de los equipos y tierra que provocan salidas de servicio, con sus inconvenientes como son falta de servicio al cliente, reparación de elementos dañados que trae consigo gastos de recursos materiales y de capital humano y al no existir un procedimiento o metodología para la realización de los mantenimientos, se aplica el utilizado en las subestaciones de alta tensión de exteriores, pero el diseño de estas subestaciones conformadas por celdas dentro de un local climatizado tiene sus especificidades, además de no realizarse ningún tipo de diagnóstico, es necesario establecer una metodología para su concepción,

Por lo que es necesario utilizar como método de diagnóstico la termografía infrarroja una vez por semana, para la cual se cuenta con los medios técnicos necesarios como la cámara infrarroja InfRec modelo R300R-D y de esta forma determinar tempranamente los posibles saltos de corrientes entre la parte activa y tierra.

Se demuestra que la metodologías utilizadas en la gestión de los mantenimientos para las subestaciones de interiores utilizadas en los grupos electrógeno de generación distribuida y en específico las normativas para realizar el mantenimientos no se adecuan para este tipo de subestación, por lo que se hace necesario implantar una metodología, que aunque no tenga en cuenta el monitoreo de la condición de la subestación o de las celdas en específico, ya que no se cuenta con la tecnología necesaria, se pueda identificar a tiempo la posible falla, realizando un eficiente diagnóstico termográfico e interviniendo oportunamente los elementos que la componen.

5 REFERENCIAS

- [1] Casaña-Medel, J. C., Macías-Socarras, I., y Morales-Tamayo, Y. "El mantenimiento a partir de los indicadores de clases mundial en la fábrica Lácteos Bayamo" Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2021, vol. 30, n. 3, p. 115-132 ISSN 2071 - 0054. [Consultado el 25 de enero de 2022]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu>
- [2] PEREA LOZANO, Brenda Yasnier; LOPEZ SUAREZ, Henry Norholey. "Implementación de mantenimiento preventivo y predictivo en la empresa EQUIACERO SA" Revista UNILIBRE 2020, vol. 8, n. 3, p. 85-112
- [3] MONTANÉ - GARCÍA, Jorge Juan; DORRBERCKER - DRAKE, Santiago Alfredo; HERNÁNDEZ - AREU, Orestes. "El mantenimiento a los transformadores de potencia; su análisis en el caso de una central termoeléctrica cubana". Ingeniería Energética Vol. XXXII, 2/2011 Abril - Julio p- 56- 64 ISSN 1815 - 5901.
- [4] RUANO GONZÁLEZ, Carlos. "Metodología para el mantenimiento de interruptores empleados en las maniobras de reactores y bancos de reactores". XIX Simposio de Ingeniería Eléctrica (SIE-2021). III Convención Científica Internacional 2021. Universidad Central de las Villas "Martha Abreu" Santa Clara Noviembre 2021.
- [5] Revista Mantenimiento Mundial. "Indicadores de Clase Mundial", vol. 3, núm 15[en línea]. [ref. de 16. de agosto 2019]. Disponible en Web: <http://www.mantenimientomundial.com>.
- [6] VÉLEZ- QUIROZ, Alcira Magdalena; FILGUEIRAS- SAINZ DE ROZAS, Miriam Lourdes; VILARAGUT- LLANES, Miriam; Revista Ingeniería Energética. 2022. Vol. 43, núm. 3, septiembre/diciembre. ISSN: 1815-5901.
- [7] ABB. "Celdas Metal Clad-Metal Enclosed". 2020.
- [8] ROQUE-LOPEZ. Alexander. "Transformadores Eléctricos". Universidad Nacional Autonoma De Honduras. Tegucigalpa 2019.
- [9] ZAPATA de la CRUZ, Luis. "Filosofía y generación de valores a través de la gestión de mantenimiento", 20 Congreso Peruano Ingeniería de Mantenimiento, Lima. 2020.
- [10] ITESA, soluciones de energía. "Celdas de Media Tensión: ¿Qué tipos hay?", [en línea] 2022. Disponible en Web: <http://www.itesa.com.pe>
- [11] Sánchez Durán, R. "El futuro y el mantenimiento energético". Universidad de Sevilla (España). Tesis Doctoral. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=283233,PP.234.2020>
- [12] Moreno Muñoz. Alberto, Máster en Ingeniería del mantenimiento (MUEA), " Implementación del mantenimiento TPM, Técnicas Lean y 4.0", Mayo 2022.
- [13] DEUS AGUILERA. CARLOS, CABRERA GÓMEZ. JESÚS, Una mirada a la evolución natural del mantenimiento, Nota técnica 382, CubaMan, Diciembre de 2022.
- [14] [14] Fujitsu, Observatorio de Industria 4.0. España, El Mantenimiento Predictivo en la Industria 4.0, Club Excelencia en Gestión: www.clubexcelencia.org. 2022
- [15] M. en C. Luna Pérez. Miguel Ángel, Doctorado en Ingeniería de Sistemas, Instituto Politécnico Nacional, SEPI ESIME Zacatenco, Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la industria 4.0, South Florida Journal of Development, Miami, v.2, n.1, p. 1009-1017, jan./feb. 2021. ISSN 2675-5459.

6 BIBLIOGRAFÍA

Carlos Manuel Ruano González Ingeniero Electricista desde 1985 en la Universidad de Camagüey. Cuba. Desde el año 1990 trabaja en el Sistema Eléctrico de Potencia en las subestaciones de media y alta tensión, ha participado en varios eventos internacionales de la especialidad, es master en ciencia y actualmente está matriculado en un programa doctoral, trabaja en la actualidad como especialista de campo, tiene vasta experiencia en la operación y control de los sistemas eléctricos de potencia, así como en la operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas y líneas de transmisión eléctricas.