

Desarrollo de una política de mantenimiento para equipos de misión crítica en empresas de servicios IT.

Gastón Eduardo Calderón Cardozo

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI,

Seminario de Investigación II

Miguel Angel Urián Tinoco

Agosto de 2021

Dedicatoria

A Dios por darme la vida y permitirme la oportunidad de realizar este estudio, a mi Abuelo Miguel María por las enseñanzas recibidas, a mis padres José Félix y Alba María por trasmitirme la fe y los valores inculcados. A mi esposa Angélica Rocio por su infinito amor, apoyo incondicional y comprensión durante este tiempo, a mis hijos Gabriel Eduardo, Juan Pablo y Juan Esteban por ser un motor en mi vida, por su compañía, ternura y ánimo para sacar adelante este proyecto.

Gastón Eduardo Calderón Cardozo

Introducción

La presente investigación se desarrolla como opción de grado para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.

Con la llegada de la pandemia, las empresas de servicios IT experimentaron una creciente demanda de interacciones, causada por el cambio en el esquema operacional de los mercados y la necesidad de conexiones remotas para atención de asuntos que anteriormente se realizaban de forma presencial. La presente investigación se fundamenta en la necesidad global de sistemas eléctricos confiables, capaces de soportar la nueva demanda de servicios de Internet y una transformación cada vez más orientada hacia la virtualidad de las cosas.

La metodología empleada consistió en la selección de una empresa prestadora de servicios IT, cuya potencia eléctrica instalada en equipos de misión crítica fuera superior a los 3MVA y realizar un análisis a sus sistemas y subsistemas, a fin de identificar oportunidades de mejora en el proceso de mantenimiento. Los capítulos del 1 al 4 describen la pregunta problémica, los objetivos generales y específicos, la justificación y delimitación para el desarrollo de la investigación. El capítulo 5 da una mirada al marco teórico involucrando colateralmente el camino para la propuesta de solución al problema identificado. Los capítulos del 6 al 9 abordan la propuesta de solución, los impactos causados y el análisis financiero; el trabajo finaliza en el capítulo 9 con las conclusiones y recomendaciones generadas durante la investigación.

Resumen

El primer paso en la estructuración de una política de mantenimiento para empresas de servicios IT fue la identificación del proceso de mantenimiento aplicado a los equipos de misión crítica, este paso fue logrado a través de la tipificación de brechas y oportunidades de mejora. Del análisis de criticidad se plantea un proceso de mantenimiento basado en alta disponibilidad, aplicable a los equipos de misión crítica cuyo impacto principal es el incremento de once puntos porcentuales en el valor de la confiabilidad del sistema eléctrico de respaldo.

La implementación de la política de mantenimiento en empresas de servicios IT, será el primer paso en la consolidación de un mantenimiento de clase mundial centrado en alta disponibilidad.

Palabras clave: Misión crítica, mantenimiento, alta disponibilidad, confiabilidad, servicios IT

Abstract

The first step in structuring a maintenance policy for IT services companies was the identification of the maintenance process applied to mission-critical equipment, this step was achieved through the classification of gaps and opportunities for improvement. From the criticality analysis, a maintenance process based on high availability is proposed, applicable to mission-critical devices whose main impact is the one-time increase in percentage points in the reliability value of the backup electrical system.

The implementation of the maintenance policy in IT services companies will be the first step in the consolidation of a world-class maintenance based on high availability.

Keywords: Critical mission, High disponibility, Reliability, IT Services

Contenido

1	Título de la Investigación	13
2	Problema de investigación.....	13
2.1	Descripción del problema.....	13
2.2	Planteamiento del problema	14
2.3	Sistematización del problema.....	14
3	Objetivos de la investigación.....	14
3.1	Objetivo general	14
3.2	Objetivos Específicos	15
4	Justificación y delimitación	15
4.1	Justificación de la Investigación	15
4.2	Delimitación de la investigación.....	16
4.3	Limitaciones de la investigación.....	16
5	Marco referencial.....	17
5.1	Estado del arte	17
5.1.1	Estado del arte nacional.....	17
5.1.2	Estado del arte internacional	21
5.2	Marco teórico	25
5.2.1	Una creciente demanda de Internet causada por el Covid-19.....	25
5.2.2	Sistemas de misión crítica.....	27

5.2.3	De la historia del mantenimiento	29
5.2.4	Mantenimiento Preventivo	31
5.2.5	Mantenimiento Correctivo	32
5.2.6	Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo	32
5.2.7	Análisis de riesgo en sistemas eléctricos de misión crítica.....	33
5.2.8	Redundancia en sistemas de misión crítica.....	35
5.2.9	Mantenimiento y gestión de equipos eléctricos de misión crítica.....	37
5.3	Marco normativo y legal	39
6	Marco metodológico.....	40
6.1	Recolección de la información.....	40
6.1.1	Tipo de investigación	41
6.1.2	Fuentes de obtención de la información.....	42
6.1.3	Herramientas	43
6.1.4	Metodología	44
6.1.5	Información recopilada	46
6.2	Análisis de la información.....	55
6.2.1	Estructura de mantenimiento eléctrico.....	55
6.2.2	Proceso de mantenimiento eléctrico dentro de la Compañía	59
6.3	Propuesta de solución.....	63
6.3.1	Taxonomía de activos objeto de estudio	63

6.3.2	Análisis de criticidad.....	66
6.3.3	AMEF.....	68
6.3.4	Pilares de Mantenimiento.....	72
6.3.5	Política de Mantenimiento	73
6.3.6	Nuevo organigrama de mantenimiento eléctrico	88
6.3.7	Definición de roles dentro del proceso de mantenimiento.....	93
6.3.8	Plan de capacitación para el equipo de mantenimiento eléctrico.....	94
6.3.9	Indicadores de mantenimiento y control	95
7	Impactos esperados/generados	95
7.1	Impactos esperados	95
7.2	Impactos alcanzados.....	96
7.3	Discusión.....	98
8	Análisis Financiero	100
8.1	Costo de implementación de la propuesta.....	100
8.2	Estimación de la utilidad económica.....	100
8.3	Aplicación de indicador ROI.....	101
9	Conclusiones y recomendaciones.....	102
9.1	Conclusiones	102
9.2	Recomendaciones.....	103
10	Bibliografía	104

Ilustración 1 Tráfico de Internet por operador en Colombia enero-abril 2020	26
Ilustración 2 Comportamiento diario del tráfico de datos durante la cuarentena.....	27
Ilustración 3 Ley de los nueves	29
Ilustración 4 Evolución de las expectativas de mantenimiento.....	30
Ilustración 5 Potenciales riesgos de indisponibilidad.....	34
Ilustración 6 Proceso de gerencia de instalaciones	39
Ilustración 7 Clasificación de la Taxonomía con niveles taxonómicos	44
Ilustración 8 Reportes de mantenimiento a Generadores y UPS realizados por terceros	52
Ilustración 9 Mapa de proceso de mantenimiento en la Compañía.....	53
Ilustración 10 Organigrama actual equipo de mantenimiento eléctrico.....	55
Ilustración 11 Pilares de la estrategia de mantenimiento como solución propuesta	73
Ilustración 12 Nuevo proceso de mantenimiento para EMC	74
Ilustración 13 Subproceso de atención de emergencias AE.....	75
Ilustración 14 Subproceso de mantenimiento correctivo no programado MCNP.....	76
Ilustración 15 Subproceso de mantenimiento correctivo programado MCP etapa I.....	77
Ilustración 16 Subproceso de mantenimiento correctivo programado MCP etapa II	78
Ilustración 17 Proceso de mantenimiento preventivo MP.....	79
Ilustración 18 Subproceso de ejecución de mantenimiento preventivo programado MPP a través de terceros.....	80
Ilustración 19 Subproceso de inspección técnica IT en EMC.....	81
Ilustración 20 Subproceso de mantenimiento predictivo MPD.....	82

Ilustración 21 Herramienta para la medición de cumplimiento de terceros en actividades de mantenimiento.....	83
Ilustración 22 Nuevo organigrama de mantenimiento eléctrico alineado con la política	89
Tabla 1 Recientes fallas catastróficas en sistemas eléctricos mundiales	34
Tabla 2 Niveles Uptime Institute	37
Tabla 3 Marco normativo y legal.....	40
Tabla 4 Tipos de investigación	41
Tabla 5 Paradigmas de investigación.....	41
Tabla 6 Distribución de sedes por ciudad	46
Tabla 7 Listado de generadores eléctricos de la Organización	47
Tabla 8 Listado de UPS propiedad de la Compañía	48
Tabla 9 Frecuencia de mantenimiento preventivo para generadores eléctricos.....	49
Tabla 10 Frecuencia de mantenimiento preventivo para UPS	50
Tabla 11 Registro de histórico de fallas presentadas en los equipos de misión crítica de la Organización.....	53
Tabla 12 Criterio de definición para asignación de rutinas de mantenimiento.....	56
Tabla 13 Cálculo de confiabilidad del sistema de misión crítica.....	57
Tabla 14 Actividades de mantenimiento preventivo en generadores eléctricos	58
Tabla 15 Actividades de mantenimiento preventivo programado en UPS	59
Tabla 16 Brechas y oportunidades de mejora en mantenimiento eléctrico.....	61
Tabla 17 Taxonomía general basada en ISO 14224 para EMC objeto de estudio	63
Tabla 18 Taxonomía aplicada en EMC objeto de estudio	64
Tabla 19 Matriz de riesgos por falla de EMC.....	66

Tabla 20 Matriz de criticidad para EMC objeto de estudio	67
Tabla 21 Resultados del análisis de criticidad en los EMC de la Compañía.	67
Tabla 22 Análisis de modos de falla y efectos para EMC	68
Tabla 23 Causa, consecuencia y criticidad de fallas en EMC	69
Tabla 24 Nivel de criticidad según el número de interacciones afectadas y duración de la falla	75
Tabla 25 Acuerdo niveles de servicio definidos para EMC.....	83
Tabla 26 Nuevas frecuencias de mantenimiento preventivo y predictivo	84
Tabla 27 Actividades de MPP N1 en generadores eléctricos incluyendo cambio de consumibles.....	86
Tabla 28 Actividades de MPP N1 en UPS incluyendo pruebas básicas	87
Tabla 29 Formato de inspección rutinaria.....	97
Tabla 30 Costo total para la implementación de la política de mantenimiento en la Compañía	100
Tabla 31 Multas pagadas a clientes en 2.020 por indisponibilidad en las diferentes plataformas.....	101

1 Título de la Investigación

Desarrollo de una política de mantenimiento para equipos eléctricos de misión crítica en empresas de servicios IT.

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema

La llegada del SARS-CoV-2 ha transformado la dinámica de los mercados en empresas de servicios IT, gran número de clientes se ha visto obligado a cambiar su esquema de operación migrando a un modelo de atención de servicios remotos en donde la estabilidad en los canales de comunicación cobra relevancia. Numerosas son las variables que intervienen en el proceso de estabilidad en los canales de comunicación, una de ellas está relacionada con el suministro ininterrumpido de potencia eléctrica hacia las fuentes que alimentan servidores y equipos de comunicación en Datacenters.

Iniciando el año 2020, una compañía de servicios IT atendía en promedio unas 3.900 interacciones diarias con Clientes de otros países; a partir de la declaración de la pandemia el número promedio de interacciones aumentó teniendo cerca de 26.000 clientes diarios al cierre del cuarto trimestre del mismo año.

Como respuesta a la nueva demanda se hace necesaria la creación e implementación de una política de mantenimiento para equipos de misión crítica que asegure la continuidad operacional en los diferentes mercados de la compañía.

2.2 Planteamiento del problema

Como planteamiento del problema se propone la siguiente pregunta problémica:

¿Cómo desarrollar una política de mantenimiento en equipos eléctricos de misión crítica para empresas de servicios IT?

2.3 Sistematización del problema

¿Existe una estrategia para consolidar la base de datos de equipos eléctricos de misión crítica?

¿Cómo crear la taxonomía y análisis de criticidad para los equipos eléctricos de misión crítica en una empresa de servicios IT?

¿Cuáles son los procesos y subprocesos de mantenimiento para los equipos eléctricos de misión crítica en una empresa de servicios IT?

¿Es posible establecer una nueva cultura de mantenimiento para equipos eléctricos de misión crítica en empresas de servicios IT?

3 Objetivos de la investigación

3.1 Objetivo general

Establecer las reglas para la política de mantenimiento en una Compañía de Servicios IT, teniendo como prioridad la seguridad humana, la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de misión crítica definiendo parámetros para la planificación, programación, ejecución y control de las actividades propias del proceso.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar la taxonomía y análisis de criticidad para los equipos eléctricos de misión crítica de la compañía asociando la ubicación y el nivel de tensión de operación para cada activo.
- Establecer los procesos y subprocesos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para la estandarización de rutinas en equipos eléctricos de misión crítica dentro de una compañía de Servicios IT.
- Establecer la cultura de mantenimiento al interior de la Organización enmarcada en una política de valores y calidad humana con herramientas claras para la planeación, programación, ejecución y control.

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación de la Investigación

Con la declaración de la pandemia en marzo de 2020, la dinámica del mercado de telecomunicaciones se transformó rápidamente alineándose con las exigencias propias de la virtualidad, las empresas de servicios IT se vieron en la necesidad de aumentar exponencialmente su operación cuadruplicando las interacciones diarias con clientes locales y extranjeros. Cobra relevancia en la nueva normalidad garantizar las condiciones mínimas de seguridad dentro de las instalaciones eléctricas en una empresa de Servicios IT, por tanto, la alimentación eléctrica en equipos de misión crítica debe contar con sistemas de seguridad eléctrica adecuados que reduzcan la probabilidad de accidentes en los procesos de operación y mantenimiento. Desde el punto de vista de la normativa nacional e internacional, se hace necesario garantizar que los equipos de misión crítica cuenten con elementos de back up para

maximizar la operatividad en los diferentes sistemas y subsistemas de las empresas de servicios IT, lo anterior buscando dar cumplimiento a los indicadores de gestión de la Compañía. El presente trabajo declara los lineamientos de seguridad y confiabilidad requeridos para este tipo de activos.

4.2 Delimitación de la investigación

La presente investigación se realiza entre marzo y septiembre de 2021, tomando como referencia los datos generados en la empresa entre marzo de 2020 y febrero de 2021. El segmento económico seleccionado corresponde a una empresa de servicios IT con presencia en las ciudades de Bogotá, Barranquilla, Cali y Medellín que cuenta con 3.23 MVA de carga crítica instalada.

4.3 Limitaciones de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación únicamente se tendrá acceso a la información básica de los equipos críticos; debido a las políticas de seguridad informática, dicha información no podrá ser publicada en el repositorio de la Universidad.

5 Marco referencial

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado del arte nacional

5.1.1.1 Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede Colina.

En el año 2021 los autores Álvarez Romero Yeison, et al, desarrollaron como opción de grado en la Universidad ECCI la investigación titulada “*Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede Colina*”, en ella, los autores presentan el caso de aplicación de análisis mediante RCM en un grupo electrógeno de Falabella sede Colina aplicando herramientas tales como: análisis de criticidad, taxonomía de activos, análisis de modos de falla y efectos -FMEA- y hojas de decisión, logrando determinar las tareas a incluir en el plan de mantenimiento a fin de aumentar la confiabilidad del sistema de respaldo eléctrico (Alvarez Romero & al, 2021) . El trabajo citado sirve como soporte a la presente investigación teniendo en cuenta la aplicación de herramientas vitales en el proceso de mantenimiento a equipos de misión crítica en empresas de servicios IT.

5.1.1.2 Adecuación del SG SST de Stewart & Stevenson de las Américas Colombia LTDA.

En el año 2020 los autores Fabian Forero, et al, desarrollaron como opción de grado en la Universidad ECCI la investigación titulada “*Adecuación del SG SST de Stewart & Stevenson de las Américas Colombia LTDA*”, en ella, los autores presentan la adecuación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo para dar cumplimiento a la norma ISO 45001:2018 en una empresa que comercializa toda la cadena de suministro y mantenimiento de grupos electrógenos en Colombia (Forero Clavijo & al, 2020). El trabajo citado sirve como guía en la

presente investigación respecto a la gestión de los parámetros de seguridad humana, salud en el trabajo y seguridad eléctrica necesarios dentro del proceso de mantenimiento a sistemas de generación eléctrica bajo la norma ISO 45001:2018.

5.1.1.3 Evaluación de variables de mantenimiento utilizando equipos de monitoreo satelital en plantas eléctricas.

En el año de 2016 los autores Fabian Porras, et al, desarrollaron como opción de grado en la Universidad ECCI la investigación titulada “*Evaluación de variables de mantenimiento utilizando equipos de monitoreo satelital en plantas eléctricas*”, en ella, los autores evalúan variables de mantenimiento utilizando equipos de monitoreo satelital en grupos electrógenos con la finalidad de identificar condiciones de falla y aumentar la vida útil de sus componentes (Porras & al, 2016). El trabajo citado sirve como guía en la presente investigación para identificar las ventajas de contar con un sistema de monitoreo remoto a los equipos de misión crítica como complemento al plan de mantenimiento dentro de compañías de servicios IT.

5.1.1.4 Propuesta de un modelo de confiabilidad QA para Mantenimiento Overhaul en la empresa PCB Ingeniería SAS

En el año 2020 el autor Cesar Barrera Medina, desarrolló como opción de grado en la Universidad ECCI la investigación titulada “*Propuesta de un modelo de confiabilidad QA para mantenimiento overhaul en la empresa PBC Ingeniería SAS*”, en ella, el autor genera una propuesta de modelo de confiabilidad QA para la ejecución de mantenimientos tipo overhaul, realizados en grupos electrógenos que soportan operaciones de Oil & Gas con el fin de obtener trazabilidad de los activos, disminuir sobre costos y paradas no programadas (Barrera Medina, 2020). El trabajo citado sirve como base para la selección y programación de mantenimientos

overhaul necesarios para el adecuado funcionamiento en equipos de misión crítica, basándose en la jerarquización y taxonomía de los activos de una compañía de mantenimiento.

5.1.1.5 Respaldo eléctrico con recursos renovables: Estudio de viabilidad.

En el año 2015 los autores Duván F. Cardona A., et al, escribieron un artículo técnico para la revista Visión Electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas titulado “*Respaldo eléctrico con recursos renovables: Estudio de viabilidad*”, en el, los autores abordan la investigación realizada en el municipio de Icononzo Tolima cuyo objetivo fue evaluar la viabilidad técnica y económica de utilizar fuentes alternativas de energía para el abastecimiento de potencia eléctrica en el Hospital de este municipio. Dentro de la investigación los autores proponen el deslastre de cargas críticas con el fin de que sean alimentadas por el sistema de energía no convencional, dejando únicamente los circuitos de misión crítica alimentados por el sistema de energía convencional (Cardona A., 2015). El artículo citado sirve como guía dentro del análisis de topologías eléctricas existentes para el suministro de energía en sistemas de misión crítica.

5.1.1.6 Propuesta de mitigación de riesgo eléctrico en labores de instalación y mantenimiento de bancos de baterías, para sistemas de alimentación ininterrumpida UPS.

En el año 2020 los autores Nicolás Castillo Alvarez, et al, desarrollaron como opción de grado en la Universidad de La Salle la investigación titulada “*Propuesta de mitigación de riesgo eléctrico en labores de instalación y mantenimiento de bancos de baterías, para sistemas de alimentación ininterrumpida UPS*”, en ella, los autores proponen una alternativa para la prevención de riesgo eléctrico aplicada en trabajos con corriente directa mediante la identificación de causas de accidentes, identificación de riesgos eléctricos asociados y la propuesta de mitigación desde la seguridad eléctrica de las instalaciones (Castillo Alvarez & al,

2020). El artículo citado brinda aspectos relevantes desde la seguridad eléctrica y humana para la instalación y puesta en marcha de sistemas de alimentación ininterrumpida -UPS-, estos dispositivos, hacen parte de la configuración de respaldo y alta disponibilidad en la misión crítica de empresas IT.

5.1.1.7 Análisis del comportamiento del tráfico en Internet durante la pandemia del COVID-19: El caso de Colombia.

En el año 2020 el autor John Jairo Padilla Aguilar, escribió un artículo técnico para la revista Entre Ciencia e Ingeniería de la Universidad Católica de Pereira titulado “*Análisis del comportamiento del tráfico en Internet durante la pandemia del COVID-19: El caso de Colombia*”, en el, el autor aborda un caso de análisis acerca del comportamiento del tráfico de internet durante los meses de marzo y abril de 2020 en Colombia, se resalta el constante crecimiento de usuarios en horas no pico y las exigencias realizadas a las redes locales de telecomunicaciones. Los Proveedores de servicios IT han soportado este aumento de tráfico y dentro del artículo se realiza un estimativo de las expansiones necesarias para soportar demandas futuras (Padilla Aguilar, 2020). El artículo citado constata el creciente aumento de interacciones a las que una empresa prestadora de servicios IT viene enfrentando desde la aparición de la pandemia y refleja los desafíos relacionados con la continuidad operacional en la prestación de este servicio.

5.1.2 Estado del arte internacional

5.1.2.1 Diseño y cálculo de las instalaciones de una sala dedicada en un centro de datos de misión crítica y alta disponibilidad.

En el año 2020 el autor Francisco Marqueño, desarrolló como opción de grado en la Universidad Politécnica de Valencia la investigación titulada “*Diseño y cálculo de las instalaciones de una sala dedicada en un centro de datos de misión crítica y alta disponibilidad*”, en donde el autor presenta una descripción de la metodología de diseño para la expansión de islas en un datacenter situado en el Polígono Industrial Fuente del Jarro (Valencia-España) (Marqueño Navarro, 2020). El trabajo citado sirve como guía en la presente investigación, respecto a la topología de los dispositivos eléctricos presentes en un sistema de misión crítica en centros de datos de alta disponibilidad.

5.1.2.2 Propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento para el sistema electromecánico del centro de datos en una entidad bancaria del Perú.

En el año de 2017 los autores Cinthya Ormeño Gutierrez, et al, desarrollaron como opción de grado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas la investigación titulada “*Propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento para el sistema electromecánico del centro de datos en una entidad bancaria del Perú*”, en ella, los autores plantean una propuesta de mejora a la gestión del mantenimiento del sistema eléctrico y mecánico del centro de datos en una entidad bancaria del Perú aplicando las metodologías de TPM y RCM (Ormeño Gutierrez & al, 2017). El trabajo citado sirve como guía en la presente investigación, en aspectos relacionados con el incremento en la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos de misión crítica, a través de la aplicación de metodologías como RCM y TPM para una adecuada gestión de mantenimiento.

5.1.2.3 Desarrollo de un plan de mantenimiento para el área de datacenter del Hospital Pediátrico Baca Ortiz.

En el año de 2017 el autor Renán Bolívar Macas, desarrolló como opción de grado en la Universidad Escuela Politécnica Nacional la investigación titulada “*Desarrollo de un plan de mantenimiento para el área de datacenter del Hospital Pediátrico Baca Ortiz*”, en ella, el autor presenta una clasificación resumida de los sistemas eléctricos, aire acondicionado de precisión y redes contra incendios para un datacenter basándose en la normativa internacional ANSI/TIA 942, ASHARAE, NFPA072 y NFPA 075; Una vez identificada la clasificación se realiza el análisis de criticidad para obtener el manual de mantenimiento de los equipos de misión crítica (Macas Díaz, 2017). El documento citado sirve como guía para la identificación de las topologías de respaldo usadas en sistemas de misión crítica según las normas y estándares internacionales vigentes aplicables al campo de la presente investigación.

5.1.2.4 Propuesta de diseño de un plan de mantenimiento preventivo a generadores estacionarios en una empresa proveedora de servicios de internet.

En el año 2020 el autor Henry Augusto Tutiven Morán, desarrolló como opción de grado en la Universidad Escuela Politécnica Nacional la investigación titulada “*Propuesta de diseño de un plan de mantenimiento preventivo a generadores estacionarios en una empresa de internet*”

En ella, el autor realiza el diseño de un plan de mantenimiento para generadores en una empresa de IT, cuya finalidad es aumentar la disponibilidad de los equipos junto con una reducción en los tiempos de apagado de los sistemas de comunicación (Tutiven Morán, 2020). La investigación citada sirve como orientación al planteamiento de un programa de mantenimiento aplicable a equipos de respaldo eléctrico en empresas prestadoras de servicios IT.

5.1.2.5 Propuesta de un sistema de mantenimiento productivo total TPM, para los equipos eléctricos del Banco del Austro, en base a un análisis de mantenimiento preventivo, predictivo y autónomo.

En el año 2019 el autor Wilson Fabian Lucero Morocho, desarrolló como opción de grado en la Universidad del Azuay la investigación titulada “*Propuesta de un sistema de mantenimiento productivo total TPM, para los equipos eléctricos del Banco del Austro, en base a un análisis de mantenimiento preventivo, predictivo y autónomo*”, En ella, el autor realiza la propuesta de un plan de mantenimiento aplicable a equipos eléctricos que soportan la operación de un banco basado en la metodología TPM; el proceso implica la identificación de equipos eléctricos, un análisis de criticidad y la aplicación de TPM para la propuesta (Lucero Morocho, 2019). La tesis citada sirve como guía en la presente investigación para identificar la forma de aplicación de la metodología TPM en sistemas eléctricos de respaldo a operaciones bancarias y analizar la conveniencia de esta respecto a los resultados obtenidos.

5.1.2.6 Evaluación de la gestión del mantenimiento en generadores eléctricos para las agencias críticas de Banecuador B.P., y la propuesta del mantenimiento centrado en la confiabilidad y costos del ciclo de vida bajo la norma ISO 55001AE 16646, para el periodo 2015-2017.

En el año 2019 el autor Cesar Fabian Olmedo Noriega, desarrolló como opción de grado en la Universidad Internacional del Ecuador la investigación titulada “*Evaluación de la gestión del mantenimiento para las agencias críticas de Banecuador B.P., y la propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad y costos del ciclo de vida bajo la norma ISO 55001 AE 16646, para el periodo 2015-2017*”, En ella, el autor evalúa la gestión de mantenimiento en grupos electrógenos proponiendo un plan de mantenimiento basado en RCM y un análisis al

ciclo de vida de estos activos según ISO 55001. Como resultado de la evaluación, se determinan planes de acción para los hallazgos a través de un análisis de criticidad de los activos en estudio, definiendo el modelo de gestión de mantenimiento para los equipos críticos (Olmedo Noriega, 2019). El trabajo citado aporta a la presente investigación una óptica desde la gestión de activos para un adecuado plan de mantenimiento en los equipos de misión crítica.

5.1.2.7 Definición de una plataforma de servicios TIC de Misión Crítica para el Instituto Costarricense de Electricidad.

En el año 2007 la autora Dayana Camacho Valeria, desarrolló como opción de grado en la Universidad Nacional de Costa Rica la investigación titulada “*Definición de una plataforma de servicios TIC de misión crítica para el Instituto Costarricense de Electricidad*”, En ella, el autor considera la construcción de un centro de datos de Internet de clase mundial, con certificación TIER 3-TIA 942, cuyo objetivo será atender los nuevos requerimientos de demanda de servicio de Internet en Costa Rica a través de un servicio de alimentación ininterrumpida de potencia. Una vez surtido el proceso de diseño y construcción de estos Facilities, se plantea como objetivo final la creación de una plataforma tecnológica que ofrezca a los usuarios, altos estándares en calidad de servicios IT para la continuidad de sus negocios (Camacho Valeria, 2007). El trabajo citado sirve como herramienta de contraste respecto al diseño de un sistema de alimentación ininterrumpida en empresas del sector IT considerando la normativa internacional y lo definido por el Uptime Institute.

5.1.2.8 Propuesta de plan de mantenimiento para motogenerador y equipo de accionamiento de aire en un datacenter (Centro de Procesamiento de Datos).

En el año 2016 el autor Juan Luis Bal Ponciano, desarrolló como opción de grado en la Universidad San Carlos de Guatemala la investigación titulada “*Propuesta de un plan de*

mantenimiento para motogenerador y equipo de accionamiento de aire en un datacenter (Centro de Procesamiento de Datos)”, En ella, el autor documenta los procedimientos para el mantenimiento preventivo de un motogenerador y un aire acondicionado de precisión a través de la identificación de los alcances propios del mantenimiento en estos equipos, identificación de fallas más comunes, capacitación al personal técnico y consolidación del plan. La investigación pone de presente la inestabilidad de los sistemas de potencia eléctrica en los países centroamericanos y la importancia de equipos de respaldo que aseguren la continuidad operacional (Bal Ponciano, 2016). El trabajo citado sirve como guía en la identificación de rutinas de mantenimiento aplicables a grupos electrógenos que respaldan operaciones críticas de datacenter.

5.2 Marco teórico

El presente numeral da sustento desde el punto de vista teórico a la propuesta de solución por generar para el problema investigado, se tendrán en cuenta los temas Misión crítica, Mantenimiento, confiabilidad, Seguridad eléctrica, UPS (Uninterruptible power supply), Generador eléctrico stand by, ATS (Automatic Transfer Switch),

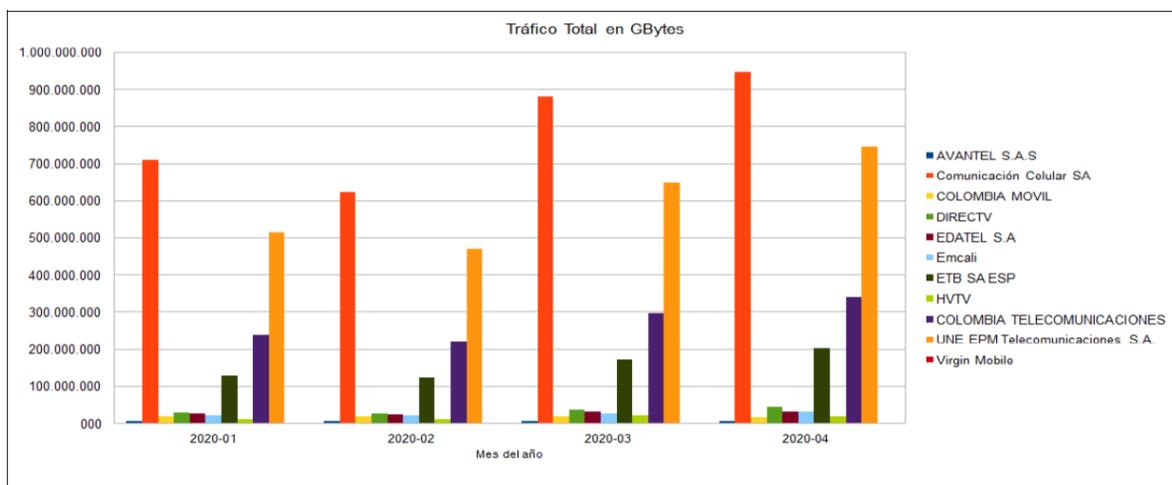
5.2.1 Una creciente demanda de Internet causada por el Covid-19

La demanda de internet y las numerosas interacciones diarias a las que una empresa prestadora de servicios IT se ve enfrentada, hacen que la estabilidad en los sistemas de comunicaciones cobre gran relevancia. La llegada de la pandemia causó en 2020 que todas las áreas de la economía colapsaran. Actualmente uno de los recursos más importantes de infraestructura es la conectividad global a través del Internet, lo anterior debido a que cada vez

más personas deben trabajar o estudiar desde casa. Empresas privadas y estatales han tenido que desarrollar innovaciones para permitir que todos sus trámites puedan ser realizados a través de páginas web, Colegios y Universidades han migrado hacia plataformas virtuales para ofrecer a sus estudiantes Teleconferencias, videos de apoyo y plataformas de e-learning a fin de continuar con su labor educativa.

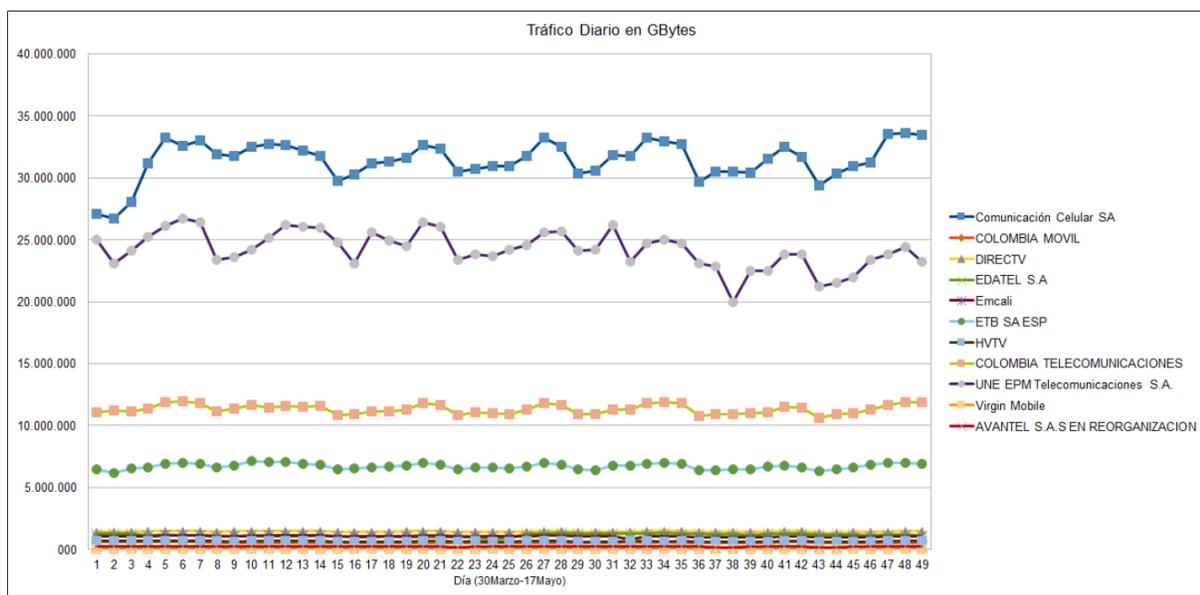
Los ISPs (Proveedores de Servicios de Internet) han tenido que soportar este tráfico considerado atípico hasta el momento exigiendo sus instalaciones; los resultados de un estudio realizado por la CRC (Comisión de Regulación de Comunicaciones) muestran que el tráfico de internet para Colombia se incrementó en la mayoría de los operadores en una media del 29,76% en marzo de 2020 y de 51,54% en abril del mismo año (Padilla Aguilar, 2020). De otro lado, se logró identificar el tipo de servicios que ocupó el aumento del tráfico: Servicios de streaming aumentó en un 29,6%, los servicios de publicidad digital en un 70,6%, redes sociales en un 40,88%, video juegos en un 28,54% y los servicios de educación en un 34,55%.

Ilustración 1 *Tráfico de Internet por operador en Colombia enero-abril 2020*



Fuente: (Padilla Aguilar, 2020)

Ilustración 2 Comportamiento diario del tráfico de datos durante la cuarentena



Fuente: (Padilla Aguilar, 2020)

5.2.2 Sistemas de misión crítica

La potencia eléctrica y la alta disponibilidad son elementos vitales en la operación de centros de datos, hoy más que nunca, empresas de todos los tamaños exigen disponibilidad en los sistemas de comunicación las 24 horas del día, los siete días de la semana. Esta modalidad de Operación recibe el nombre de Misión Crítica u Operación 7/24 y está íntimamente relacionada con el funcionamiento de equipos de comunicaciones y servidores capaces de soportar la creciente demanda de Internet en el mundo. Al entrar la cuarta revolución industrial, cada elemento de civilización y cada región en el mundo verá una vertiginosa aceleración de la transformación digital en la sociedad. La pandemia del Covid-19 ha reforzado aún más esta teoría y ha puesto una presión en la disponibilidad de los centros de datos a nivel global, es el momento de retomar los conceptos de diseño, operación y mantenimiento de estos Facilities para transformarlos en función de la nueva demanda de servicios IT.

Las instalaciones de los centros de datos se configuran mediante una paradoja: por un lado, se encuentra el soporte de la infraestructura crítica con sistemas físicos y de respaldo diseñados para tener una vida útil superior a quince años; mientras que los equipos de IT suelen tener una vida útil por obsolescencia de tres años en promedio. Cada cierto periodo, los sistemas de respaldo se ven enfrentados a importantes cambios de IT que alteran drásticamente los parámetros de diseño inicial, impactando la demanda de energía y la disipación de calor.

En instalaciones de misión crítica es imperativo no solo diseñar e integrar sistemas de alta confiabilidad sino también es fundamental el mantenimiento simple de estos. Cuando se presenta una falla, se crea una enorme presión para poder identificarla y aislarla adecuadamente sin realizar interrupciones a los sistemas críticos, un sistema complejo en su topología es una vía para errores humanos catastróficos.

Una disponibilidad del Uptime Institute típica en centros de datos es superior al 99,999%, esto implica un tiempo de parada de 5,25 minutos por año, periodo que impide por completo la realización de actividades de mantenimiento u otros eventos planificados. Es imperativo diseñar sistemas de respaldo eléctrico de alta confiabilidad cuya redundancia permita efectuar aquellas labores de mantenimiento y puesta en marcha sin afectar la continuidad operacional (Curtis, 2021).

Ilustración 3 *Ley de los nueves*

% Uptime/Reliability Level	Downtime Per Year
99%	87.6 hours
99.9%	8.76 hours
99.99%	52 minutes
99.999%	5.25 minutes
99.9999%	32 seconds

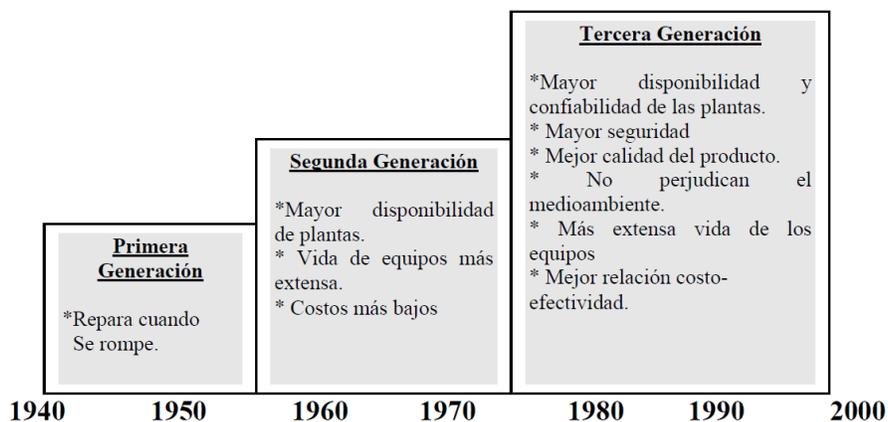
Nota: la imagen muestra lo expuesto por el autor citado, esto explica como la necesidad creciente de confiabilidad tiene una relación directa con el incremento del costo de mantenimiento; **Fuente:** (Curtis, 2021)

5.2.3 De la historia del mantenimiento

Los constantes cambios en la globalización implican retos en los sistemas productivos del mundo, la humanidad cada vez es más dependiente del suministro ininterrumpido de energía eléctrica cuyo desempeño depende directamente de la gestión de los activos presentes en sistemas eléctricos de potencia. Las fallas en los activos de las compañías de servicios ocasionan interrupciones y efectos colaterales en la operación propia y de sus clientes desencadenando un caos económico. Por esta razón, los procesos de mantenimiento en una compañía de servicios deben estar alineados con los más altos estándares, aplicando metodologías según sea la conveniencia del caso. El Reglamento técnico de instalaciones eléctricas en su última versión define el mantenimiento como: “Conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita garantizar la máxima confiabilidad” (Ministerio de Minas y Energía, 2013). El mantenimiento es la preservación de la vida útil de los

activos y por tanto hace parte integral de la economía puesto que garantiza la operatividad y productividad de los activos en una Compañía. Una buena gestión del mantenimiento no solo busca reducción de costos sin o también pérdidas por lucro cesante y evitar costos excesivos por fallas catastróficas (Villada Duque, 2013). Desde 1930, el proceso evolutivo del mantenimiento se puede trazar a través de tres generaciones; la primera generación cuya duración va hasta finales de la segunda guerra mundial, debido a que la industria era altamente mecanizada, el mantenimiento no era fundamental en el proceso productivo y se limitaba a labores correctivas, dichas actividades eran ejecutadas por personal operativo. La segunda generación surge como resultado de la guerra e inicia hacia el año de 1946, las maquinarias de todo tipo se aumentaron en número y complejidad y la industria dependía de ellas; aparecen las ingenierías especializadas (Eléctrica, Mecánica, Química) y se empiezan a vincular nuevos conceptos de mantenimiento como la confiabilidad, mantenimiento preventivo y mantenimiento productivo total. La Tercera generación inicia en la década de los 70 con la conquista japonesa de los mercados mundiales, esto creó un desafío para las demás potencias mundiales respecto a la manera de producir con óptimos costos y un margen mínimo de utilidad, allí es donde inicia el mantenimiento a mostrar su potencial y se vincula a la cadena productiva (Moubray, 2004).

Ilustración 4 *Evolución de las expectativas de mantenimiento*



Fuente: (Moubray, 2004)

Durante los últimos 20 años se ha presentado un crecimiento vertiginoso de conceptos y técnicas de mantenimiento, ahora es posible involucrar el monitoreo de la condición de los equipos, implementación de programas de mantenimiento basado en confiabilidad y software de mantenimiento e inteligencia artificial, poderosas herramientas que vienen en ayuda de la Gerencia de Mantenimiento.

5.2.4 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es definido por la norma AFNOR (NF X 60-010) como el *“mantenimiento efectuado con la intención de reducir la probabilidad de fallo de un bien o la degradación de un servicio prestado”*, dicho de otra forma, es el conjunto de acciones orientadas a realizar inspecciones de forma periódica con el fin de identificar elementos con alto nivel de desgaste y próximos a fallar. El mantenimiento preventivo contempla tres subespecialidades descritas a continuación:

- **Mantenimiento Sistemático:** Especialidad de mantenimiento preventivo efectuado de acuerdo con un plan establecido según el tiempo o el número de unidades fabricadas.
- **Mantenimiento de ronda:** Tipo de mantenimiento preventivo en el cual se realiza vigilancia regular de los materiales en una línea de producción con el fin de identificar fallos menores que con el tiempo provocarán fallos mayores.
- **Mantenimiento Predictivo:** Acciones de toma de datos y análisis para comprobar posibles desviaciones en el funcionamiento de un equipo, una vez identificadas serán corregidas a través del mantenimiento correctivo.

5.2.5 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es el conjunto de acciones encaminadas a la reparación de un equipo que ha salido de operación por daño en alguno de sus componentes; por tanto, no es un tipo de mantenimiento programable y generalmente relaciona un alto costo. El mantenimiento correctivo lleva implícito el concepto de mejora continua, puesto que al realizar el cambio en una pieza es posible registrar la causa de la falla e implementar acciones de mejora que impidan futuras fallas similares.

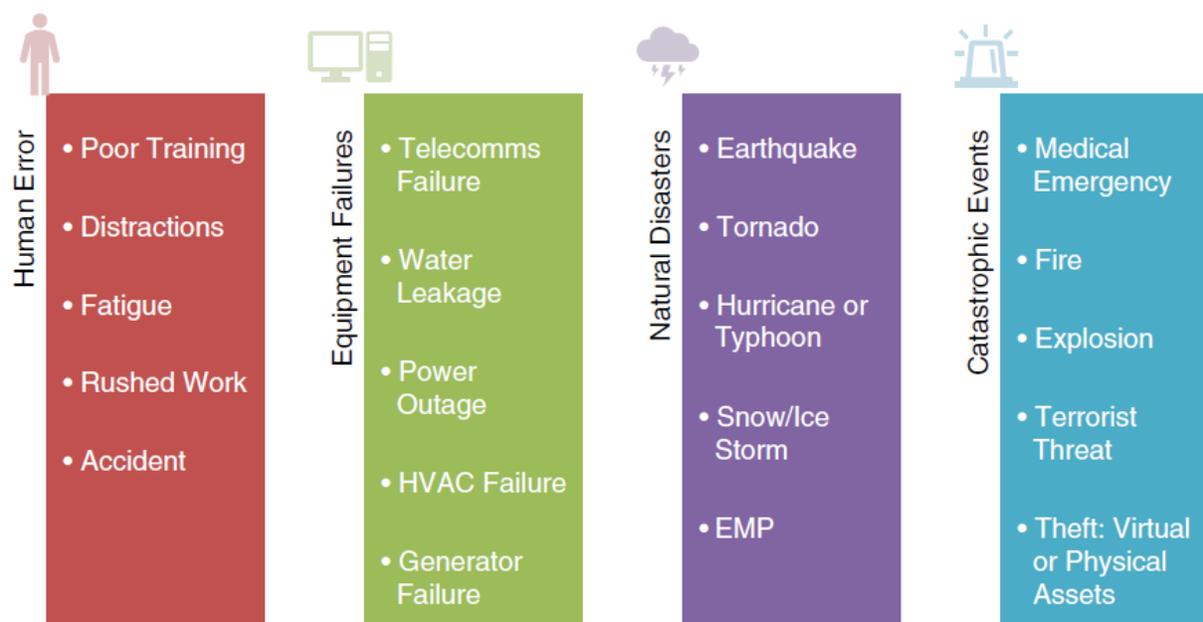
5.2.6 Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo

El SG-SST o Sistema de gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo consiste en el desarrollo de un proceso lógico y por etapas que se fundamenta en aspectos de mejora continua e incluye la política, planificación y evaluación entre otras, de los riesgos que afectan la seguridad y salud en el trabajo. Uno de los enfoques más aplicados en SG-SST relaciona el ciclo PHVA - planear, hacer, verificar, actuar- el cual, establece condiciones seguras en el lugar de trabajo. La norma ISO 45001:2018 aborda de manera amplia los SG-SST y se enfoca en proteger a trabajadores y visitantes de accidentes y enfermedades laborales. Numerosos son los beneficios que recibe una empresa al decidir certificarse en la norma ISO algunos de ellos son la reducción de accidentes laborales, aumento en la productividad, promoción de la mejora continua en la seguridad y salud en el trabajo e integración de las áreas de la Compañía para la prevención de riesgos y accidentes laborales (Forero Clavijo & al, 2020). Los procesos de mantenimiento en equipos eléctricos de misión crítica implican riesgos asociados con la continuidad operacional y la salud de las personas, es fundamental tener como pilar la norma ISO 45001 en el desarrollo de la política de mantenimiento.

5.2.7 Análisis de riesgo en sistemas eléctricos de misión crítica

La evolución del diseño y la función del centro de datos ha sido impulsada en parte por la necesidad de energía ininterrumpida. Proporcionar Operación continua bajo todos los riesgos previsibles de falla como cortes de energía, daños en equipos de comunicación, e incendios conllevan al uso de modernas técnicas de diseño y modelamiento que aumenten la confiabilidad. Estos incluyen sistemas redundantes de generación y reserva de combustible, interruptores automáticos de transferencia y sistemas ininterrumpidos de potencia UPS entre otros. La confiabilidad en un sistema eléctrico puede aumentar si se aplican metodologías como el *Risk Management Assessment* (RMA) bajo las pautas del *Critical Area Program* (CAP), estos conceptos son aplicados específicamente para las necesidades de respaldo eléctrico en datacenter. Un RMA es un proceso detallado que mapea procedimientos y controles documentados, diseñados para minimizar las situaciones de falla con el Operador de Red; por otro lado, la práctica de CAP asegura que solo personal capacitado y calificado tenga acceso a la operación de sistemas críticos de potencia. Al aplicar estos conceptos se obtiene una métrica denominada *Probability Risk Assessment* (PRA) que predice la disponibilidad, número de fallas y tiempo de inactividad anual. Estas metodologías son agentes facilitadores dentro del análisis de riesgo para las etapas de diseño, gerencia del proyecto, pruebas y comisionamiento, capacitación, operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos de misión crítica. La ilustración 5 muestra los principales riesgos de inactividad en sistemas de misión crítica.

Ilustración 5 Potenciales riesgos de indisponibilidad



Fuente: (Curtis, 2021)

Muchos riesgos mostrados en la ilustración 5 se han capitalizado a lo largo de la historia reciente de la humanidad desencadenando fallas catastróficas en sistemas de potencia eléctrica, por esta razón, los sistemas de misión crítica deben estar concebidos para soportar prolongados tiempos de ausencia en la alimentación principal. La tabla 1 muestra recientes fallas catastróficas en el mundo.

Tabla 1 Recientes fallas catastróficas en sistemas eléctricos mundiales

Ubicación	Causa	Efecto
Hartsfield-Jackson, Atlanta, EE. UU.	<ul style="list-style-type: none"> Una falla en los equipos dejó sin electricidad al aeropuerto más transitado del mundo en diciembre de 2017 Los cortes de energía duraron 11 horas 	<ul style="list-style-type: none"> El sector sufrió una pérdida de 50 millones de dólares
Sídney, Australia	<ul style="list-style-type: none"> Tormenta de viento el lunes 25 de noviembre de 2019 	<ul style="list-style-type: none"> 76 mil hogares sin energía durante varios días
Isla Barbados	<ul style="list-style-type: none"> Falla de un motor en la Compañía Light & Power, en noviembre 18 de 2019 	<ul style="list-style-type: none"> La mayor parte de la isla se quedó sin electricidad

	<ul style="list-style-type: none"> • El combustible sucio y el generador de energía viejo fallaron: faltaba mantenimiento 	afectando a más de 130 mil personas durante varios días
Este de EE. UU. Y Canadá	<ul style="list-style-type: none"> • Tormentas de Halloween y tormentas eléctricas azotaron las áreas del este de EE. UU. Y Canadá • Cortes de energía que dejan a muchos en la oscuridad, el 1 de noviembre de 2019. 	<ul style="list-style-type: none"> • Más de 2 millones de personas se quedaron sin electricidad durante varios días, incluidas las personas que quedaron varadas por las inundaciones
Isla de Tenerife, España	<ul style="list-style-type: none"> • El 29 de septiembre de 2019 se cortó el suministro eléctrico para toda la Isla de Tenerife • Se produjo una avería en una importante subestación eléctrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Más de 1 millón de personas afectadas, muchas atrapadas en edificios y ascensores
Costa de Pascua de las Bahamas de EE. UU. Y Canadá	<ul style="list-style-type: none"> • El huracán Dorian dañó los sistemas de transmisión, (9-1-2019) • Los cortes de energía se extendieron por un período prolongado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Más de 200 mil personas se quedaron en la oscuridad.
Ingllaterra y Gales	<ul style="list-style-type: none"> • Gran apagón eléctrico debido a un rayo (9-8-2019) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mas de 1 millón de personas afectadas y viajes importantes interrumpidos
Venezuela	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en la Planta Hidroeléctrica (03/07/2019 – 03/14/2019) • Posible acto de sabotaje 	<ul style="list-style-type: none"> • 32 millones de personas sin electricidad • 42 muertes humanas atribuidas al corte de energía
Siberia	<ul style="list-style-type: none"> • Negligencia de mantenimiento a largo plazo (8-17-2009) 	<ul style="list-style-type: none"> • 75 trabajadores fallecidos, 2 días sin energía eléctrica, derrame de petróleo
Indonesia	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo de la línea de transmisión entre Java y Bali (8-18-2005) 	<ul style="list-style-type: none"> • 100 millones de personas sin energía.
Aeropuerto Logan Boston, MA	<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento de la subestación eléctrica (7-5-2004) 	<ul style="list-style-type: none"> • Retrasos de vuelos y apagado de la pantalla de seguridad durante 4 horas
Italia	<ul style="list-style-type: none"> • Fallas de la línea eléctrica • Mal tiempo (29-09-2003) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cortes de energía a nivel nacional, 57 millones de personas afectadas.

Fuente: (Curtis, 2021)

5.2.8 Redundancia en sistemas de misión crítica

Las instalaciones de misión crítica no pueden ser susceptibles a interrupciones de energía, esto incluye aquellas actividades de mantenimiento ejecutado en los equipos de soporte y subsistemas. Algunos ejemplos de niveles de redundancia en sistemas de configuración tipo

(N+1) y (N+2), el análisis y selección del nivel de redundancia es un proceso delicado aplicable en los siguientes sistemas:

- Servicios generales
- Sistemas ininterrumpidos de potencia UPS
- Plantas eléctricas en conexión stand by.
- Sistema de abastecimiento y recarga de combustible
- Aire acondicionado y protección contra incendios

Un sistema estándar (N+1) es una combinación de dos esquemas básicos en los cuales uno actúa como principal y otro como respaldo, protege la operación de los equipos críticos y proporciona protección a largo plazo. En un verdadero sistema (N+1) se asegura la continuidad operacional puesto que, si uno de los sistemas está fuera de operación, el otro respalda el 100% de la carga eléctrica.

El siguiente nivel de confiabilidad es un sistema que cumple con los criterios de diseño (N+2) proporcionando un componente esencial adicional, en esta configuración se utilizan alimentaciones eléctricas de subestaciones diferentes, transferencias, generadores y UPS diferentes con el fin de que, ante una falla o mantenimiento sobre el elemento esencial, se conserve aun la redundancia N+1.

Las instalaciones de misión crítica pueden clasificarse en diferentes niveles según su nivel de mantenibilidad y confiabilidad. Los niveles para sistemas críticos van del I al IV, siendo el Nivel IV el más redundante, confiable y mantenible (Telecommunication Industry Association , 2004).

Tabla 2 Niveles Uptime Institute

Tier I Básico No Redundante	Tier II Básico Redundante	Tier III Simultáneamente mantenible	Tier IV Tolerante a fallas
<ul style="list-style-type: none"> • Sin redundancia⁹⁹ • Susceptible a interrupciones de actividades planificadas y no planificadas • Configuraciones de equipo mínimas requeridas para que el equipo funcione • Los errores de operación o fallas causarán una interrupción en el servicio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Informe limitado de copias de seguridad y redundancia • Susceptible a interrupciones de actividades planificadas y no planificadas • Puede contener funciones de criticidad limitadas que se pueden cerrar correctamente sin efectos de asesoramiento en el negocio. • Se puede instalar UPS y/o generador de respaldo para partes del edificio. • Las fallas pueden causar una interrupción en el servicio de la instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo y redundancia completos de un solo sistema (N + 1) • Las actividades de mantenimiento preventivo y programable planificadas, las reparaciones, las pruebas, etc. se pueden realizar sin interrumpir el servicio. • Los errores en el funcionamiento o las fallas espontáneas de la infraestructura pueden causar una interrupción de la alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las funciones de la instalación no pueden tolerar ningún tiempo de inactividad • Sin puntos únicos de falla y respaldo de múltiples sistemas con recuperación automatizada • Capaz de resistir fallas, errores u otros eventos de uno o más componentes sin interrumpir la alimentación de la carga • La carga completa se puede admitir en una ruta sin interrupciones mientras que el mantenimiento / las pruebas se realizan en la otra

Fuente: (Telecommunication Industry Association , 2004)

5.2.9 Mantenimiento y gestión de equipos eléctricos de misión crítica

Un programa de mantenimiento a los sistemas de misión crítica es primordial para preservar las altas inversiones realizadas en equipos e infraestructura, los procedimientos y planes de mantenimiento deben desarrollarse por personal capacitado para tal fin, el RCM o Mantenimiento centrado en Confiabilidad juega un papel importante en la disponibilidad de sistemas de distribución eléctrica. ¿Con qué frecuencia se debe realizar un mantenimiento

eléctrico? La respuesta se relaciona con el nivel de confiabilidad esperado en el sistema, si una Compañía puede subsistir con un nivel de confiabilidad de 99% lo cual representa 87,6 horas de inactividad por año, probablemente la respuesta sea realizar mantenimientos cada 3 a 5 años. Si por el contrario una Compañía espera un nivel de confiabilidad del 99,999% que representa un tiempo de inactividad de 5,25 minutos por año, necesitará realizar rutinas exhaustivas cada seis meses.

Durante la última década, son muchos los cambios en la metodología operación y mantenimiento de sistemas de misión crítica, muchos de ellos impulsados por el deseo de aumentar la confiabilidad en los sistemas. La relación directa entre el aumento de confiabilidad y el número de equipos dentro del sistema incrementa las rutinas necesarias de mantenimiento preventivo; sin embargo, con el desarrollo de equipos más tolerantes a fallas, los efectos de una falla pueden ser insignificantes. Hoy día muchas de las fallas en sistemas de misión crítica radican en errores humanos, al reducir el número de acciones a realizar directamente en los equipos se estará impactando sustancialmente la disponibilidad de los sistemas.

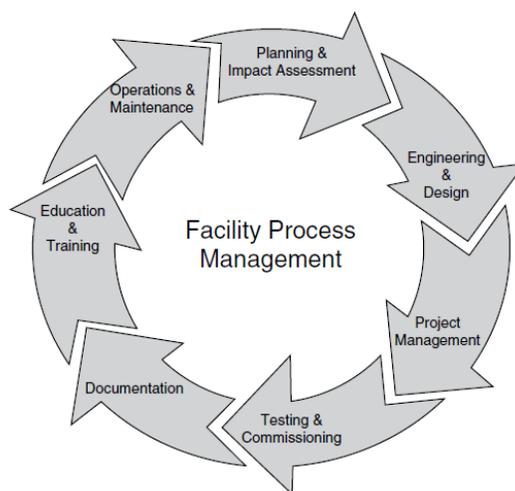
El mantenimiento centrado en la confiabilidad fue desarrollado por la industria aeronáutica en la década de 1960 al identificar que el alto costo de reparación de aeronaves con una confiabilidad por debajo de los niveles aceptables. Desde entonces, la metodología RCM ha sido desarrollada y adoptada por muchas industrias dentro de las cuales se encuentran las del sector de IT en donde la aplicación de esta metodología se enfoca en la prevención de fallas y mitigación de los efectos colaterales en los equipos.

Además de contar con un sistema de redundancia robusto, el diseño de instalaciones críticas debe eliminar la probabilidad de que ocurran fallas en otros puntos de la red con menor relevancia, *“el deterioro de un equipo eléctrico es normal pero la falla de este es evitable”*

(National Fire Protection Association, 2019). Una adecuada política de mantenimiento no elimina las fallas en los equipos, sin embargo, es capaz de reducir las fallas a niveles aceptables; en la mayoría de los casos de misión crítica el programa de mantenimiento debe incluir una combinación de mantenimiento preventivo, predictivo y RCM.

El mantenimiento y la gestión de activos hacen parte del proceso de Gerencia de instalaciones que se muestra en la ilustración 6, dicho proceso no es más que un lazo cerrado compuesto por siete pasos en los cuales además de obtener trazabilidad en el ciclo de vida de los activos se asegura la mejora continua en todas las etapas.

Ilustración 6 *Proceso de gerencia de instalaciones*



Fuente: (Curtis, 2021)

5.3 Marco normativo y legal

En la tabla 3 se relaciona la normativa aplicable a la presente investigación.

Tabla 3 Marco normativo y legal

Norma/ Reglamento	Numeral	Observaciones
Norma Técnica Colombiana NTC-2050 “Código Eléctrico Colombiano”	Completo	El objetivo de este código es salvaguardar a las personas y los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad.
Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE Resolución 90708 de 2013	Completo	El objetivo de este reglamento es establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.
ISO 55001 Gestión de Activos	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación.	Se aplicará esta norma en el proyecto para el análisis de criticidad de los activos.
ANSI/TIA 942 Telecommunications Infrastructure Standar for Data Centers	Completo	Esta norma especifica los requisitos mínimos para la infraestructura de telecomunicaciones en centros de datos, se aplicará por completo para identificar los equipos de misión crítica.
NFPA 70B Recomendad practice for electrical equipment maintenance	Completo	La norma detalla el Mantenimiento preventivo a sistemas y equipos eléctricos, electrónicos y de comunicación.

Fuente: Propia

6 Marco metodológico

6.1 Recolección de la información

La presente investigación se realizó al interior de una Compañía prestadora de Servicios IT. Como aspecto principal para la selección de esta, se basó en la potencia eléctrica instalada en equipos de misión crítica, en adelante EMC. Para efectos del estudio se seleccionó como valor aceptable el intervalo de potencia comprendido en el rango $3\text{MVA} < P < 5\text{MVA}$.

La información fue obtenida a través de trabajo de campo, consiste en el levantamiento de los equipos existentes en las diferentes instalaciones. Según se mencionó en el numeral 4.3, se reserva el nombre de la Compañía para la cual se realiza la presente investigación.

6.1.1 Tipo de investigación

Existen al menos nueve diferentes tipos de investigación los cuales son citados en la tabla 4, al elegir únicamente los activos de misión crítica de la Compañía, el análisis será orientado a una unidad específica, por tanto, se establece que el tipo de investigación aplicado es un estudio de caso. Las tablas 4 y 5 relacionan los tipos de investigación definidos por la Universidad ECCI, debido a que algunos datos recopilados provienen de fichas técnicas, recomendaciones de fabricantes, rutinas definidas por el equipo de mantenimiento y otros son extraídos del histórico de fallas presentadas por los EMC en la Compañía, se define que el paradigma de investigación será mixto.

Tabla 4 *Tipos de investigación*

Tipo de investigación	Características
Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población estudiada.
Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
Explicativa	Da razones del porqué de los fenómenos.
Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

Fuente: (Universidad ECCI, 2016)

Tabla 5 *Paradigmas de investigación*

Paradigma	Descripción
Cualitativo	Aplica para aquellas investigaciones basadas en opiniones o datos no caracterizados como numéricos.
Cuantitativo	Aplica para aquellas investigaciones en las que se usan datos caracterizados numéricos y por tanto están sujetos al análisis estadístico y matemático.

Mixto	Cuando se aplican datos tanto cualitativos como cuantitativos.
--------------	--

Fuente: *Notas de clase*

6.1.2 Fuentes de obtención de la información

El objetivo final de la investigación es desarrollar una política de mantenimiento para equipos eléctricos de misión crítica en empresas de servicios IT. Debido a que la empresa seleccionada para realizar la investigación carece de información consolidada que relacione el número de equipos, potencia y ubicación específica, se establecen las siguientes fuentes para obtención de la información.

6.1.2.1 Fuentes Primarias

Como fuentes primarias para obtención de la información se tendrá acceso a:

- Reportes de mantenimiento preventivo de cara a consolidar el número total y extraer las principales características eléctricas.
- A través de la Gerencia de Activos de la Compañía se obtiene un listado de equipos de respaldo eléctrico tales como UPS, Bancos de Baterías y Generadores eléctricos, el cual será corroborado in situ en compañía del equipo de Mantenimiento.
- Con la base de datos consolidada se realizará la búsqueda de los manuales de fábrica que serán de vital importancia para el planteamiento de rutinas de mantenimiento sugeridas.
- Finalmente se tendrá acceso al histórico de fallas con el fin de determinar el análisis de causa raíz de estas.

6.1.2.2 Fuentes secundarias

Se hará uso de la información relacionada con el tema de investigación citada en el estado del arte y compuesta por trabajos de grado, normas nacionales e internacionales, libros de consulta. También serán fuente de consulta las normas citadas en el marco normativo y legal.

6.1.3 Herramientas

Las herramientas usadas para el desarrollo de la presente investigación están compuestas por el inventario de activos, planteamiento de taxonomía, análisis de criticidad e indicadores de gestión de mantenimiento.

6.1.3.1 Inventario de activos

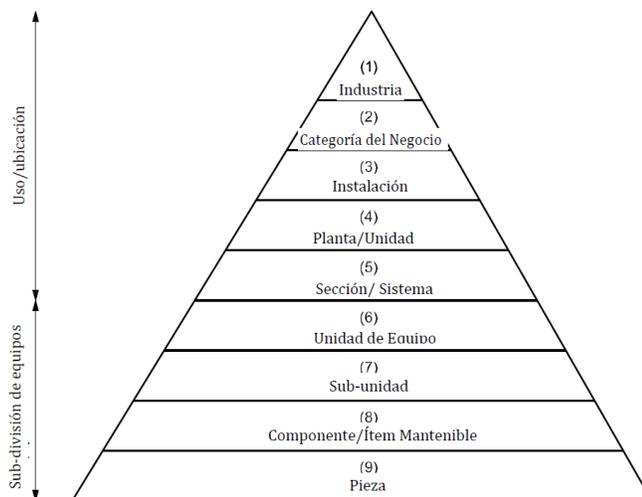
La norma ISO 55000 define los activos de una compañía como *“Algo que posee valor potencial o real para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero.”* (Instituto de Normas Técnicas ICONTEC, 2015). Los activos de interés para la presente investigación, están relacionados con aquellos equipos eléctricos que, por su funcionamiento, permiten la continuidad operacional aun en caso de falla del Operador de red, tales como, UPS, Bancos de baterías y Plantas eléctricas. En ese sentido, mediante un recorrido por las instalaciones se corrobora el inventario de equipos de misión crítica revisando además de la ubicación, la marca, potencia y serial.

6.1.3.2 Planteamiento de taxonomía

Dentro de los fundamentos de mantenimiento y la gestión de activos existe una metodología que permite agrupar los activos físicos según su uso y clasificación jerárquica, dicha metodología recibe el nombre de Taxonomía. *“La taxonomía es una clasificación sistemática de*

ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) una clasificación de datos relevantes a recolectar de conformidad con este Estándar Internacional está representada por una jerarquía” (The British Standards Institution, 2016) como se muestra en la Ilustración 7.

Ilustración 7 Clasificación de la Taxonomía con niveles taxonómicos



Fuente: (The British Standards Institution, 2016)

6.1.3.3 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que identifica y jerarquiza los activos de un sistema sobre los cuales es necesario orientar la mayor parte de recursos humanos y económicos, permite también establecer rangos y frecuencias de ocurrencia de fallas, modos de falla y los impactos asociados para la Compañía.

6.1.4 Metodología

La metodología para el cumplimiento de los objetivos planteados se describe a continuación:

Desarrollo de objetivo específico No. 1 “Realizar la taxonomía y análisis de criticidad para los EMC de la compañía asociando la ubicación y el nivel de tensión de operación para cada

activo” En la actualidad el mantenimiento preventivo es realizado a través de órdenes de servicio ejecutadas por terceros, se toma como punto de partida para el ejercicio de taxonomía el consolidado de reportes entregados en cada orden ejecutada. Una vez recopilada esta información, se confrontaron los datos entregados por la Gerencia de Activos, con el fin de verificar que todos los activos estuvieran incluidos y descartar aquellos que por su funcionamiento no hicieran parte del grupo de misión crítica. Se aplicó la sección 8,2 de la norma ISO 14224 para la definición de taxonomía de los EMC.

El análisis de criticidad fue basado en la metodología FMECA -Failure Mode Effects and Criticality Analysis-, se planteó la matriz de criticidad con el fin de plasmar las severidades asignadas y la frecuencia de ocurrencia de las fallas asociadas. Dentro del presente documento se incluye una tabla que resume tanto los efectos y modos de falla, así como la frecuencia de cada una.

Desarrollo de objetivo específico No.2 “Establecer los procesos y subprocesos de mantenimiento proactivo y reactivo para la estandarización de rutinas en equipos eléctricos de misión crítica dentro de una compañía de servicios IT” A través de consulta en los manuales de operación de los activos de misión crítica y de las buenas prácticas sugeridas por los fabricantes, se establecieron los procesos y subprocesos necesarios para el mantenimiento de los equipos. Se simularon las condiciones de Operación y el recurso humano necesario para atender los diferentes escenarios encontrados en el punto anterior. Los procesos y subprocesos encontrados son de vital importancia para el desarrollo de la política de mantenimiento de la Compañía.

Desarrollo de objetivo específico No.3 “Establecer la nueva cultura de mantenimiento en la Organización enmarcada en una política consistente con herramientas para la planeación, programación, ejecución y control” Posterior al diagnóstico realizado al área de mantenimiento

de la Compañía en donde se mapearon los procesos y se identificaron las falencias, se entregará el documento con herramientas de mejora continua, cuya finalidad será estructurar la nueva cultura de mantenimiento dentro de la Organización enfocada en la atención de los equipos de misión crítica. Con estas bases se iniciará la etapa de gestión de cambio cultural, en donde el equipo de mantenimiento estará enfocado en el proceder técnico y humano logrando un cambio en el sentir de las personas que componen el área.

La nueva cultura de mantenimiento tendrá como prioridad la disponibilidad y confiabilidad de los activos, el desarrollo de habilidades blandas dentro del equipo y la seguridad humana, impactando el servicio que presta el área dentro de la Organización.

6.1.5 Información recopilada

6.1.5.1 Sedes de la Compañía

La Organización tiene presencia en Barranquilla, Bogotá, Cali y Medellín. La tabla 6 muestra la distribución de las 14 sucursales en el país junto con su respectiva codificación.

Tabla 6 *Distribución de sedes por ciudad*

Ciudad	Nombre Edificio	Código
Barranquilla	Soledad	BA01
	Villamar	BA02
Bogotá	Centro	BO01
	Chapinero	BO02
	Montevideo	BO03
	Castellana	BO04
	Zona Industrial	BO05
	Engativá	BO06
Cali	Cañaveralejo	CA01
	La Ermita	CA02
Medellín	Aguacatala	ME01
	Bello	ME02

Poblado	ME03
Industriales	ME04

Fuente: Propia

6.1.5.2 Listado de Generadores eléctricos

En la actualidad la Compañía cuenta con una potencia instalada en generación de 10.8 MVA, dicha potencia se encuentra distribuida a través de los 21 generadores eléctricos relacionados en la tabla 7.

Tabla 7 Listado de generadores eléctricos de la Organización

Item	Activo	Marca	Modelo	Serie	Capacidad Nominal	Ubicación		
						Ciudad	Edificio	Código
1	Generador	Caterpillar	C15	FFH06802	569 kVA	Medellín	Aguacatala	ME01
2	Generador	Cummins	HC5D	ACO24JN4DCH	625 kVA	Medellín	Bello	ME02
3	Generador	Perkins	PK75	ACO24JN4DCH	750 kVA	Medellín	Bello	ME02
4	Generador	Cummins	C100D6	C17K167065	175 kVA	Medellín	Poblado	ME03
5	Generador	Caterpillar	CAT 350	CAT00C13EDH40056	400 kVA	Medellín	Industriales	ME04
6	Generador	Modasa	M420	X12K46262713	420 kVA	Medellín	Industriales	ME04
7	Generador	Cummins	H4CE	GDC440MAY	440 kVA	Cali	Cañaveralejo	CA01
8	Generador	Cummins	H4CE	Y11FBI175336	450 kVA	Cali	La Ermita	CA02
9	Generador	Cummins	H4CE	Y12KBI245810	450 kVA	Cali	La Ermita	CA02
10	Generador	Cummins	C450D6	Y12KBI246025	563 kVA	Bogotá	Centro	BO01
11	Generador	Cummins	C400D6	Y11FBI175655	500 kVA	Bogotá	Chapinero	BO02
12	Generador	Cummins	C1000D6	H17K235297	1275 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03
13	Generador	Cummins	C450D6	KJ2165461	563 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03
14	Generador	Cummins	C450D6	6584321UY	563 kVA	Bogotá	Castellana	BO04
15	Generador	Cummins	C600D6	34654651FF	750 kVA	Bogotá	Castellana	BO04
16	Generador	Cummins	C450D6	NBK3546432	563 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05
17	Generador	Cummins	C450D6	GDX34684	563 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05
18	Generador	Cummins	C200D6	EWSZ654	260 kVA	Bogotá	Engativá	BO06
19	Generador	Cummins	C100D6	TC5V50K-A	125 kVA	Barranquilla	Soledad	BA01
20	Generador	Olimpian	GEP110	RP500857	125 kVA	Barranquilla	Soledad	BA01
21	Generador	Caterpillar	C18	PFH037A-AL7	750 kVA	Barranquilla	Villamar	BA02

Fuente: Propia

6.1.5.3 Listado de UPS

La compañía tiene una capacidad instalada en UPS de 3,23MVA distribuida en 40 UPS de diferentes potencias, la tabla 8 es el resultado del trabajo de campo realizado y muestra el detalle y ubicación de cada equipo en las diferentes instalaciones.

Tabla 8 Listado de UPS propiedad de la Compañía

Item	Activo	Marca	Modelo	Serie	Capacidad Nominal	Ubicación			
						Ciudad	Edificio	Piso	Código
1	UPS	VERTIV	eMX	M07L3R0009	100 kVA	Barranquilla	Soledad	P1	BA01
2	UPS	VERTIV	eMX	M08L3R0019	100 kVA	Barranquilla	Villamar	P1	BA02
3	UPS	EATON	9330	EE034CBB04	120 kVA	Bogotá	Centro	P1	BO01
4	UPS	EATON	9330	EC394CBB06-1	80 kVA	Bogotá	Centro	P1	BO01
5	UPS	LIEBERT	eMX	21010017222173000000	100 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02
6	UPS	LIEBERT	eMX	21012017222169000000	100 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02
7	UPS	LIEBERT	eMX	21012013702169000000	60 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02
8	UPS	LIEBERT	eMX	21012013702169000000	60 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02
9	UPS	EATON	PW9390-80	EF346CBB06-1	60 kVA	Bogotá	Montevideo	P1	BO03
10	UPS	EATON	PW9390-80	EF401CBB13-1	60 kVA	Bogotá	Montevideo	P1	BO03
11	UPS	LIEBERT	NXR	21012005353153000000	120 kVA	Bogotá	Montevideo	P3	BO03
12	UPS	EATON	93PM	EN147UJJ01	80 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04
13	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A04009	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04
14	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A030002	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04
15	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A04003	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04
16	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217B010007	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04
17	UPS	VERTIV	eXM	2101201722217C040001	200 kVA	Bogotá	Zona Industrial	P1	BO05
18	UPS	VERTIV	eXM	M19G1B0005	200 kVA	Bogotá	Zona Industrial	P1	BO05
19	UPS	POWERWARE	PW9390-80	EX132CAA01	40 kVA	Bogotá	Zona Industrial	S1	BO05
20	UPS	POWERWARE	PW9390-80	EX142CAA13	40 kVA	Bogotá	Zona Industrial	S1	BO05
21	UPS	POWERWARE	PW9390 -80	EY164CAA08-1	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06
22	UPS	EATON	PW9390-80	EY164CAA08-1	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06
23	UPS	EATON	93PM	EN312UJJ14	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06
24	UPS	EATON	93PM	EN215UJJ03	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06
25	UPS	POWERWARE	PW9355	EY251KXX03	30 kVA	Cali	Cañaverelejo	P5	CA01
26	UPS	LIEBERT	NXB30	210120022321/39030006	30 kVA	Cali	Cañaverelejo	P5	CA01
27	UPS	LIEBERT	NX	21012006022098020001	160 kVA	Cali	Cañaverelejo	P6	CA01
28	UPS	LIEBERT	NX	21012002232088020004	30 kVA	Cali	La Ermita	P2	CA02
29	UPS	LIEBERT	EXM	21012013712169000000	40 kVA	Cali	La Ermita	P2	CA02
30	UPS	LIEBERT	EXM	21012015692162000000	160 kVA	Cali	La Ermita	P2	CA02

31	UPS	VERTIV	EXM	2101201720217C0A0001	40 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01
32	UPS	VERTIV	EXM	2101201720217C0A0001	40 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01
33	UPS	VERTIV	EXM	2101201721217C090001	60 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01
34	UPS	VERTIV	EXM	2101201721217C09000A	60 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01
35	UPS	EATON	93PM	EN433JJ08	100 kVA	Medellín	Bello	P1	ME02
36	UPS	EATON	93PM	EN263UJJ05-1	100 kVA	Medellín	Bello	P1	ME02
37	UPS	EATON	93PM	EN392UJJ01	60 kVA	Medellín	Poblado	P2	ME03
38	UPS	EATON	93PM	EN392UJJ02	60 kVA	Medellín	Poblado	P2	ME03
39	UPS	EATON	93PM	EN493UJJ10	130 kVA	Medellín	Industriales	P3	ME04
40	UPS	EATON	93PM	EN493UJJ09	130 kVA	Medellín	Industriales	P3	ME04

Fuente: Propia

6.1.5.4 Rutinas de mantenimiento preventivo realizadas en la actualidad

Dentro del trabajo de campo se identificó que la Compañía realiza un seguimiento periódico al estado general de los equipos de misión crítica mediante inspecciones visuales realizadas por personal propio. De otra parte, el mantenimiento preventivo a los equipos se realiza a través de ordenes de servicio ejecutadas periódicamente por terceros, las tablas 9 y 10 muestran los resultados obtenidos para los activos objeto de estudio.

Tabla 9 Frecuencia de mantenimiento preventivo para generadores eléctricos

Item	Activo	Marca	Modelo	Serie	Potencia Nominal	Ubicación			Frecuencia de Inspección	Frecuencia rutina de mantenimiento preventivo
						Ciudad	Edificio	Código		
1	Generador	Caterpillar	C15	FFH06802	569 kVA	Medellín	Aguacatala	ME01	Quincenal	Semestral
2	Generador	Cummins	HC5D	ACO24JN4DCH	625 kVA	Medellín	Bello	ME02	Quincenal	Semestral
3	Generador	Perkins	PK75	ACO24JN4DCH	750 kVA	Medellín	Bello	ME02	Quincenal	Semestral
4	Generador	Cummins	C100D6	C17K167065	175 kVA	Medellín	Poblado	ME03	Mensual	Anual
5	Generador	Caterpillar	CAT 350	CAT00C13EDH40056	400 kVA	Medellín	Industriales	ME04	Mensual	Anual
6	Generador	Modasa	M420	X12K46262713	420 kVA	Medellín	Industriales	ME04	Mensual	Anual
7	Generador	Cummins	H4CE	GDC440MAY	440 kVA	Cali	Cañavalejo	CA01	Mensual	Anual
8	Generador	Cummins	H4CE	Y11FBI175336	450 kVA	Cali	La Ermita	CA02	Mensual	Anual
9	Generador	Cummins	H4CE	Y12KBI245810	450 kVA	Cali	La Ermita	CA02	Mensual	Anual
10	Generador	Cummins	C450D6	Y12KBI246025	563 kVA	Bogotá	Centro	BO01	Quincenal	Semestral
11	Generador	Cummins	C400D6	Y11FBI175655	500 kVA	Bogotá	Chapinero	BO02	Quincenal	Semestral
12	Generador	Cummins	C1000D6	H17K235297	1275 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03	Quincenal	Semestral

13	Generador	Cummins	C450D6	KJ2165461	563 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03	Quincenal	Semestral
14	Generador	Cummins	C450D6	6584321UY	563 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	Quincenal	Semestral
15	Generador	Cummins	C600D6	34654651FF	750 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	Quincenal	Semestral
16	Generador	Cummins	C450D6	NBK3546432	563 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	Quincenal	Semestral
17	Generador	Cummins	C450D6	GDX34684	563 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	Quincenal	Semestral
18	Generador	Cummins	C200D6	EWSZ654	260 kVA	Bogotá	Engativá	BO06	Mensual	Añual
19	Generador	Cummins	C100D6	TC5V50K-A	125 kVA	Barranquilla	Soledad	BA01	Mensual	Añual
20	Generador	Olimpian	GEP110	RP500857	125 kVA	Barranquilla	Soledad	BA01	Mensual	Añual
21	Generador	Caterpillar	C18	PFH037A-AL7	750 kVA	Barranquilla	Villamar	BA02	Quincenal	Añual

Fuente: Propia

Tabla 10 Frecuencia de mantenimiento preventivo para UPS

Item	Activo	Marca	Modelo	Serie	Potencia Nominal	Ubicación				Frecuencia de Inspección	Frecuencia rutina de mantenimiento preventivo
						Ciudad	Edificio	Piso	Código		
1	UPS	VERTIV	eMX	M07L3R0009	100 kVA	Barranquilla	Soledad	P1	BA01	Semanal	Trimestral
2	UPS	VERTIV	eMX	M08L3R0019	100 kVA	Barranquilla	Villamar	P1	BA02	Semanal	Trimestral
3	UPS	EATON	9330	EE034CBB04	120 kVA	Bogotá	Centro	P1	BO01	Semanal	Trimestral
4	UPS	EATON	9330	EC394CBB06-1	80 kVA	Bogotá	Centro	P1	BO01	Semanal	Trimestral
5	UPS	LIEBERT	eMX	21010017222173000000	100 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02	Semanal	Trimestral
6	UPS	LIEBERT	eMX	21012017222169000000	100 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02	Semanal	Trimestral
7	UPS	LIEBERT	eMX	21012013702169000000	60 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02	Quincenal	Semestral
8	UPS	LIEBERT	eMX	21012013702169000000	60 kVA	Bogotá	Chapinero	P1	BO02	Quincenal	Semestral
9	UPS	EATON	PW9390-80	EF346CBB06-1	60 kVA	Bogotá	Montevideo	P1	BO03	Quincenal	Semestral
10	UPS	EATON	PW9390-80	EF401CBB13-1	60 kVA	Bogotá	Montevideo	P1	BO03	Quincenal	Semestral
11	UPS	LIEBERT	NXR	21012005353153000000	120 kVA	Bogotá	Montevideo	P3	BO03	Semanal	Trimestral
12	UPS	EATON	93PM	EN147UJJ01	80 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04	Semanal	Trimestral
13	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A04009	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04	Quincenal	Semestral
14	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A030002	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04	Quincenal	Semestral
15	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A04003	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04	Quincenal	Semestral
16	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217B010007	60 kVA	Bogotá	Castellana	P1	BO04	Quincenal	Semestral
17	UPS	VERTIV	eXM	2101201722217C040001	200 kVA	Bogotá	Zona Industrial	P1	BO05	Semanal	Trimestral
18	UPS	VERTIV	eXM	M19G1B0005	200 kVA	Bogotá	Zona Industrial	P1	BO05	Semanal	Trimestral
19	UPS	POWERWARE	PW9390-80	EX132CAA01	40 kVA	Bogotá	Zona Industrial	S1	BO05	Quincenal	Semestral
20	UPS	POWERWARE	PW9390-80	EX142CAA13	40 kVA	Bogotá	Zona Industrial	S1	BO05	Quincenal	Semestral

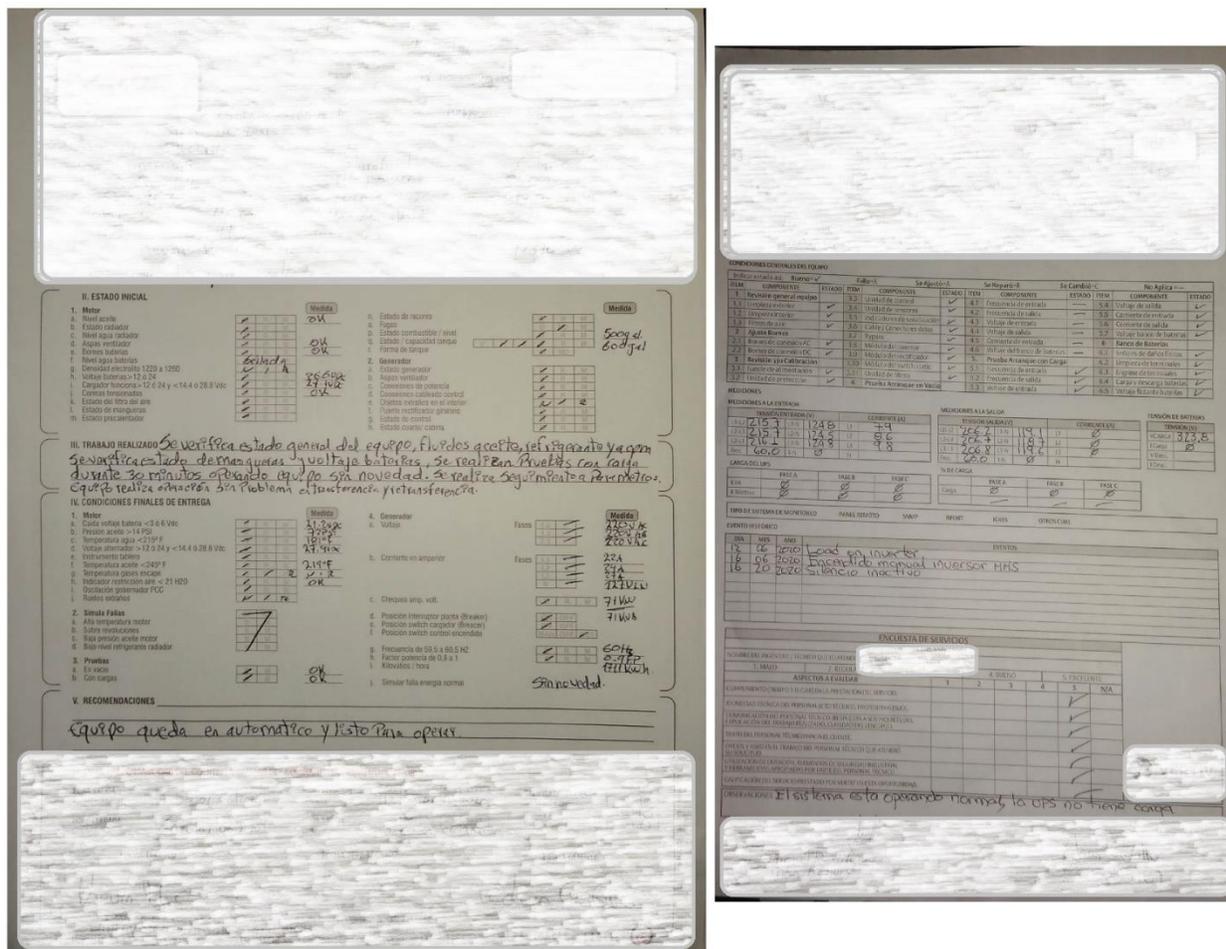
21	UPS	POWERWARE	PW9390 - 80	EY164CAA08-1	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06	Quincenal	Semestral
22	UPS	EATON	PW9390-80	EY164CAA08-1	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06	Quincenal	Semestral
23	UPS	EATON	93PM	EN312UJJ14	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06	Quincenal	Semestral
24	UPS	EATON	93PM	EN215UJJ03	60 kVA	Bogotá	Engativá	P1	BO06	Quincenal	Semestral
25	UPS	POWERWARE	PW9355	EY251KXX03	30 kVA	Cali	Cañaveralejo	P5	CA01	Quincenal	Semestral
26	UPS	LIEBERT	NXB30	210120022321/39030006	30 kVA	Cali	Cañaveralejo	P5	CA01	Quincenal	Semestral
27	UPS	LIEBERT	NX	21012006022098020001	160 kVA	Cali	Cañaveralejo	P6	CA01	Semanal	Trimestral
28	UPS	LIEBERT	NX	21012002232088020004	30 kVA	Cali	La Ermita	P2	CA02	Quincenal	Semestral
29	UPS	LIEBERT	EXM	21012013712169000000	40 kVA	Cali	La Ermita	P2	CA02	Quincenal	Semestral
30	UPS	LIEBERT	EXM	21012015692162000000	160 kVA	Cali	La Ermita	P2	CA02	Semanal	Trimestral
31	UPS	VERTIV	EXM	2101201720217C0A0001	40 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01	Quincenal	Semestral
32	UPS	VERTIV	eXM	2101201720217C0A0001	40 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01	Quincenal	Semestral
33	UPS	VERTIV	EXM	2101201721217C090001	60 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01	Quincenal	Semestral
34	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217C09000A	60 kVA	Medellín	Aguacatala	P1	ME01	Quincenal	Semestral
35	UPS	EATON	93PM	EN433JJ08	100 kVA	Medellín	Bello	P1	ME02	Semanal	Trimestral
36	UPS	EATON	93PM	EN263UJJ05-1	100 kVA	Medellín	Bello	P1	ME02	Semanal	Trimestral
37	UPS	EATON	93PM	EN392UJJ01	60 kVA	Medellín	Poblado	P2	ME03	Quincenal	Semestral
38	UPS	EATON	93PM	EN392UJJ02	60 kVA	Medellín	Poblado	P2	ME03	Quincenal	Semestral
39	UPS	EATON	93PM	EN493UJJ10	130 kVA	Medellín	Industriales	P3	ME04	Semanal	Trimestral
40	UPS	EATON	93PM	EN493UJJ09	130 kVA	Medellín	Industriales	P3	ME04	Semanal	Trimestral

Fuente: Propia

6.1.5.5 Reportes de mantenimiento preventivo a equipos de misión crítica

Se tuvo acceso a los reportes de mantenimiento entregados por los terceros en donde se identificaron las actividades base realizadas a los equipos, la ilustración 8 muestra un formato de evidencia de mantenimiento preventivo para generadores eléctricos y UPS realizados dentro del periodo en estudio.

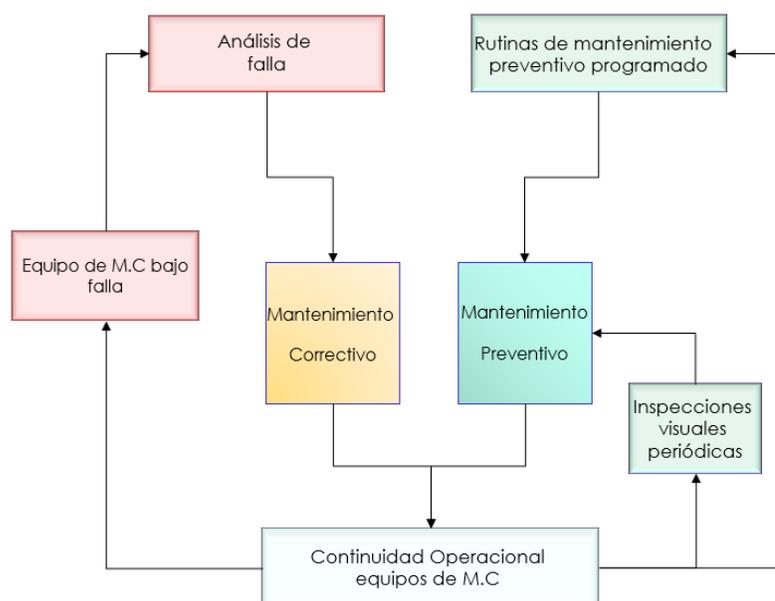
Ilustración 8 Reportes de mantenimiento a Generadores y UPS realizados por terceros



FUENTES: Base de datos mantenimiento

6.1.5.6 Mapa actual proceso de mantenimiento en la Organización

A través de entrevistas con el personal de mantenimiento de la Compañía se estableció el mapa de proceso que en la actualidad es realizado a los EMC, los resultados se muestran en la ilustración 9.

Ilustración 9 Mapa de proceso de mantenimiento en la Compañía

Fuente: Propia

6.1.5.7 Histórico de fallas en EMC

Se realizó la consolidación del histórico de fallas en los EMC presentadas durante el periodo en investigación, a cada falla encontrada se relacionaron datos como el tiempo de duración, cantidad de interacciones afectadas y la severidad asociada, los resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11 Registro de histórico de fallas presentadas en los equipos de misión crítica de la Organización

Fecha de incidencia	Activo	Marca	Potencia Nominal	Cod.	Incidencia	Inicio	Fin	Tiempo Total de afectación	Número de interacciones afectadas	Severidad
14-mar	Generador	Cummins	625 kVA	ME02	Bloqueo de la planta eléctrica por baja temperatura en circuito de precalentamiento	4:55	5:03	0:08	245	Media
23-may	Generador	Caterpillar	400 kVA	ME04	Falla en arranque de planta eléctrica por descarga de baterías	14:23	14:34	0:11	302	Alta

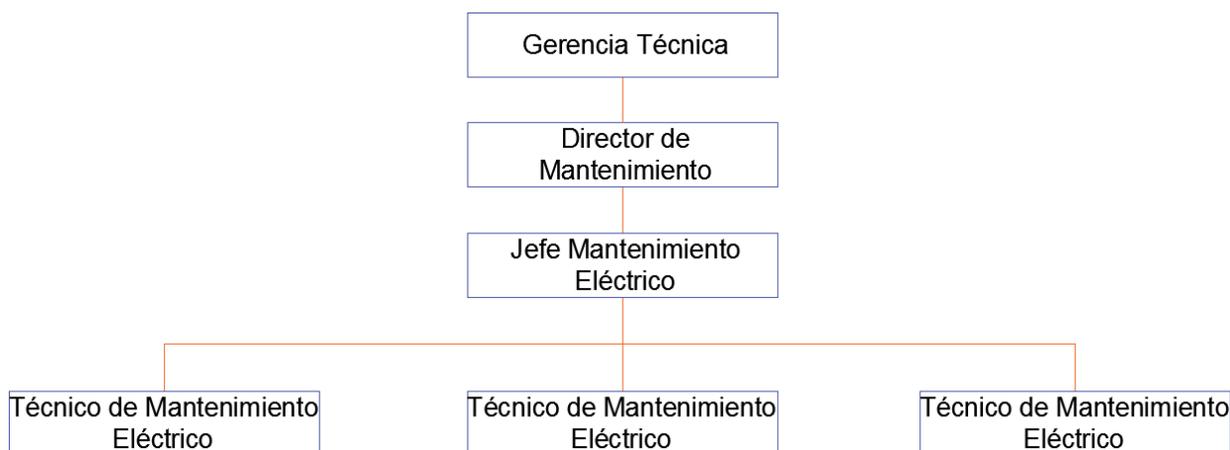
3-jul	Generador	Cummins	450 kVA	CA02	Falla en encendido de planta por posición inadecuada en selector de arranque	17:55	17:58	0:03	614	Alta
27-oct	Generador	Cummins	260 kVA	BO06	Apagado de planta por problemas en el motor, presencia de residuos en filtros de combustible	23:10	23:43	0:33	128	Alta
3-nov	Generador	Cummins	125 kVA	BA01	Falla en arranque de planta eléctrica por sulfatación en bornes de baterías	21:27	21:42	0:15	201	Media
7-dic	Generador	Olimpian	125 kVA	BA01	Falla en arranque de planta eléctrica por sulfatación en bornes de baterías	5:45	6:08	0:23	685	Alta
3-mar	UPS	Eaton	80 kVA	BO01	Descarga profunda en banco de baterías	1:43	2:07	0:24	88	Media
9-abr	UPS	Liebert	60 kVA	BO02	Impacto de rayo ocasiona falla en condensadores	22:45	22:54	0:09	27	Baja
19-jun	UPS	Liebert	120 kVA	BO03	Cruce por cero debido a fallas en la operación del By-pass	9:23	9:36	0:13	746	Alta
8-jul	UPS	Vertiv	60 kVA	BO04	Salida de operación por taponamiento de polvo en filtros	2:15	2:19	0:04	323	Media
23-jul	UPS	Powerware	40 kVA	BO05	Salida de operación por taponamiento de polvo en filtros	15:22	15:34	0:12	462	Alta
11-sep	UPS	Powerware	60 kVA	BO06	Conflicto en el inversor, las señales de salida no sincronizan y equipo salta a By-pass	8:02	8:22	0:20	511	Alta
20-oct	UPS	Powerware	30 kVA	CA01	Daño en tarjeta de rectificador deja UPS sin alimentación	19:55	20:17	0:22	203	Media
26-nov	UPS	Liebert	40 kVA	CA02	Salida de operación por taponamiento de polvo en filtros	3:36	3:50	0:14	154	Baja
9-ene	UPS	Eaton	60 kVA	ME03	Bloqueo en el contactor de By-pass	0:35	1:13	0:38	147	Alta

Fuente: Propia

6.1.5.8 Estructura equipo de mantenimiento eléctrico

Se hace necesario entender la estructura del equipo humano encargado de planear y ejecutar las rutinas de mantenimiento a los equipos de misión crítica, la ilustración 10 muestra el organigrama actual.

Ilustración 10 Organigrama actual equipo de mantenimiento eléctrico



Fuente: Propia

6.2 Análisis de la información

6.2.1 Estructura de mantenimiento eléctrico

El equipo de mantenimiento eléctrico depende de la Gerencia Técnica, además de la Dirección está compuesto por un jefe y tres técnicos de mantenimiento. La distribución de actividades se centra en dos verticales: la primera relacionada con las inspecciones visuales realizadas periódicamente a los equipos objeto de estudio, y la segunda relacionada con rutinas de mantenimiento preventivo de nivel 1 realizados a los activos de misión crítica. Las tablas 9 y 10 muestran la periodicidad de las actividades para generadores eléctricos y UPS respectivamente.

6.2.1.1 Inspecciones visuales periódicas

Las actividades de inspección visual son definidas por la jefatura de mantenimiento y se ejecutan a través del equipo de Técnicos. Se trata de un recorrido por los cuartos eléctricos de la Compañía, revisando el estado físico y eléctrico de los EMC, la periodicidad de las inspecciones para cada activo está directamente relacionada con su capacidad nominal según se muestra en la

tabla 12. Dentro de cada inspección se revisa el estado general de los equipos y se toman mediciones para determinar el nivel de carga, potencia disponible, voltajes y corrientes de operación entre otros, una vez realizada la inspección se informa al jefe de mantenimiento a través de una llamada, debido a que no se tiene un protocolo definido para el manejo de la información recopilada, a la fecha no existe evidencia física de las inspecciones realizadas.

Tabla 12 *Criterio de definición para asignación de rutinas de mantenimiento*

Tipo de Equipo	Condición	Inspección visual	Mantenimiento preventivo programado
Generadores eléctricos	Si $P > 500$	Quincenal	Semestral
	Si $P < 500$	Mensual	Anual
UPS	Si $P > 60$	Semanal	Trimestral
	Si $P < 60$	Quincenal	Semestral

Fuente: Propia

Una vez identificado el criterio para la asignación de rutinas de mantenimiento según el activo, se establece que existen intervalos de potencia indefinidos para los cuales las rutinas de mantenimiento son ambiguas, la condición para dicha asignación se limita a la potencia de cada activo, sin tener en cuenta aspectos relevantes como horas de operación, número de arranques, tiempo de duración de las fallas y el tipo de severidad de la falla presentada en el sistema eléctrico.

6.2.1.2 Cálculo de confiabilidad

Con los datos mostrados en la tabla 11 se procede a realizar el cálculo de la confiabilidad en los EMC, el ejercicio se realizó para un periodo de operación de un mes, el resultado de la confiabilidad por subsistema se muestra en la tabla 12. En términos generales, el valor de confiabilidad actual en el sistema de misión crítica de la compañía se encuentra en el 84%.

Tabla 13 *Cálculo de confiabilidad del sistema de misión crítica*

Fecha de incidencia	Activo	Marca	Potencia Nominal	Incidencia	Tiempo total de afectación	MTBF	R
14-mar	Generador	Cummins	625 kVA	Bloqueo de la planta eléctrica por baja temperatura en circuito de precalentamiento	0:08	85920	0,9944
23-may	Generador	Caterpillar	400 kVA	Falla en arranque de planta eléctrica por descarga de baterías	0:11	85740	0,9924
3-jul	Generador	Cummins	450 kVA	Falla en encendido de planta por posición inadecuada en selector de arranque	0:03	86220	0,9979
27-oct	Generador	Cummins	260 kVA	Apagado de planta por problemas en el motor, presencia de residuos en filtros de combustible	0:33	84420	0,9771
3-nov	Generador	Cummins	125 kVA	Falla en arranque de planta eléctrica por sulfatamiento en bornes de baterías	0:15	85500	0,9896
7-dic	Generador	Olimpian	125 kVA	Falla en arranque de planta eléctrica por sulfatación en bornes de baterías	0:23	85020	0,9840
3-mar	UPS	Eaton	80 kVA	Descarga profunda en banco de baterías	0:24	84960	0,9833
9-abr	UPS	Liebert	60 kVA	Impacto de rayo ocasiona falla en condensadores	0:09	85860	0,9938
19-jun	UPS	Liebert	120 kVA	Cruce por cero debido a fallas en la operación del By-pass	0:13	85620	0,9910
8-jul	UPS	Vertiv	60 kVA	Salida de operación por taponamiento de polvo en filtros	0:04	86160	0,9972
23-jul	UPS	Powerware	40 kVA	Salida de operación por taponamiento de polvo en filtros	0:12	85680	0,9917
11-sep	UPS	Powerware	60 kVA	Conflicto en el inversor, las señales de salida no sincronizan y equipo salta a Bypass	0:20	85200	0,9861
20-oct	UPS	Powerware	30 kVA	Daño en tarjeta de rectificador deja UPS sin alimentación	0:22	85080	0,9847
26-nov	UPS	Liebert	40 kVA	Salida de operación por taponamiento de polvo en filtros	0:14	85560	0,9903
9-ene	UPS	Eaton	60 kVA	Bloqueo en el contactor de Bypass	0:38	84120	0,9736

Confiabilidad del sistema 0,84

Fuente: Propia

6.2.1.3 *Mantenimiento preventivo programado*

La Compañía desarrolla actividades programadas de mantenimiento preventivo a los EMC a través de órdenes de servicio ejecutadas por terceros, la tabla 12 identifica el criterio para la programación de las rutinas, siendo la potencia eléctrica el único parámetro para definir la periodicidad; esta metodología omite por completo criterios como el número de descargas sobre los bancos de baterías, el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación.

Las actividades de mantenimiento programado son coordinadas y acompañadas por el técnico de mantenimiento, una vez finalizadas son informadas al jefe de mantenimiento quien es el encargado de dar el correspondiente cierre a la orden de trabajo. En ocasiones, las actividades de mantenimiento programado identifican acciones correctivas a ejecutar sobre los equipos, al no existir una política de mantenimiento dentro de la Organización, estas acciones son presupuestadas y ejecutadas por proveedores sin tener un histórico de costos e intervenciones realizadas en los activos bajo estudio.

Una vez analizados los formatos de mantenimiento citados en la ilustración 8, se extraen las actividades de mantenimiento preventivo nivel 1 realizadas de forma trimestral, semestral o anual según el criterio definido en las tablas 9 y 10. Las tablas 14 y 15 muestran las actividades de mantenimiento preventivo realizadas por terceros a los equipos de misión crítica de la Compañía.

Tabla 14 *Actividades de mantenimiento preventivo en generadores eléctricos*

Actividades de mantenimiento preventivo programado en generadores eléctricos	
1	Revisión externa al estado del generador.
2	Inspeccionar el estado de las conexiones de la consola de control.
3	Inspeccionar líneas y mangueras.
4	Inspeccionar bornes de conexión de las baterías.
5	Toma de medidas parámetros eléctricos de operación en vacío.
6	Verificar el estado del cargador de baterías.
7	Limpiar respiradero del cárter.
8	Limpiar e inspeccionar tapa del radiador.
9	Revisar la presión del aceite del motor.
10	Revisar temperatura del refrigerante.
11	Inspeccionar el indicador de servicio del filtro de aceite del motor.
12	Probar el encendido del motor.
13	Comprobar existencia de fugas en el sistema de lubricación.
14	Comprobar el nivel refrigerante del motor.
15	Comprobar el nivel de aceite del motor.
16	Inspeccionar alternador.
17	Revisión del motor de arranque.
18	Revisión del sistema de correas y elementos de transmisión (tensión de correa impulsora)

19	Prueba en vacío: Comprobar voltaje y frecuencia de salida del generador.
20	Inspeccionar, verificar y corregir de ser necesario el software del equipo.
21	Verificación estado bomba de agua.
22	Registro en campo del mantenimiento realizado.

Fuente: Propia

Tabla 15 *Actividades de mantenimiento preventivo programado en UPS*

Actividad	
1	Comprobar funcionamiento de HVAC en el cuarto.
2	Revisar niveles de tensión, corriente y potencia en panel de control.
3	Revisión y restauración de alarmas generadas por la UPS.
4	Revisión externa con comprobación de voltajes a la entrada y salida de la UPS.
5	Revisión y medición de carga y descarga de baterías internas y de los bancos externos.
6	Limpiar acumulación de polvo en las UPS y bancos de baterías (soplado y/o aspirado)
7	Revisar el estado de los cables y clavijas (conector Anderson)
8	Comprobar funcionamiento de ventiladores (obstaculización y acumulación de polvo, óxido o corrosión).
9	Verificación de valores de salida teniendo en cuenta que el rango de tensiones no debe superar +/- 10%.
10	Comprobar estructura de las UPS, ajustar (pernos).
11	Limpeza e inspección de los filtros de polvo de cada UPS.
12	Descarga, verificación y entrega de log de eventos registrados durante el último periodo.
13	Entrega de reporte de mantenimiento al finalizar la actividad.

Fuente: Propia

Dentro del análisis realizado sobre las rutinas de mantenimiento preventivo contratado, se identifica la falta de actividades básicas de nivel 1 necesarias para mantener las condiciones mínimas de operación en los activos.

6.2.2 Proceso de mantenimiento eléctrico dentro de la Compañía

El objetivo principal del área de mantenimiento eléctrico es garantizar la continuidad operacional en los EMC de la Organización. Actualmente el proceso de mantenimiento se basa en el proceso expuesto en la ilustración 9.

La primera brecha encontrada en el proceso actual es la ausencia de rutinas predictivas sobre los EMC. Las rutinas de mantenimiento predictivo en equipos de alta criticidad buscan

reducir fallos, averías, limitar el número de intervenciones necesarias y prolongar la vida útil de los activos; también logran un incremento en la disponibilidad y reducen tanto los tiempos de parada para reparación como los tiempos de inactividad. Por la naturaleza de operación en una empresa de servicios TI, es prácticamente imprescindible la inclusión de este tipo de rutinas.

Toda acción que una Compañía toma a fin de mantener la continuidad operacional deriva en un incremento de la confiabilidad en sus sistemas. “*La confiabilidad es la probabilidad de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un periodo bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes*” (Huerta, 2006). La confiabilidad se relaciona de forma directa con la ocurrencia de falla en un sistema, cuando se habla de confiabilidad como indicador en un periodo definido existe una relación inversa con el número de fallas y su tiempo de duración. La forma de plantear el modelo de mantenimiento dentro de la Compañía refleja un desenfoco importante a nivel de confiabilidad, de hecho, se considera que un gran número de fallas registradas durante el periodo en estudio, hubieran podido evitarse si la Organización contara con una política de mantenimiento de alta confiabilidad.

6.2.2.1 Polución de los EMC

Se identifica una condición de riesgo en el estado de los tableros y transferencias eléctricas, esta condición aumenta el riesgo de falla en los EMC debido a que son la fuente principal de alimentación y protección, una falla severa en un tablero general sacará de operación el sistema eléctrico desencadenando pérdidas económicas importantes para la Compañía. Pese a que estos activos no son objeto de estudio se destina el presente numeral para contextualizar la situación y buscar dentro de la propuesta de solución, garantizar las condiciones mínimas de mantenimiento a estos subsistemas.

6.2.2.2 Brechas y oportunidades de mejora identificadas dentro del proceso de mantenimiento eléctrico preventivo

Como resultado del análisis de la información recopilada se presentan en la tabla 16 las brechas y oportunidades de mejora que serán desarrolladas dentro de la propuesta de solución.

Tabla 16 Brechas y oportunidades de mejora en mantenimiento eléctrico

No.	Brecha/ Oportunidad de Mejora	Tópico	Descripción
1	Brecha	Taxonomía de activos	La Organización cuenta con 61 activos de misión crítica, no existe una taxonomía que permita identificar de forma precisa cada uno de ellos.
2	Brecha	Análisis de criticidad	Los 61 activos son tratados de forma similar sin tener en cuenta el sistema que respalda, los más críticos son aquellos que se encuentran conectados a los datacenter y los menos críticos los que alimentan estaciones de trabajo.
3	Brecha	Rutinas de MPP	Se identifica la potencia eléctrica de cada activo como criterio general para la asignación de rutinas de mantenimiento preventivo programado, es necesario incluir aspectos como tiempo medio entre fallas, tiempo de operación, cantidad de conmutaciones y tiempo medio de reparación para asegurar que la periodicidad esté alineada con el performance de cada Activo.
4	Brecha	Inspecciones visuales a EMC	Se identifica la potencia eléctrica de cada activo como criterio general para la asignación de rutinas de inspección de activos, es necesario realizar el análisis de criticidad y tomar en cuenta sus resultados para identificar la correcta periodicidad de estas inspecciones. No existe un subproceso para la realización de inspecciones visuales a los EMC, estas actividades se desarrollan de forma subjetiva por el equipo de analistas de mantenimiento sin una lista de chequeo que permita objetividad en el desarrollo de la actividad. Se requiere contar con registro documental de las inspecciones visuales realizadas sobre los EMC para alimentar la hoja de vida de los activos.
5	Oportunidad de mejora	Monitoreo remoto a los EMC	Una forma de identificar tempranamente las fallas presentadas en EMC es el monitoreo remoto de los activos, se identifica que en su mayoría los equipos objeto de estudio tienen la posibilidad de integración remota a través de tarjeta de red -protocolo SNMP-. No obstante, a la fecha no se cuenta con esta herramienta.

6	Oportunidad de mejora	Contratos de mantenimiento	Los EMC no están asociados a contratos de mantenimiento, no se cuenta con SLA para la atención de emergencias derivadas de las fallas y tampoco se tiene definido el tiempo de cambio de elementos consumibles como filtros y baterías.
7	Brecha	Flujos de proceso	Para el desarrollo de la política de mantenimiento de alta disponibilidad es necesario identificar los procesos y subprocesos relacionados con el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo dentro de la Compañía.
8	Oportunidad de mejora	Tableros y transferencias eléctricas.	Se identifica que los cuadros eléctricos que alimentan los EMC no están vinculados ni a inspecciones rutinarias ni a mantenimientos preventivos programados, la polución dentro de las celdas aumenta el riesgo de falla de las protecciones eléctricas.
9	Oportunidad de mejora	Control de acceso a cuartos técnicos	Los cuartos técnicos carecen de información respecto al ingreso de personal de mantenimiento y proveedores, el acceso no se tiene controlado permitiendo que cualquier persona acceda y ocasione una falla accidental en los sistemas de respaldo eléctrico de la Compañía.
10	Brecha	Proceso de control de cambios	Los mantenimientos preventivos periódicos son programados según conveniencia del grupo de mantenimiento, no se socializa con las operaciones las actividades a realizar y por tanto se desconoce el riesgo asociado.
11	Oportunidad de mejora	Seguimiento a OPEX	Los gastos de mantenimiento no son monitoreados por el área, se desconoce el total de inversiones en mantenimientos preventivos y correctivos realizado en los últimos años. No existe data suficiente para identificar el tiempo oportuno de cambio en componentes de EMC.
12	Brecha	Mantenimiento predictivo	Un número importante de fallas presentadas durante el periodo en estudio listadas en la tabla 11 hubieran podido evitarse si la Organización contara con rutinas de mantenimiento preventivo en EMC.
13	Brecha	Plan de capacitación	Se identificó que el personal de mantenimiento eléctrico carece de un plan de capacitación orientado a las operación y mantenimiento de las diferentes marcas de EMC en la Compañía.
14	Brecha	Manual de funciones	El personal de mantenimiento desconoce las funciones inherentes a su cargo, en ocasiones deben extralimitar su alcance realizando actividades administrativas exógenas a su cargo descuidando el mantenimiento de los EMC.

Fuente: Propia

6.3 Propuesta de solución

6.3.1 Taxonomía de activos objeto de estudio

Se realiza la taxonomía de los equipos objeto de estudio, reservando los niveles del 1 al 4 para los datos de uso, ubicación y los niveles subsiguientes relacionan la subdivisión de los equipos según el sistema que respaldan, la tabla 17 muestra la taxonomía definida.

Tabla 17 Taxonomía general basada en ISO 14224 para EMC objeto de estudio

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Jerarquía de Taxonomía	Definición	Ejemplo	Código
Datos de uso/ubicación	1	País	País dentro de la región	Argentina, Chile, Colombia, Perú	Argentina: ARG Chile: CHI Colombia: COL Perú: PER
	2	Ciudad	Ciudad dentro del país seleccionado	Barranquilla, Bogotá, Cali, Medellín	Barranquilla: BA Bogotá: BO Cali: CA Medellín: ME
	3	Edificio	Edificio dentro de la ciudad seleccionada	01, 02, 03, 04, 05, 06 según el caso	01 - 06
	4	Piso	Piso de ubicación de Activo	S1, P1, ..., P5, P6 según el caso	S1 - P6
Subdivisión de equipos	5	Sistema	Sistema asociado	Eléctrico, hidráulico, mecánico	Eléctrico: ELE Hidráulico: HID Mecánico: MEC
	6	Subsistema	Subsistema asociado	Generador, UPS	Generador: GEN UPS: UPS
	7	Nivel de tensión	Voltaje de operación	208V - 480V	208V 480V

Fuente: Propia

Se aplican los 7 niveles taxonómicos definidos en la tabla 17 a los equipos objeto de estudio, los resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 18 Taxonomía aplicada en EMC objeto de estudio

Item	Activo	Marca	Modelo	Serie	Potencia Nominal	Ubicación				Taxonomía
						Ciudad	Edificio	Código	Piso	
1	Generador	Caterpillar	C15	FFH06802	569 kVA	Medellín	Aguacatala	ME01	S1	CO-ME-01-S1-ELE-GEN1-208V
2	Generador	Cummins	HC5D	ACO24JN4DCH	625 kVA	Medellín	Bello	ME02	S1	CO-ME-02-S1-ELE-GEN1-208V
3	Generador	Perkins	PK75	ACO24JN4DCH	750 kVA	Medellín	Bello	ME02	S1	CO-ME-02-S1-ELE-GEN2-208V
4	Generador	Cummins	C100D6	C17K167065	175 kVA	Medellín	Poblado	ME03	S1	CO-ME-03-S1-ELE-GEN1-208V
5	Generador	Caterpillar	CAT 350	CAT00C13EDH40056	400 kVA	Medellín	Industriales	ME04	S1	CO-ME-04-S1-ELE-GEN1-208V
6	Generador	Modasa	M420	X12K46262713	420 kVA	Medellín	Industriales	ME04	S1	CO-ME-04-S1-ELE-GEN2-208V
7	Generador	Cummins	H4CE	GDC440MAY	440 kVA	Cali	Cañaveralejo	CA01	S1	CO-CA-01-S1-ELE-GEN1-208V
8	Generador	Cummins	H4CE	Y11FBI175336	450 kVA	Cali	La Ermita	CA02	S1	CO-CA-02-S1-ELE-GEN1-208V
9	Generador	Cummins	H4CE	Y12KBI245810	450 kVA	Cali	La Ermita	CA02	S1	CO-CA-02-S1-ELE-GEN2-208V
10	Generador	Cummins	C450D6	Y12KBI246025	563 kVA	Bogotá	Centro	BO01	S1	CO-BO-01-S1-ELE-GEN1-208V
11	Generador	Cummins	C400D6	Y11FBI175655	500 kVA	Bogotá	Chapinero	BO02	S1	CO-BO-02-S1-ELE-GEN1-208V
12	Generador	Cummins	C1000D6	H17K235297	1275 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03	S1	CO-BO-03-S1-ELE-GEN1-208V
13	Generador	Cummins	C450D6	KJ2165461	563 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03	S1	CO-BO-03-S1-ELE-GEN2-208V
14	Generador	Cummins	C450D6	6584321UY	563 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	S1	CO-BO-04-S1-ELE-GEN1-208V
15	Generador	Cummins	C600D6	34654651FF	750 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	S1	CO-BO-04-S1-ELE-GEN2-208V
16	Generador	Cummins	C450D6	NBK3546432	563 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	S1	CO-BO-05-S1-ELE-GEN1-208V
17	Generador	Cummins	C450D6	GDX34684	563 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	S1	CO-BO-05-S1-ELE-GEN2-208V
18	Generador	Cummins	C200D6	EWSZ654	260 kVA	Bogotá	Engativá	BO06	S1	CO-BO-06-S1-ELE-GEN1-208V
19	Generador	Cummins	C100D6	TC5V50K-A	125 kVA	Barranquilla	Soledad	BA01	S1	CO-BA-01-S1-ELE-GEN1-480V
20	Generador	Olimpian	GEP110	RP500857	125 kVA	Barranquilla	Soledad	BA01	S1	CO-BA-01-S1-ELE-GEN2-480V
21	Generador	Caterpillar	C18	PFH037A-AL7	750 kVA	Barranquilla	Villamar	BA02	S1	CO-BA-02-S1-ELE-GEN1-208V
22	UPS	VERTIV	eMX	M07L3R0009	100 kVA	Barranquilla	Soledad	BA01	P1	CO-BA-01-P1-ELE-UPS1-480V
23	UPS	VERTIV	eMX	M08L3R0019	100 kVA	Barranquilla	Villamar	BA02	P1	CO-BA-02-P1-ELE-UPS1-208V
24	UPS	EATON	9330	EE034CBB04	120 kVA	Bogotá	Centro	BO01	P1	CO-BO-01-P1-ELE-UPS1-208V
25	UPS	EATON	9330	EC394CBB06-1	80 kVA	Bogotá	Centro	BO01	P1	CO-BO-01-P1-ELE-UPS2-208V
26	UPS	LIEBERT	eMX	21010017222173000000	100 kVA	Bogotá	Chapinero	BO02	P1	CO-BO-02-P1-ELE-UPS1-208V
27	UPS	LIEBERT	eMX	21012017222169000000	100 kVA	Bogotá	Chapinero	BO02	P1	CO-BO-02-P1-ELE-UPS2-208V
28	UPS	LIEBERT	eMX	21012013702169000000	60 kVA	Bogotá	Chapinero	BO02	P1	CO-BO-02-P1-ELE-UPS3-208V
29	UPS	LIEBERT	eMX	21012013702169000000	60 kVA	Bogotá	Chapinero	BO02	P1	CO-BO-02-P1-ELE-UPS4-208V
30	UPS	EATON	PW9390-80	EF346CBB06-1	60 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03	P1	CO-BO-03-P1-ELE-UPS1-208V
31	UPS	EATON	PW9390-80	EF401CBB13-1	60 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03	P1	CO-BO-03-P1-ELE-UPS2-208V

32	UPS	LIEBERT	NXR	21012005353153000000	120 kVA	Bogotá	Montevideo	BO03	P3	CO-BO-03-P3-ELE-UPS3-208V
33	UPS	EATON	93PM	EN147UJJ01	80 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	P1	CO-BO-04-P1-ELE-UPS1-208V
34	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A04009	60 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	P1	CO-BO-04-P1-ELE-UPS2-208V
35	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A030002	60 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	P1	CO-BO-04-P1-ELE-UPS3-208V
36	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217A04003	60 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	P1	CO-BO-04-P1-ELE-UPS4-208V
37	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217B010007	60 kVA	Bogotá	Castellana	BO04	P1	CO-BO-04-P1-ELE-UPS5-208V
38	UPS	VERTIV	eXM	2101201722217C040001	200 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	P1	CO-BO-05-P1-ELE-UPS1-208V
39	UPS	VERTIV	eXM	M19G1B0005	200 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	P1	CO-BO-05-P1-ELE-UPS2-208V
40	UPS	POWERWARE	PW9390-80	EX132CAA01	40 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	S1	CO-BO-05-S1-ELE-UPS3-208V
41	UPS	POWERWARE	PW9390-80	EX142CAA13	40 kVA	Bogotá	Zona Industrial	BO05	S1	CO-BO-05-S1-ELE-UPS4-208V
42	UPS	POWERWARE	PW9390-80	EY164CAA08-1	60 kVA	Bogotá	Engativá	BO06	P1	CO-BO-06-P1-ELE-UPS1-208V
43	UPS	EATON	PW9390-80	EY164CAA08-1	60 kVA	Bogotá	Engativá	BO06	P1	CO-BO-06-P1-ELE-UPS2-208V
44	UPS	EATON	93PM	EN312UJJ14	60 kVA	Bogotá	Engativá	BO06	P1	CO-BO-06-P1-ELE-UPS3-208V
45	UPS	EATON	93PM	EN215UJJ03	60 kVA	Bogotá	Engativá	BO06	P1	CO-BO-06-P1-ELE-UPS4-208V
46	UPS	POWERWARE	PW9355	EY251KXX03	30 kVA	Cali	Cañaveralejo	CA01	P5	CO-CA-01-P5-ELE-UPS1-208V
47	UPS	LIEBERT	NXB30	210120022321/39030006	30 kVA	Cali	Cañaveralejo	CA01	P5	CO-CA-01-P5-ELE-UPS2-208V
48	UPS	LIEBERT	NX	21012006022098020001	160 kVA	Cali	Cañaveralejo	CA01	P6	CO-CA-01-P6-ELE-UPS3-208V
49	UPS	LIEBERT	NX	21012002232088020004	30 kVA	Cali	La Ermita	CA02	P2	CO-CA-02-P2-ELE-UPS1-208V
50	UPS	LIEBERT	EXM	21012013712169000000	40 kVA	Cali	La Ermita	CA02	P2	CO-CA-02-P2-ELE-UPS2-208V
51	UPS	LIEBERT	EXM	21012015692162000000	160 kVA	Cali	La Ermita	CA02	P2	CO-CA-02-P2-ELE-UPS3-208V
52	UPS	VERTIV	EXM	2101201720217C0A0001	40 kVA	Medellín	Aguacatala	ME01	P1	CO-ME-01-P1-ELE-UPS1-208V
53	UPS	VERTIV	eXM	2101201720217C0A0001	40 kVA	Medellín	Aguacatala	ME01	P1	CO-ME-01-P1-ELE-UPS2-208V
54	UPS	VERTIV	EXM	2101201721217C090001	60 kVA	Medellín	Aguacatala	ME01	P1	CO-ME-01-P1-ELE-UPS3-208V
55	UPS	VERTIV	eXM	2101201721217C09000A	60 kVA	Medellín	Aguacatala	ME01	P1	CO-ME-01-P1-ELE-UPS4-208V
56	UPS	EATON	93PM	EN433JJ08	100 kVA	Medellín	Bello	ME02	P1	CO-ME-02-P1-ELE-UPS1-208V
57	UPS	EATON	93PM	EN263UJJ05-1	100 kVA	Medellín	Bello	ME02	P1	CO-ME-02-P1-ELE-UPS2-208V
58	UPS	EATON	93PM	EN392UJJ01	60 kVA	Medellín	Poblado	ME03	P2	CO-ME-03-P2-ELE-UPS1-208V
59	UPS	EATON	93PM	EN392UJJ02	60 kVA	Medellín	Poblado	ME03	P2	CO-ME-03-P2-ELE-UPS2-208V
60	UPS	EATON	93PM	EN493UJJ10	130 kVA	Medellín	Industriales	ME04	P3	CO-ME-04-P3-ELE-UPS1-208V
61	UPS	EATON	93PM	EN493UJJ09	130 kVA	Medellín	Industriales	ME04	P3	CO-ME-04-P3-ELE-UPS2-208V

Fuente: Propia

6.3.2 Análisis de criticidad

Una vez definida la taxonomía para los 61 EMC objeto de estudio, se procede a plantear la matriz de criticidad. Bajo la condición de falla en los equipos, se identifican seis diferentes riesgos para la Organización: Riesgo para el personal, tiempo de duración de falla, riesgo ambiental, impacto económico, afectación a la imagen de la Compañía e interacciones afectadas. A cada riesgo se le asocia una letra que depende del impacto colateral siendo la A la de menor valor y la E la de mayor impacto. La tabla 19 muestra la matriz de riesgo planteada para las fallas ocasionadas por los equipos en estudio.

Tabla 19 *Matriz de riesgos por falla de EMC*

Personal	Tiempo	Ambiente	Costo de mtto x daño	Imagen	Interacciones afectadas	Clasificación
Muerte, quemaduras, lesiones, fracturas	T > 12h	Incumplimiento de normas ambientales	> 20 MM COP	Global	> 200 personas	E
Trabajo restringido, lesión incapacitante, contusiones	6h < T < 12h	Probabilidad de incumplimiento a norma ambiental	Entre 10 - 20 MM COP	Regional	Entre 70 - 200 personas	D
Tratamiento médico	1h < T < 6h	afectación a entornos localizados	Entre 5 - 10 MM COP	Nacional	Entre 30 - 70 personas	C
Incidente menor/ primeros auxilios	0,25h < T < 1h	Efectos menores o afectación en áreas	Entre 1 - 5 MM COP	Interno	Entre 10 - 30 personas	B
No afectación a personas	T < 0,25h	Sin incidente ambiental	< 1 MM COP	Sin impacto	Entre 0 - 10 personas	A

Fuente: Propia

El análisis de criticidad es una metodología que determina la jerarquía de sistemas y EMC dado que entrega herramientas de análisis para la identificación de los activos más críticos en un sistema eléctrico de alta disponibilidad. La fuente principal para la operación de una

Compañía de servicios IT es la energía eléctrica, por tal razón, es absolutamente necesario conocer el grado de criticidad asociado a los equipos que respaldan los sistemas eléctricos ante fallas del operador de red. Se plantea la matriz de criticidad teniendo en cuenta los criterios de su definición:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

La tabla 20 muestra la matriz de criticidad propuesta para los EMC de la Compañía.

Tabla 20 *Matriz de criticidad para EMC objeto de estudio*

Impacto	Consecuencia de Falla					Frecuencia
	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto	
E	5	10	15	20	25	Entre 1 semana y 1 mes
D	4	8	12	16	20	Entre 1 y 3 mes
C	3	6	9	12	15	Entre 3 y 6 meses
B	2	4	6	8	10	Entre 6 meses y 1 año
A	1	2	3	4	5	Entre 1 y 2 años.

Fuente: Propia

Una vez aplicados los conceptos definidos en las matrices de riesgo y criticidad, se encuentra en nivel de criticidad asociado al grupo de equipos objeto de estudio, los resultados se muestran en la tabla 21. Esto permite comprobar que la política de mantenimiento planteada como propuesta de solución, debe estar encaminada en la alta disponibilidad de los equipos integrando las verticales de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

Tabla 21 *Resultados del análisis de criticidad en los EMC de la Compañía.*

Sistema		Subsistema	CRITICIDAD
Descripción	Cod	Descripción	
Eléctrico	SE	Generador eléctrico	ALTA
Eléctrico	SE	UPS	ALTA

Fuente: Propia

6.3.3 AMEF

Para la estructuración del análisis de modos de falla y efectos se identificaron los subsistemas de los EMC sujetos a dicha condición, a cada uno se le asoció un modo de falla, una causa y una consecuencia, luego se identificó el nivel de criticidad para cada una de las fallas identificadas; los resultados se muestran en las tablas 22 y 23.

Tabla 22 *Análisis de modos de falla y efectos para EMC*

Subsistema	Código	Componente	Función Principal	Falla Funcional
Arranque	ELE-GEN-PRE	Precalentador	Mantener temperatura ideal para arranque de motor	Desconexión de alimentación circuito precalentador
	ELE-GEN-C.BAT	Cargador de baterías	Mantener voltaje DC en baterías	Desconexión de alimentación circuito cargador de baterías
	ELE-GEN-BAT	Baterías	Suministro de voltaje DC para arranque	Descarga profunda de baterías
	ELE-GEN-ALT	Alternador	Transformación de energía mecánica en eléctrica	Variación de parámetros eléctricos de salida en generador
Combustible	ELE-GEN-F.COM	Filtro de combustible	Mantener pureza en combustible	Presencia de partículas en combustible
	ELE-GEN-BOM	Bomba	Asegurar flujo constante de combustible hacia motor	Taponamiento por presencia de impurezas en combustible
	ELE-GEN-B.TAN	Base tanque	Reserva interna de combustible	Corrosión interna por oxidación
Control	ELE-GEN-T.PR	Tarjeta principal	Control principal con lógica de arranque	Daño parcial o total por sobretensiones

	ELE-GEN-T.EL	Transferencia electrónica	Cerebro electrónico para ejecución de arranque y frenado	Daño parcial o total por proceso de conmutación
Motor/ Generador	ELE-GEN-INY	Inyección	Entregar combustible en cámara de admisión	Taponamiento de inyectores
	ELE-GEN-C.DIS	Correa distribución	Sincronización de rotación entre ejes	Desgaste natural o prematuro por desalineación
	ELE-GEN-RAD	Radiador	Refrigerar el motor	Fisura en serpentín
	ELE-GEN-F.AI	Filtro de aire	Entregar aire limpio al motor	Taponamiento de Filtro por superar horas de trabajo
	ELE-GEN-F.AC	Filtro de aceite	Mantener pureza en lubricante	Taponamiento por presencia de partículas
	ELE-GEN-EST	Estator	Conversión electromagnética interna	Desalineación avanzada
	ELE-GEN-EJE	Eje	Transmitir potencia en elementos rotativos	Desalineación avanzada
	ELE-GEN-ROT	Rotor	Inducción magnética en estator	Vibración excesiva por desalineación
Conversión inicial	ELE-UPS-INV	Rectificador	Convertir voltaje AC en DC	Daño en condensadores y/o electrónica principal de entrada
	ELE-UPS-F.AI	Filtro de aire	Entregar aire limpio al UPS	Taponamiento por superar horas de trabajo
Baterías	ELE-UPS-B. B	Banco de baterías	Entregar voltaje DC en caso de falla en suministro de entrada	Cortocircuito en bornes de batería
Conversión final	ELE-UPS-INV	Inversor	Convertir voltaje DC en AC	Daño en electrónica de salida

Fuente: Propia

Tabla 23 Causa, consecuencia y criticidad de fallas en EMC

SUBSISTEMA	CÓDIGO	CAUSA DE FALLA	CONSECUENCIA FALLA	F C	CRITICIDAD	NIVEL
------------	--------	----------------	--------------------	-----	------------	-------

							CRITICIDAD
Arranque	ELE-GEN-PRE	Error humano	Funcional	1	4	4	BAJA
	ELE-GEN-C.BAT	Error humano	Funcional	1	4	4	BAJA
	ELE-GEN-BAT	Fin de vida útil del componente	Funcional	1	5	5	MEDIA
	ELE-GEN-ALT	Problemas para sincronizar señales por cambios bruscos en la velocidad de giro	Funcional	1	5	5	MEDIA
Combustible	ELE-GEN-F.COM	Impureza en el combustible o avanzado estado de corrosión en el tanque de almacenamiento	Funcional	2	4	8	ALTA
	ELE-GEN-BOM	Impureza en el combustible o avanzado estado de corrosión en el tanque de almacenamiento	Funcional	1	4	4	BAJA
	ELE-GEN-B.TAN	Falta de circulación de combustible	Funcional	1	2	2	BAJA
Control	ELE-GEN-T.PR	Sobretensiones transitorias ocasionadas por impacto de rayo	Funcional	1	5	5	MEDIA
	ELE-GEN-T.EL	Sobretensiones transitorias ocasionadas por conmutaciones	No Funcional	1	4	4	BAJA

Motor/ Generador	ELE-GEN- INY	Impureza en el combustible o avanzado estado de corrosión en el tanque de almacenamiento	Funcional	3	4	12	ALTA
	ELE-GEN- C.DIS	Fin de vida útil del componente	Funcional	1	3	3	BAJA
	ELE-GEN- RAD	Impacto al circuito de refrigeración	Funcional	1	3	3	BAJA
	ELE-GEN- F.AI	Fin de vida útil del componente	Funcional	3	2	6	MEDIA
	ELE-GEN- F.AC	Presencia de impurezas en el lubricante	Funcional	3	2	6	MEDIA
	ELE-GEN- EST	Desbalance en el chasis del equipo	Funcional	1	5	5	MEDIA
	ELE-GEN- EJE	Desbalance en el chasis del equipo	Funcional	1	5	5	MEDIA
	ELE-GEN- ROT	Desbalance en el chasis del equipo	Funcional	1	5	5	MEDIA
Conversión inicial	ELE-UPS- INV	Sobretensiones en la red de suministro eléctrico	Funcional	2	5	10	ALTA
	ELE-UPS- F.AI	Fin de vida útil del componente/polución en el ambiente	Funcional	4	1	4	BAJA
Baterías	ELE-UPS-B.B	Falla en componentes internos de batería	No Funcional	1	3	3	BAJA
Conversión final	ELE-UPS- INV	Sobretensiones en la red de suministro eléctrico	Funcional	2	5	10	ALTA

Fuente: Propia

6.3.4 Pilares de Mantenimiento

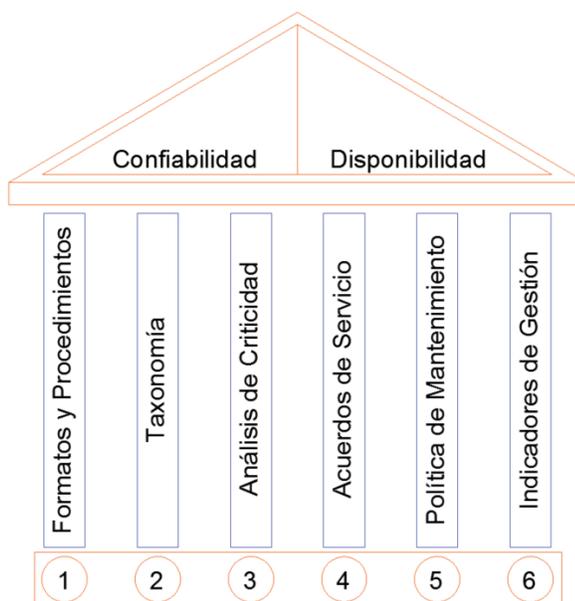
La estrategia de Mantenimiento para los EMC dentro de una Compañía de servicios IT estará enfocada en seis pilares fundamentales. El Pilar documental establece los formatos y procedimientos necesarios para el desarrollo de actividades de mantenimiento a EMC en la Organización.

El pilar de Taxonomía identifica los equipos objeto de estudio y los cataloga dentro del árbol de activos según su ubicación física, sistema que alimenta y voltaje nominal de operación. El pilar de criticidad busca jerarquizar los equipos en estudio de acuerdo con el sistema eléctrico que alimenta y la relevancia de este dentro de la operación en la Compañía.

El pilar de acuerdos de servicio asegurará una adecuada respuesta a las solicitudes de clientes internos, tiempos de atención de fallas y cierre de órdenes de trabajo, enfocándose en la criticidad de cada EMC. El pilar de la política de mantenimiento establecerá las reglas de juego para la planeación, ejecución y control de actividades orientadas al mantenimiento de los EMC. Finalmente, el pilar de indicadores de gestión cerrará el ciclo de mantenimiento con la identificación de métricas, KPI's y análisis de costos asociados al proceso; la ilustración 11 muestra los pilares planteados para la estrategia de mantenimiento eléctrico en la Organización.

Además de los pilares, la estrategia basará su objetivo en una política de mantenimiento de alta disponibilidad estructurando y documentando los procesos y subprocesos que componen el mantenimiento eléctrico a equipos de misión crítica. Esto implica la implementación de rutinas preventivas, predictivas y correctivas que permitan la detección de fallas tempranas y controles para evitar errores humanos durante el desarrollo de las actividades.

Ilustración 11 *Pilares de la estrategia de mantenimiento como solución propuesta*

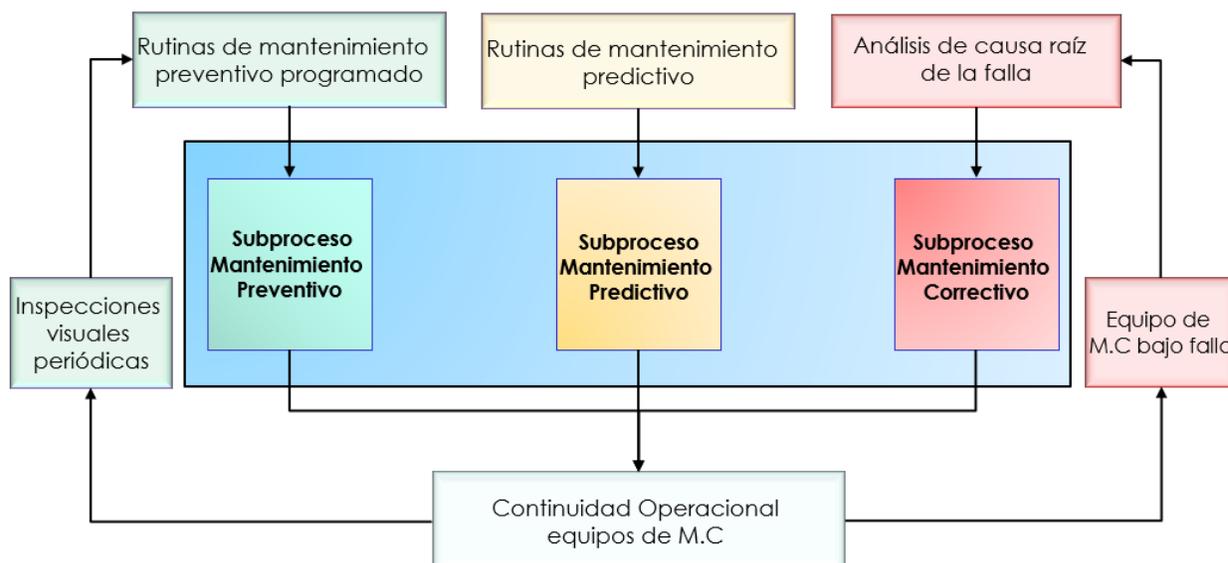


Fuente: Propia

6.3.5 Política de Mantenimiento

La política contempla dentro del alcance aspectos relevantes que deberán hacer parte del marco estratégico del área de mantenimiento eléctrico en una Compañía de Servicios IT. Las entradas al proceso de mantenimiento de la Compañía se clasifican en tres subprocesos: Mantenimiento preventivo programado, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo, la primera entrada se deriva de las novedades encontradas y la ocurrencia de fallas en los equipos objeto de estudio. Un segundo subproceso relaciona las actividades derivadas de planes de trabajo, inspecciones a los equipos y la vinculación de contratos de mantenimiento basados en nivel de criticidad y frecuencias recomendadas. El tercer subproceso incluye actividades de mantenimiento predictivo aplicables a los EMC de la compañía, el objetivo será la implementación de una política integral de la alta disponibilidad. La ilustración 12 muestra el nuevo proceso de mantenimiento propuesto para la Compañía.

Ilustración 12 *Nuevo proceso de mantenimiento para EMC*



Fuente: Propia

La política de mantenimiento, en adelante PM, involucra a las áreas de Producción y Mantenimiento de la Compañía, será responsabilidad del equipo de mantenimiento eléctrico la estructuración y socialización con las diferentes áreas, de sus responsabilidades en el proceso, así como la implementación de la PM al interior de la Organización.

6.3.5.1 Atención de emergencias AE

Se establece el procedimiento para la atención de emergencias presentadas durante las franjas de Operación como consecuencia de fallas en los EMC, básicamente el proceso crea una interacción entre las áreas de Producción y Mantenimiento que inicia con la comunicación vía telefónica o a través de correo electrónico notificando la falla presentada, en la siguiente etapa se revisa la criticidad de la afectación teniendo los criterios mostrados en la tabla 24.

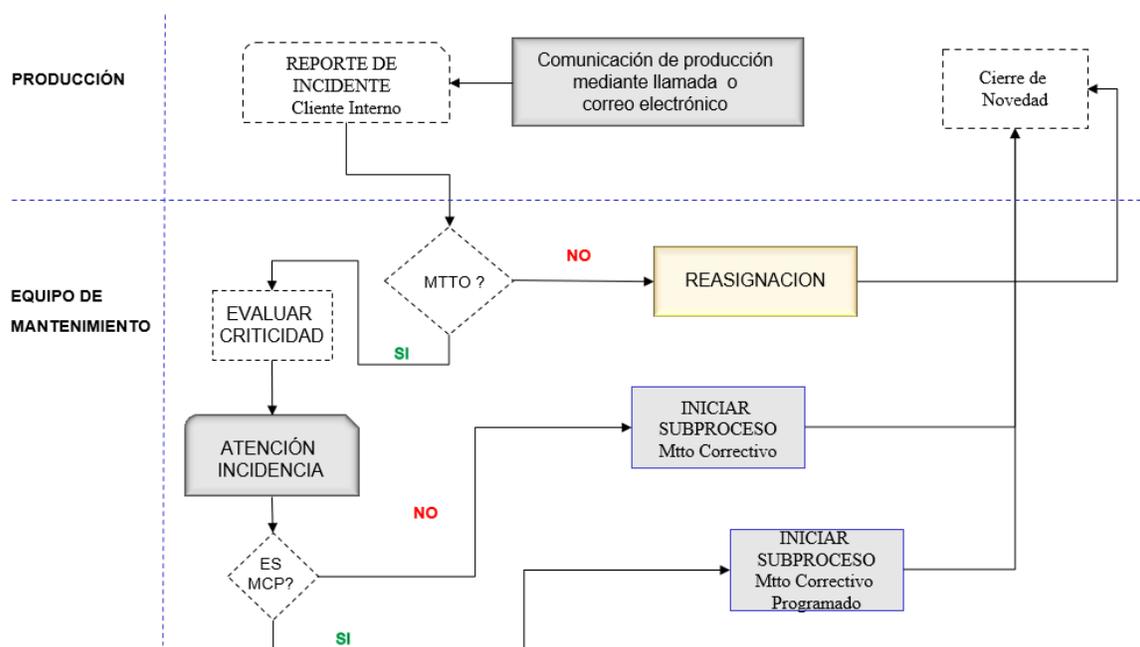
Luego de catalogar la falla, se inicia el subproceso de mantenimiento que aplique según los resultados de criticidad y el tipo de falla presentada, la ilustración 13 muestra el diagrama de proceso aplicable a la atención de emergencias.

Tabla 24 Nivel de criticidad según el número de interacciones afectadas y duración de la falla

Criticidad	Interacciones afectadas	Tiempo de falla
Alta	n>300	t>30
Media	100<n<300	10<t<30
Baja	n<100	t<10

Fuente: Propia

Ilustración 13 Subproceso de atención de emergencias AE

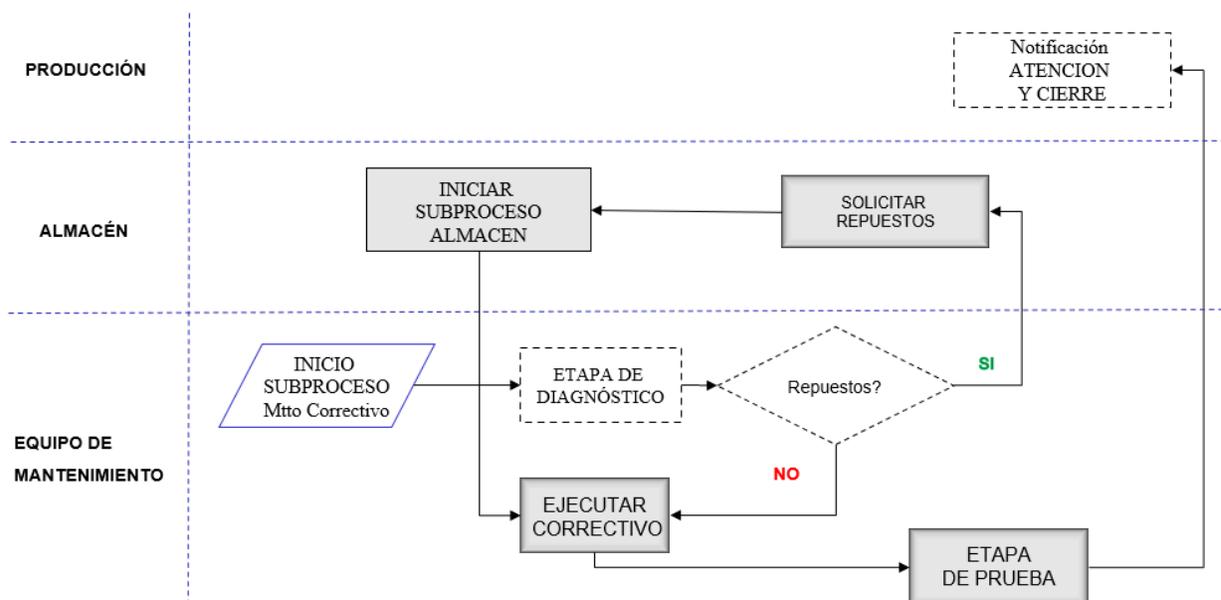


Fuente: Propia

6.3.5.2 Mantenimiento correctivo no programado MCNP

Las actividades de mantenimiento correctivo serán derivadas de inspecciones rutinarias, mantenimiento preventivo, o como resultado de fallas sobre EMC. El subproceso de mantenimiento correctivo no programado, en adelante MCNP, inicia con una etapa de diagnóstico en la que se identifica a través de técnicas de causa raíz, el componente que ocasionó la falla determinando en cada caso si se requiere repuestos o consumibles para el desarrollo de la actividad. En caso positivo, se solicitarán al almacén los repuestos o consumibles necesarios para la actividad y en caso contrario, se ejecutará la tarea con una etapa posterior de prueba y notificación de cierre al cliente interno. El subproceso de MCNP es mostrado en la ilustración 14.

Ilustración 14 Subproceso de mantenimiento correctivo no programado MCNP

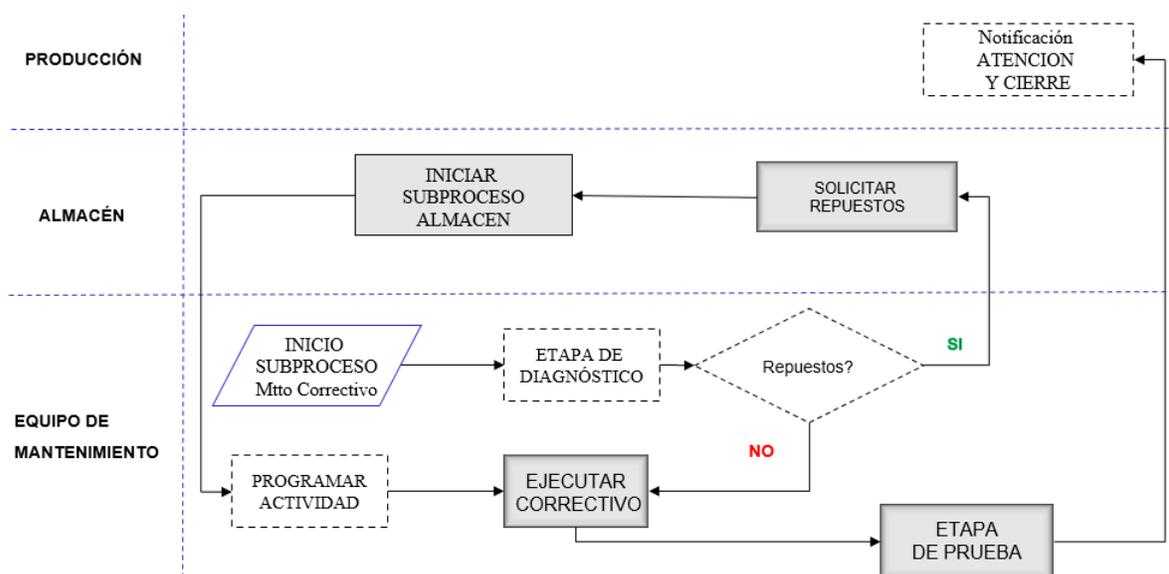


Fuente: Propia

6.3.5.3 Mantenimiento correctivo programado MCP

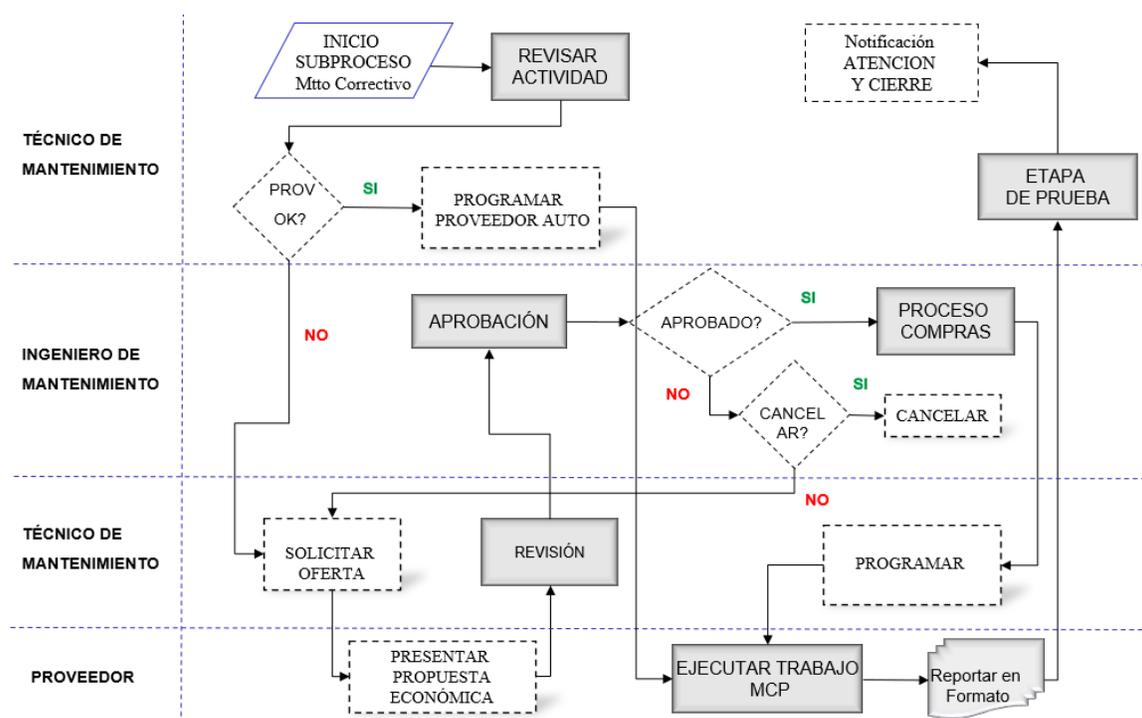
El subproceso de mantenimiento correctivo programado, en adelante MCP, conserva las mismas etapas que el MCNP e incluye una etapa de programación que es ejecutada por el equipo de mantenimiento. La idea fundamental para la programación de las rutinas de MCP será la reformulación del cronograma general de mantenimiento a fin de incluir las intervenciones objeto de este subproceso, las ilustraciones 15 y 16 muestran el subproceso detallado de MCP general e interno respectivamente.

Ilustración 15 Subproceso de mantenimiento correctivo programado MCP etapa I



Fuente: Propia

Ilustración 16 Subproceso de mantenimiento correctivo programado MCP etapa II



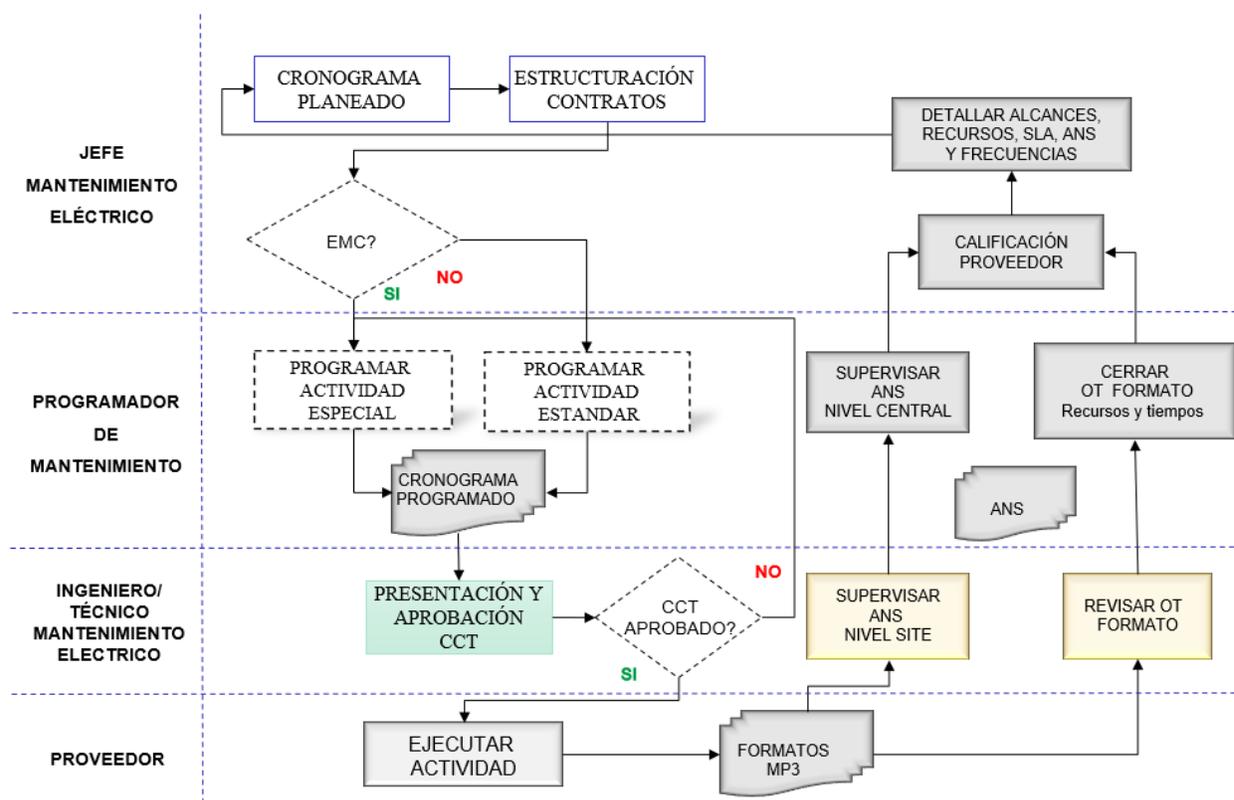
Fuente: Propia

6.3.5.4 Mantenimiento preventivo MP

Se define el proceso de mantenimiento preventivo, en adelante MP, mediante la correlación de tres verticales fundamentales: la primera vertical relaciona el mejoramiento en el subproceso de inspecciones rutinarias a los EMC; esto incluye un aumento en el número de actividades y la vinculación de formatos de inspección cargados en un software que permite realizar el diligenciamiento en línea y guardar en un servidor la evidencia correspondiente a la inspección realizada, el proceso de inspección técnica es mostrado en la ilustración 19. La segunda vertical asocia los contratos de mantenimiento preventivo programado, los cuales son la entrada principal para la planeación estratégica del mantenimiento en la Organización. La implementación de contratos de mantenimiento permitirá definir los niveles de acuerdos de servicio, tiempos de respuesta de proveedores antes fallas, rutinas de mantenimiento con

para el caso de los EMC se definen las rutinas como especiales debido a que requieren la solicitud de un control de cambios que surte efecto posterior a la etapa de planificación. Al ejecutar cada rutina se activan una serie de etapas en las que se supervisa y controla los tiempos de atención, se archivan los formatos y se califica al proveedor, esta calificación servirá como métrica para la evaluación anual de proveedores. En la ilustración 18 se encuentra el detalle del subproceso de MPP.

Ilustración 18 Subproceso de ejecución de mantenimiento preventivo programado MPP a través de terceros



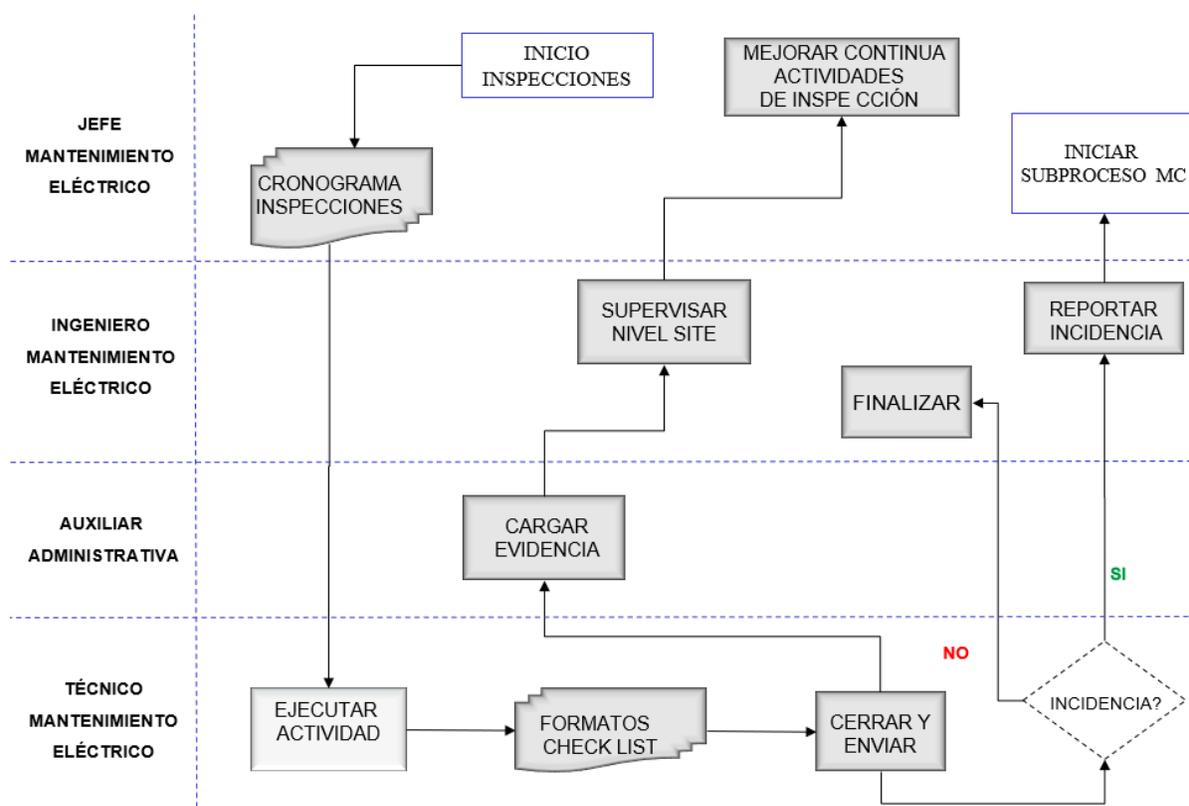
Fuente: Propia

6.3.5.6 Inspecciones técnicas IT

El subproceso de inspecciones técnicas, en adelante IT, es derivado de los planes de trabajo, su característica principal es la ejecución de actividades realizadas por personal del área

de mantenimiento eléctrico las cuales obedecen a frecuencias menores, no invasivas y en su mayoría son de carácter visual y están acompañadas de un registro fotográfico sobre el activo inspeccionado. La ilustración 19 muestra el subproceso de IT.

Ilustración 19 Subproceso de inspección técnica IT en EMC



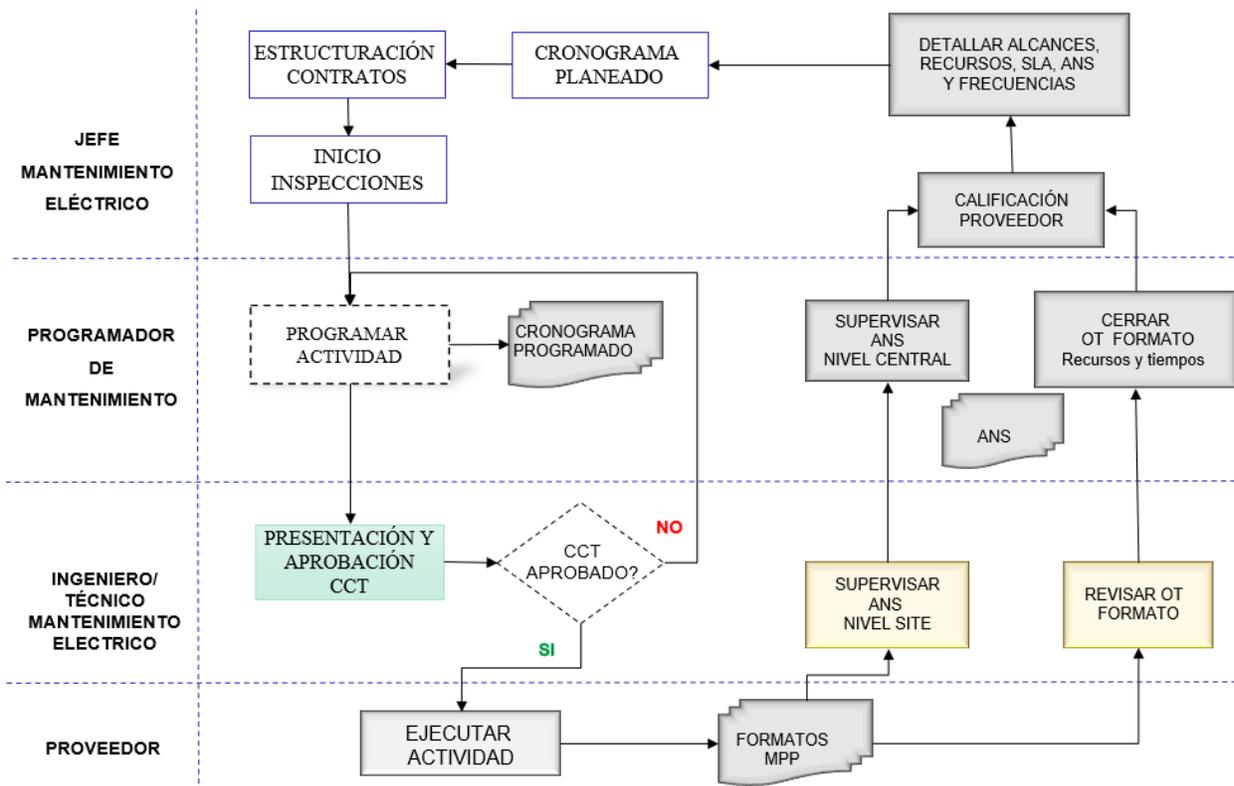
Fuente: Propia

6.3.5.7 Mantenimiento predictivo

Para llevar la política de mantenimiento hacia un modelo de operación de alta disponibilidad es necesario vincular el mantenimiento predictivo, en adelante MPD, al proceso en desarrollo. Por la naturalidad de los EMC se plantea incluir rutinas de análisis termográfico en las UPS y tableros de transferencia, y análisis de aceites y gases en los generadores eléctricos. El subproceso de MPD se muestra en la ilustración 20 e inicia con la estructuración de contratos según las actividades predictivas descritas, las rutinas de MPD deberán alimentar el cronograma

general de mantenimiento y su periodicidad estará alineada con la criticidad encontrada en cada equipo objeto de estudio.

Ilustración 20 Subproceso de mantenimiento predictivo MPD



Fuente: Propia

Dentro de los niveles de acuerdo de servicio mostrados en la tabla 25 se darán a conocer las reglas de juego para la prestación de servicios de mantenimiento en la Organización, para el caso de medición de cumplimiento en las rutinas de mantenimiento se desarrolla un archivo que permite identificar el desempeño de terceros en los servicios contratados y establece una calificación al servicio prestado. La ilustración 21 muestra la herramienta para la medición del cumplimiento en rutinas de mantenimiento efectuado por terceros.

Tabla 25 Acuerdo niveles de servicio definidos para EMC

Métrica	Descripción	Target	Min	Max
Ratio de Ejecución.	Es la cantidad de veces que se realiza un servicio planeado en un determinado periodo.	97.5%	95%	100%
Ratio de Cumplimiento.	Mide si las atenciones fueron oportunas, se realizaron según lo pactado (cumplimiento).	90%	80%	100%
Atención de Emergencias.	Es la cantidad de tiempo en horas y minutos transcurridos desde que se requiere al Proveedor de manera formal el servicio y este es atendido en sitio.	2H	1H	3H
Calidad	Contempla variables como la reincidencia en llamados por mantenimientos realizados a los equipos intervenidos, la calidad de los trabajos terminados, el trato y disposición del personal. Se calcula en intervalos de 6 y 12 meses.	4.5	4	5

Fuente: Propia

Ilustración 21 Herramienta para la medición de cumplimiento de terceros en actividades de mantenimiento

SERVICIO	ACORDADAS	EJECUTADAS	EJECUTADAS SEGÚN ANS
VISITAS POR MP	61	18	3
VISITAS POR MCP	2	2	2
VISITAS POR MPD	0	0	0
TOTAL VISITAS	63	20	5
AVANCE		31,7%	25,0%

EJECUTADAS	20	5
PENDIENTES	43	15
TOTAL VISITAS	63	20

ATENCION MPP	T ACORDADO	T REAL DE	DIFERENCIA
VISITA 1	120	145	25
VISITA 2	120	115	-5
TOTAL	240	260	20
			92%



Fuente: Propia

6.3.5.8 Frecuencia de mantenimiento

Una vez identificada la criticidad de los EMC se establecen las nuevas rutinas preventivas y predictivas, las cuales harán parte fundamental del cronograma de mantenimiento de la Compañía, la tabla 26 muestra el detalle de las rutinas según la taxonomía de cada equipo.

Tabla 26 Nuevas frecuencias de mantenimiento preventivo y predictivo

Item	Activo	Ubicación		Taxonomía	Nueva Frecuencia de Inspección	Nueva frecuencia rutina de mantenimiento preventivo	Frecuencia rutina de mantenimiento predictivo
		Ciudad	Edificio				
1	Generador	Medellín	Aguacatala	CO-ME-01-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
2	Generador	Medellín	Bello	CO-ME-02-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
3	Generador	Medellín	Bello	CO-ME-02-S1-ELE-GEN2-208V	Semanal	Trimestral	Anual
4	Generador	Medellín	Poblado	CO-ME-03-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
5	Generador	Medellín	Industriales	CO-ME-04-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
6	Generador	Medellín	Industriales	CO-ME-04-S1-ELE-GEN2-208V	Semanal	Trimestral	Anual
7	Generador	Cali	Cañaveralejo	CO-CA-01-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
8	Generador	Cali	La Ermita	CO-CA-02-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
9	Generador	Cali	La Ermita	CO-CA-02-S1-ELE-GEN2-208V	Semanal	Trimestral	Anual
10	Generador	Bogotá	Centro	CO-BO-01-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
11	Generador	Bogotá	Chapinero	CO-BO-02-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
12	Generador	Bogotá	Montevideo	CO-BO-03-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
13	Generador	Bogotá	Montevideo	CO-BO-03-S1-ELE-GEN2-208V	Semanal	Trimestral	Anual
14	Generador	Bogotá	Castellana	CO-BO-04-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
15	Generador	Bogotá	Castellana	CO-BO-04-S1-ELE-GEN2-208V	Semanal	Trimestral	Anual
16	Generador	Bogotá	Zona Industrial	CO-BO-05-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
17	Generador	Bogotá	Zona Industrial	CO-BO-05-S1-ELE-GEN2-208V	Semanal	Trimestral	Anual
18	Generador	Bogotá	Engativá	CO-BO-06-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
19	Generador	Barranquilla	Soledad	CO-BA-01-S1-ELE-GEN1-480V	Semanal	Trimestral	Anual
20	Generador	Barranquilla	Soledad	CO-BA-01-S1-ELE-GEN2-480V	Semanal	Trimestral	Anual
21	Generador	Barranquilla	Villamar	CO-BA-02-S1-ELE-GEN1-208V	Semanal	Trimestral	Anual
22	UPS	Barranquilla	Soledad	CO-BA-01-P1-ELE-UPS1-480V	Semanal	Bimestral	Semestral
23	UPS	Barranquilla	Villamar	CO-BA-02-P1-ELE-UPS1-208V	Semanal	Bimestral	Semestral
24	UPS	Bogotá	Centro	CO-BO-01-P1-ELE-UPS1-208V	Semanal	Bimestral	Semestral
25	UPS	Bogotá	Centro	CO-BO-01-P1-ELE-UPS2-208V	Semanal	Bimestral	Semestral
26	UPS	Bogotá	Chapinero	CO-BO-02-P1-ELE-UPS1-208V	Semanal	Bimestral	Semestral
27	UPS	Bogotá	Chapinero	CO-BO-02-P1-ELE-UPS2-208V	Semanal	Bimestral	Semestral
28	UPS	Bogotá	Chapinero	CO-BO-02-P1-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
29	UPS	Bogotá	Chapinero	CO-BO-02-P1-ELE-UPS4-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
30	UPS	Bogotá	Montevideo	CO-BO-03-P1-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral

31	UPS	Bogotá	Montevideo	CO-BO-03-P1-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
32	UPS	Bogotá	Montevideo	CO-BO-03-P3-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
33	UPS	Bogotá	Castellana	CO-BO-04-P1-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
34	UPS	Bogotá	Castellana	CO-BO-04-P1-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
35	UPS	Bogotá	Castellana	CO-BO-04-P1-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
36	UPS	Bogotá	Castellana	CO-BO-04-P1-ELE-UPS4-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
37	UPS	Bogotá	Castellana	CO-BO-04-P1-ELE-UPS5-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
38	UPS	Bogotá	Zona Industrial	CO-BO-05-P1-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
39	UPS	Bogotá	Zona Industrial	CO-BO-05-P1-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
40	UPS	Bogotá	Zona Industrial	CO-BO-05-S1-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
41	UPS	Bogotá	Zona Industrial	CO-BO-05-S1-ELE-UPS4-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
42	UPS	Bogotá	Engativá	CO-BO-06-P1-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
43	UPS	Bogotá	Engativá	CO-BO-06-P1-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
44	UPS	Bogotá	Engativá	CO-BO-06-P1-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
45	UPS	Bogotá	Engativá	CO-BO-06-P1-ELE-UPS4-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
46	UPS	Cali	Cañaveralejo	CO-CA-01-P5-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
47	UPS	Cali	Cañaveralejo	CO-CA-01-P5-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
48	UPS	Cali	Cañaveralejo	CO-CA-01-P6-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
49	UPS	Cali	La Ermita	CO-CA-02-P2-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
50	UPS	Cali	La Ermita	CO-CA-02-P2-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
51	UPS	Cali	La Ermita	CO-CA-02-P2-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
52	UPS	Medellín	Aguacatala	CO-ME-01-P1-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
53	UPS	Medellín	Aguacatala	CO-ME-01-P1-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
54	UPS	Medellín	Aguacatala	CO-ME-01-P1-ELE-UPS3-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
55	UPS	Medellín	Aguacatala	CO-ME-01-P1-ELE-UPS4-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
56	UPS	Medellín	Bello	CO-ME-02-P1-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
57	UPS	Medellín	Bello	CO-ME-02-P1-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
58	UPS	Medellín	Poblado	CO-ME-03-P2-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
59	UPS	Medellín	Poblado	CO-ME-03-P2-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
60	UPS	Medellín	Industriales	CO-ME-04-P3-ELE-UPS1-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral
61	UPS	Medellín	Industriales	CO-ME-04-P3-ELE-UPS2-208V	2 x Semana	Bimestral	Semestral

Fuente: Propia

En las tablas 27 y 28 se complementan las actividades de MPP nivel 1 incluyendo el cambio de consumibles como filtros y pruebas de descarga en baterías.

Tabla 27 *Actividades de MPP N1 en generadores eléctricos incluyendo cambio de consumibles*

<i>Actividades de mantenimiento preventivo programado en generadores eléctricos</i>	
1	Revisión del estado general del generador.
2	Inspeccionar el estado de las conexiones de la consola de control.
3	Inspeccionar líneas y mangueras.
4	Inspeccionar bornes de conexión de las baterías.
5	Toma de medidas parámetros eléctricos de operación en vacío.
6	Verificar el estado del cargador de baterías.
7	Limpiar respiradero del cárter.
8	Limpiar e inspeccionar tapa del radiador.
9	Revisar la presión de aceite en el motor.
10	Revisar temperatura del refrigerante.
11	Inspeccionar el indicador de servicio del filtro de aceite del motor.
12	Probar el encendido del motor.
13	Comprobar existencia de fugas en el sistema de lubricación.
14	Comprobar el nivel refrigerante del motor.
15	Comprobar el nivel de aceite del motor.
16	Inspeccionar alternador.
17	Revisión motor de arranque.
18	Revisión del sistema de correas y elementos de transmisión (tensión de correa impulsora).
19	Prueba en vacío: Comprobar voltaje y frecuencia de salida del generador.
20	Inspeccionar, verificar y corregir de ser necesario el software del equipo.
21	Verificación estado bomba de agua.
22	Registro en campo del mantenimiento realizado.
23	Probar el estado del Interruptor totalizador del generador.
24	Prueba de sistemas de protección motor generador.
25	Reemplazar filtro primario del aire del motor.
26	Reemplazar filtro secundario de aire del motor.
27	Reemplazo filtro primario de combustible del motor.
28	Reemplazar filtro secundario de combustible del motor.
29	Verificar estado y prueba de transmisión tarjeta de comunicaciones.
30	Verificación drenaje tanque A.C.P.M
31	Informes de los mantenimientos realizados a los equipos, en donde se reflejen las acciones realizadas y las determinaciones sobre el estado de los equipos a los cuales se les realizó el respectivo mantenimiento, en caso de necesitar acciones correctivas, se deberán anexar fotografías y demás elementos que soporten la necesidad de dichas acciones en cuyo caso anexarán el valor aproximado del respectivo arreglo que se deba realizar.

Fuente: Propia

Tabla 28 *Actividades de MPP N1 en UPS incluyendo pruebas básicas*

<i>Actividad</i>	
1	Comprobar funcionamiento de HVAC en el cuarto.
2	Revisar niveles de tensión, corriente y potencia en panel de control.
3	Revisión y restauración de alarmas generadas por la UPS.
4	Revisión externa con comprobación de voltajes a la entrada y salida de la UPS.
5	Revisión y medición de carga y descarga de baterías internas y de los bancos externos.
6	Limpiar acumulación de polvo en las UPS y bancos de baterías (soplado y/o aspirado)
7	Revisar el estado de los cables y clavijas (conector Anderson)
8	Comprobar funcionamiento de ventiladores (obstaculización y acumulación de polvo, óxido o corrosión).
9	Verificación de valores de salida teniendo en cuenta que el rango de tensiones no debe superar +/- 10%.
10	Comprobar estructura de los ups, ajustar (tornillos).
11	Limpieza e inspección de los filtros de polvo de cada UPS.
12	Descarga, verificación y entrega de log de eventos registrados durante el último periodo.
13	Entrega de reportes de mantenimiento al finalizar la actividad.
14	Inspección visual de breaker, bancos de batería y conexiones de entrada y salida de cada equipo.
15	Pruebas con carga simulando por 5 minutos una o varias fallas en la alimentación eléctrica de la UPS.
16	Reporte y análisis de medición de baterías.
17	Informe ejecutivo de cada mantenimiento Nivel 1 en donde se incluyan los eventos registrados, parámetros eléctricos, temperaturas encontradas en las revisiones de temperatura y las recomendaciones del caso. Debe presentarse una semana después de finalizado el mantenimiento del equipo.

Fuente: Propia

6.3.5.9 Auditoría al proceso de mantenimiento en la Compañía

La auditoría será una herramienta de ayuda que busca aportar al proceso de mejora continua en la Compañía, al inicio del proceso es recomendable una práctica de auditorías permanentes, una vez decantado y consolidado se sugiere mantener auditables tres aspectos: la revisión interna del funcionamiento del proceso cuya frecuencia deberá ser trimestral, dentro de los aspectos a revisar se encuentra el diligenciamiento y utilización de los formatos; inspecciones físicas a los EMC, aplicación de procedimientos descritos en la política y revisión de indicadores entre otros.

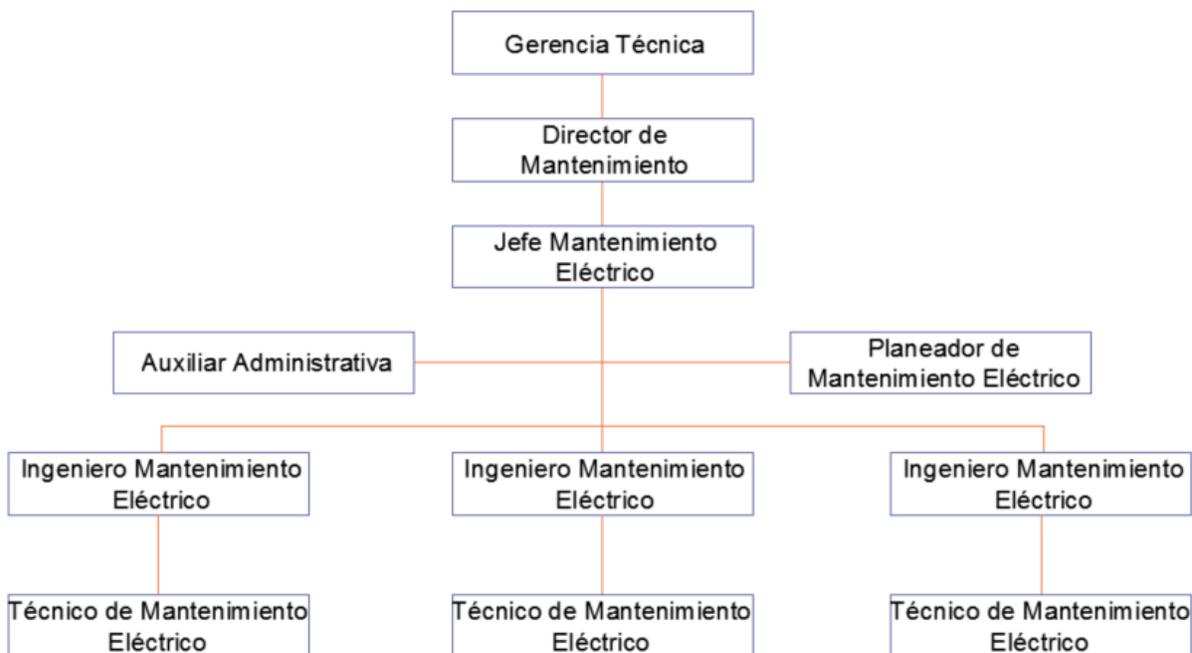
La auditoría externa será realizada por una empresa externa experta en gestión de mantenimiento, los puntos a revisar contienen el diligenciamiento y utilización de los formatos, aplicación de la política, revisión de plan de capacitaciones anuales, actualización de planes de trabajo y taxonomías, revisión de las evaluaciones a proveedores, seguimiento a indicadores de mantenimiento, evaluación al personal de mantenimiento eléctrico sobre los procesos de la política e informe de hallazgos y recomendaciones, se define una frecuencia semestral para esta auditoría.

Finalmente, se implementará una auditoría técnica realizada al mantenimiento eléctrico por una empresa externa, esta actividad incluye una revisión detallada en campo a los EMC, prueba de operación real a los EMC, revisión de tendencias en los parámetros eléctricos de cada sistema, revisión de histórico de intervenciones programadas realizadas, inspección a los cuartos técnicos, calidad en la información consignada en los formatos, revisión de informes de causa raíz entre otros, la periodicidad para esta auditoría será anual.

6.3.6 Nuevo organigrama de mantenimiento eléctrico

Se define el nuevo organigrama de mantenimiento eléctrico alineado con la política planteada, la principal diferencia respecto al organigrama actual es la vinculación de 3 ingenieros de mantenimiento, un programador y una auxiliar administrativa. A continuación, una breve descripción de las funciones que a partir de la implementación de la política deberá asumir el personal.

Ilustración 22 *Nuevo organigrama de mantenimiento eléctrico alineado con la política*



Fuente: Propia

6.3.6.1 *Jefe mantenimiento eléctrico*

El jefe de mantenimiento eléctrico tendrá bajo su responsabilidad las siguientes funciones propias del cargo:

- Reportar a la Dirección novedades e indicadores de cumplimiento en ejecución de actividades de mantenimiento programado.
- Controlar a nivel estratégico la gestión de los ingenieros de mantenimiento eléctrico.
- Realizar seguimiento al desempeño de los proveedores mediante la evaluación de indicadores.
- Cumplir con el programa de mantenimiento preventivo y predictivo propuesto en la reunión estratégica anual.

- Asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los EMC y la infraestructura eléctrica de la Compañía.
- Analizar las fallas presentadas en la plataforma eléctrica y proponer planes de mejora continua.
- Supervisar de forma física las actividades de mantenimiento nivel 3 que se ejecuten a través de los Proveedores.
- Realizar evaluación de proveedores de mantenimiento eléctrico bajo el acuerdo de nivel de servicio.

6.3.6.2 Ingeniero de mantenimiento eléctrico

El ingeniero de mantenimiento eléctrico tendrá bajo su responsabilidad las siguientes funciones propias del cargo:

- Supervisar las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo Nivel 2.
- Inspeccionar acorde a frecuencia definida en la política los EMC e infraestructura eléctrica en los edificios a su cargo.
- Velar por el buen estado de los EMC, equipos de mantenimiento predictivo y herramientas que le sean asignadas.
- Realizar informe semanal de las actividades de mantenimiento ejecutadas.
- Revisar los informes y reportes de mantenimiento entregados por los Proveedores.
- Cumplir con las normas de seguridad y salud en el trabajo establecidas al interior de la Compañía.
- Ejecutar proyectos de mejora continua para el aumento en la confiabilidad y disponibilidad de los EMC.

6.3.6.3 Técnico de mantenimiento eléctrico

El técnico de mantenimiento eléctrico tendrá bajo su responsabilidad las siguientes funciones propias del cargo:

- Supervisar las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo Nivel 1 que le sean asignadas según programación.
- Inspeccionar según frecuencia descrita en la política, los sistemas y subsistemas bajo su responsabilidad.
- Velar por el buen estado de los EMC, equipos de mantenimiento predictivo y herramientas que le sean asignadas.
- Operar las redes eléctricas de baja tensión normales y reguladas de la Compañía.
- Realizar turnos de disponibilidad para atención de emergencias en horario no hábil.
- Atender las solicitudes generadas a través de la plataforma de cliente interno.
- Ejecutar maniobras eléctricas presentadas y aprobadas en el comité de cambios.

6.3.6.4 Programador de mantenimiento eléctrico

El técnico de mantenimiento eléctrico tendrá bajo su responsabilidad las siguientes funciones propias del cargo:

- Planear y programar ventanas de mantenimiento en la plataforma de control de cambios.
- Estructurar el cronograma general de mantenimiento eléctrico incluyendo las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo definidas en la reunión anual estratégica.

- Conciliar el cronograma planeado con el programado verificando que las rutinas descritas en la política se encuentren cubiertas.
- Supervisar los niveles de acuerdo de servicio con cada proveedor de mantenimiento.
- Dar el correspondiente cierre a las órdenes de trabajo generadas dentro del proceso de mantenimiento.

6.3.6.5 Auxiliar administrativa

La auxiliar administrativa tendrá bajo su responsabilidad las siguientes funciones propias del cargo:

- Recibir evidencias de mantenimiento, cargarlas en el servidor y cruzar contra el cronograma para encontrar el nivel de cumplimiento.
- Gestionar horas extra e incapacidades presentadas durante el mes y reportar las novedades para el pago de nómina.
- Elaborar informe de gestión del equipo de mantenimiento por cada Q.
- Hacer seguimiento de los procesos de gestión documental, archivo e inventario de los servicios públicos en la Compañía.
- Realizar la solicitud de contratos, otro si, pólizas y reclamaciones al departamento jurídico.
- Realizar seguimiento a la facturación de los proveedores de mantenimiento de la Compañía.

6.3.7 Definición de roles dentro del proceso de mantenimiento

Se definen los roles para cada una de las etapas del proceso de mantenimiento los cuales permitirán planear y controlar las variables presentadas y proponer las opciones de mejora continua en la organización.

6.3.7.1 Rol de ejecutor de actividades programadas

El rol de ejecutor de mantenimiento relaciona al grupo de personas encargadas de realizar trabajo de campo en cualquiera de los edificios de la Organización, antes de iniciar cualquier actividad de intervención deberá asegurar los elementos necesarios y las condiciones técnicas propias de la labor. Dentro de la política, el técnico, ingeniero y jefe de mantenimiento eléctrico hacen parte del grupo de ejecutores de actividades programadas.

6.3.7.2 Rol de supervisor de actividades programadas

El supervisor controla y administra los recursos humanos de terceros durante el proceso de intervención a los EMC, debe realizar la coordinación y seguimiento necesaria para que las rutinas realizadas cumplan con las condiciones contractuales y recomendaciones del fabricante de cada equipo. Dentro de la política, el técnico, ingeniero y jefe de mantenimiento eléctrico hacen parte del grupo de supervisores.

6.3.7.3 Rol de programador de actividades

El rol de programador de actividades realiza la asignación de la mano de obra propia o tercerizada para atender toda actividad de mantenimiento en la Organización, define las fechas de programación teniendo en cuenta la disponibilidad de personal, materiales, herramientas propias o en el caso de tercerizar quien será el proveedor. Se define que este rol deberá crearse dentro de la estructura del área de mantenimiento.

6.3.7.4 Rol de Diagnosticador de EMC

El rol de diagnosticador relaciona el personal de mantenimiento encargado de realizar la condición inicial de un equipo o sistema en falla, el diagnóstico inicial se realiza en campo sobre el equipo que opera en modo de falla y debe estar capacitado para resolver problemas de mediana complejidad presentados en los EMC de la Compañía. Se define que el técnico de mantenimiento será el perfil que encaja dentro de este rol.

6.3.8 Plan de capacitación para el equipo de mantenimiento eléctrico

De forma anual se estructurará un plan de capacitación orientado a los diferentes niveles del área, el objetivo del plan es realizar un reentrenamiento permanente abordando tópicos inherentes a las actividades propias de los cargos tales como gestión de activos, seguridad industrial y mantenimiento eléctrico especializado. Algunos de los aspectos más relevantes a tratar son la inducción al personal nuevo, taxonomía de los EMC, planes de trabajo definidos en la política, criticidad de equipos, proceso de atención a fallas, roles y funciones. Se incluirá también un módulo con temas de interés como el funcionamiento de plantas eléctricas, UPS, transferencias eléctricas y análisis y modos de falla.

Las capacitaciones que se realicen al personal de mantenimiento deberán tener seguimiento y evaluación ligada al desempeño de cada empleado; por la naturaleza técnica de estos espacios, se debe garantizar dinámicas para el desarrollo de actividades proactivas y predictivas.

6.3.9 Indicadores de mantenimiento y control

Las solicitudes de producción para atención de fallas se registran a través de la plataforma de cliente interno, estas novedades se rastrean dentro de la base de datos para analizar causa raíz y tiempos de respuesta.

El backlog es el indicador que muestra la cantidad de casos reportados a través de la plataforma de cliente interno que se encuentran activos y pendientes de atención por el área de mantenimiento, se define que en ningún caso el backlog superará el 15% de los casos creados en el mes inmediatamente anterior.

El ratio de atención a través de la plataforma de cliente interno presenta la relación entre la cantidad de casos registrados en un periodo vs. la cantidad de casos atendidos por el equipo de mantenimiento, en cualquier escenario, el ratio de atención deberá ser mayor o igual a 1.

El cumplimiento del cronograma de MPP se define como la relación porcentual entre el número de actividades programadas vs. el número de actividades ejecutadas con éxito, este indicador se calculará en cada Q y deberá estar por encima del 95%.

La disponibilidad en los EMC se mide porcentualmente y relaciona el tiempo en que el activo está disponible para la producción con relación al tiempo total de calendario. Se define dentro de la política una disponibilidad superior al 99,5%.

7 Impactos esperados/generados

7.1 Impactos esperados

La implementación de la política de mantenimiento en los EMC es uno de los hitos más importantes para el camino de consolidación hacia el nivel de clase mundial. Se espera que una

vez sea implementada, el ciclo de vida de los activos objeto de estudio se hable con lo especificado por el fabricante de cada equipo, evitando la problemática de cambios prematuros en componentes electrónicos sensibles.

Por otro lado, se considera que la implementación de la política logrará una integración entre la estrategia de la Organización y el área de mantenimiento; un impacto en la cultura organizacional para que los profesionales a cargo de la operación y mantenimiento de activos críticos entiendan lo que la Compañía espera en términos de confiabilidad y disponibilidad. Otro impacto esperado con la consolidación de la política de mantenimiento será el cumplimiento de lineamientos legales con los clientes mediante un comprobado aumento en la confiabilidad y disponibilidad de sus plataformas tecnológicas.

7.2 Impactos alcanzados

Los impactos alcanzados en la presente investigación se componen de hallazgos y mejoras sobre la forma de atención y mantenimiento a los EMC de la Organización, y que a priori, pueden remplazarse por mejores prácticas sin depender aún de la implementación de la política de mantenimiento.

Una Compañía de servicios IT requiere que el mantenimiento de los equipos apunte hacia la alta disponibilidad de sus activos críticos, en este sentido existen numerosas brechas en el manejo documental y técnico del proceso, así como en la programación de actividades preventivas realizadas por terceros. Al evidenciar, por ejemplo, que la periodicidad de un mantenimiento preventivo está relacionada con la potencia nominal del activo, se realiza una comparación con la recomendación de fábrica identificando un punto de mejora; esto implica un

cambio inmediato en la asignación de rutinas a fin de prolongar el ciclo de vida útil del activo en estudio.

Las inspecciones visuales rutinarias realizadas a los EMC durante el periodo de la investigación se ejecutaban sin ninguna guía metodológica o formato que permitiera homogenizar criterios. A partir del hallazgo, se sugirió crear un formato simple que recogiera los puntos más importantes a revisar para tener trazabilidad de las evidencias y poder hacer seguimiento al estado de los Activos, la tabla 29 muestra el formato de inspección implementado.

Tabla 29 *Formato de inspección rutinaria*

Inspección rutinaria		
Sistema por inspeccionar	Ups	Taxonomía
	GENERADOR	
Fecha	Hora	
1	¿Coincide la fecha y hora del equipo con la fecha y hora real?	SI NO
2	Equipo operativo, en línea y sin alarmas activas en panel	SI NO
3	Presencia de sonidos u olores anormales	SI NO
4	Presencia de alarmas en panel	SI NO
5	Voltaje de baterías en el rango permitido	SI NO
6	Voltaje de operación dentro de rango permitido	SI NO
7	Frecuencia de operación dentro de rango permitido	SI NO
8	Presencia de polvo o señales de corrosión en chasis	SI NO

Fuente: Propia

De la información recopilada en la presente investigación se identificó un déficit de rutinas de MPP que repercutieron en la confiabilidad de los equipos objeto de estudio.

El indicador de confiabilidad para los sistemas de misión crítica -aproximadamente 84%- se encuentra en un valor inferior a los estándares citados en el estado del arte, como consecuencia, el tiempo de indisponibilidad de los EMC durante el periodo en estudio fue de cuatro horas y nueve minutos. La principal causa de la alta indisponibilidad está relacionada con falta de rutinas y actividades preventivas de nivel, en ese sentido, fue necesario ajustar de inmediato las actividades de MPP aplicadas a los EMC con el fin de impactar directamente este indicador.

Una vez identificado el equipo de mantenimiento se revisó en campo el conocimiento técnico en los EMC de la Compañía, como resultado se obtuvo actividades específicas

Otro de los impactos alcanzados en la presente investigación es falta de documentación en todas las etapas del proceso reactivo de mantenimiento, al no existir una base de datos sólida de los equipos y sus intervenciones, es difícil alimentar hojas de vida y realizar seguimiento a la ejecución de presupuesto de mantenimiento.

El 90 % de las fallas registradas durante el periodo en estudio fueron causadas por una o varias condiciones subestándar de los subsistemas, algunas de ellas relacionadas con el avanzado estado de polución, brechas en las inspecciones rutinarias para identificar parámetros eléctricos de operación y deterioro en partes metálicas energizadas. Dentro del análisis de fallas reportadas se establece que los eventos sucedidos sobre los EMC eran perfectamente predecibles si se hubiera contado con un protocolo para las inspecciones de rutina.

7.3 Discusión

La percepción del mantenimiento eléctrico al iniciar el estudio fue negativa. La llegada de la pandemia y el aislamiento preventivo obligó a las personas responsables a omitir rutinas de

mantenimiento y desproteger los sistemas de respaldo. Pese a que la operación en una Compañía de servicios IT es 7/24, las actividades de mantenimiento preventivo programado fueron dilatadas por las condiciones mismas de la pandemia. Con el desarrollo de la presente investigación se logró identificar el estado real de los EMC y las condiciones de sub-mantenimiento aplicadas antes, durante y después de la pandemia. Existe una constante incertidumbre sobre la respuesta que tendrán los EMC ante una condición de falla en el sistema de distribución eléctrica en Colombia; esto representa un constante riesgo de caída para la Operación de la Compañía en estudio.

Se identificó en el equipo de mantenimiento eléctrico un limitado conocimiento específico sobre los activos bajo su responsabilidad, semanas previas al inicio de la investigación la Compañía tuvo una falla catastrófica producida por errores en la manipulación de los sistemas eléctricos de respaldo. Esta falla repercutió en multas impuestas por clientes a través del cumplimiento de cláusulas relacionadas con la disponibilidad en las plataformas tecnológicas.

Por otro lado, se discutió el porcentaje de fallas relacionadas con las condiciones subestándar de los EMC. El tiempo de respuesta de los Proveedores de mantenimiento ante fallas presentadas durante el periodo en estudio, aumentó indicadores como la criticidad de la falla y el valor de la multa impuesta a la Compañía; es de vital importancia contar con un proceso de atención de emergencias que vincule los acuerdos de servicio con la reacción del equipo ante una falla.

La implementación de la política de mantenimiento cerrará tanto las brechas como las oportunidades de mejora identificadas en la tabla 16 y será el siguiente paso de transformación hacia un mantenimiento de clase mundial en la Organización.

8 Análisis Financiero

8.1 Costo de implementación de la propuesta

A partir de la política de mantenimiento propuesta para la Compañía se establece la tabla 30 en la cual se relacionan los costos asociados para la implementación de la política.

Tabla 30 Costo total para la implementación de la política de mantenimiento en la Compañía

Implementación de política de mantenimiento				\$ 469.675.408
Salario anual nuevo personal mantenimiento eléctrico				\$ 289.866.408
	Salario Base	Salario + Prestaciones	Salario anual	Subtotal
Ingeniero de mantenimiento eléctrico (3)	\$ 4.000.000	\$ 5.884.507	\$ 211.842.252	\$ 211.842.252
Programador de mantenimiento (1)	\$ 3.500.000	\$ 5.113.943	\$ 61.367.316	\$ 61.367.316
Auxiliar administrativa (1)	\$ 950.000	\$ 1.388.070	\$ 16.656.840	\$ 16.656.840
Implementación taxonomía				\$ 5.185.000
Proceso de identificación física para 61 activos				\$ 5.185.000
Compra anual licencia software inspecciones rutinarias				\$ 30.400.000
Compra de licencia de software AI Maintenance Auditor				\$ 30.400.000
Plan anual de capacitación para equipo de mantenimiento				\$ 17.350.000
Capacitación en manejo de riesgo eléctrico				\$ 5.300.000
Reentrenamiento en trabajo seguro alturas				\$ 6.700.000
Curso avanzado en gestión y mantenimiento de equipos Liebert/Eaton				\$ 2.850.000
Reentrenamiento para operación de generadores Cummins/CAT				\$ 2.500.000
Auditoría externa proceso de mantenimiento				\$ 14.200.000
Auditoría externa proceso de mto SGS				\$ 14.200.000
Contratos de mantenimiento preventivo y predictivo				\$ 112.674.000
Contrato anual de mantenimiento preventivo programado N1+2 UPS				\$ 41.885.000
Contrato anual de mantenimiento preventivo programado N1+2 Generadores				\$ 37.624.000
Contrato anual de mantenimiento predictivo EMC				\$ 14.200.000
Contrato anual para mantenimiento de tableros eléctricos y celdas principales				\$ 18.965.000

Fuente: Propia

8.2 Estimación de la utilidad económica

Durante el periodo en estudio, se determinó que la Compañía prestadora de servicios IT pagó a sus clientes una suma que asciende a los COP 576 millones, por concepto de multas según el detalle mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 31 *Multas pagadas a clientes en 2.020 por indisponibilidad en las diferentes plataformas*

Multa	Valor COP
Multas por indisponibilidad en la plataforma tecnológica ocasionada por fallas en Media Gateway.	\$ 511.325.682
Multas por indisponibilidad en los sistemas de respaldo eléctrico citados en Tabla 11.	\$ 64.728.900
Total pagado en multas durante 2.020	\$ 576.054.582

Fuente: Propia

Se establece que el valor mostrado en la tabla 31 corresponde a dinero que la Compañía dejó de recibir en 2.020 por causa de las fallas asociadas a la operación de EMC. Para efectos del ejercicio financiero se asume que este valor hubiera entrado a la utilidad de la Organización si se contará con una política de mantenimiento.

8.3 Aplicación de indicador ROI

El indicador ROI se define de la siguiente manera:

$$ROI = \frac{I_0 - I_r}{I_r}$$

- I_0 = Ingresos Generados
- I_r = Inversión realizada

Aplicando los valores encontrados en los numerales anteriores, el valor del ROI para la implementación de la política de mantenimiento es del 22,65%. Se espera que, con la implementación de la política de mantenimiento, las fallas presentadas por errores humanos y por mala condición en los EMC se reduzcan en un 90%. Con este nuevo escenario de fallas, el

valor de la confiabilidad en el sistema eléctrico de la Compañía tendrá un incremento de once puntos porcentuales, pasando del 84% al 95%.

9 Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

Una vez finalizado el trabajo de investigación, se destinarán los siguientes renglones para exponer las conclusiones acerca de los resultados obtenidos.

Al establecer las reglas para la política de mantenimiento en una Compañía de servicios IT, se definieron los parámetros para la planificación, programación, ejecución y control de las actividades propias del proceso. Con ello, se logrará un aumento en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de respaldo eléctrico sumado a un incremento en el nivel de seguridad humana en las actividades de mantenimiento.

El equipo humano carece de conocimiento específico sobre la operación y mantenimiento de los activos críticos de la Compañía, la causa raíz de algunas fallas presentadas dentro del periodo en estudio obedeció a mala manipulación en las protecciones o en la lógica para activar contingencias temporales. Se concluye la necesidad de un plan de capacitación en Operación y mantenimiento de EMC, el plan de capacitación debe incluir en sus tópicos, las marcas y referencias de activos existentes en la Compañía.

El desarrollo de la taxonomía y análisis de criticidad para los equipos objeto de estudio, permitió identificar que el proceso de mantenimiento eléctrico dentro de la Compañía está centrado en indicadores irrelevantes para la operación de equipos críticos, la asignación de rutinas preventivas se basa únicamente en el valor de la capacidad individual del activo. De los

análisis realizados sobre el MPP aplicado a los activos en estudio, se concluye la necesidad de cambiar los criterios para la asignación de rutinas, así como tener en cuenta el MTBF y el MTTR. Este cambio permitirá reducir las fallas ocasionadas por una condición deficiente en los EMC, causando un impacto positivo en la confiabilidad del sistema.

Los procesos de mantenimiento aplicado a los EMC son reactivos y llevan a los equipos en estudio a operar cerca de la condición de falla, esto aumenta la probabilidad de caída en los servicios IT y potenciales afectaciones a los clientes. La propuesta de solución plantea un modelo de atención de mantenimiento basado en alta disponibilidad, incluye etapas preventivas y predictivas programadas que sin duda aumentan la confiabilidad en el sistema eléctrico para empresas del sector IT.

9.2 Recomendaciones

Las rutinas de mantenimiento eléctrico en una Compañía de servicios IT deriva en actividades de alto riesgo para las personas que las ejecutan, dentro de las inspecciones realizadas se identificó que los trabajos con tensión, alturas y la operación de equipos energizados no se realiza de manera segura, es recomendable dentro del plan de transformación cultural incluir en el equipo a profesionales en Seguridad y Salud en el Trabajo, cuya misión sea aportar en el proceso de aseguramiento y darle un enfoque a la política de mantenimiento orientado a cero accidentes.

Se recomienda realizar la inversión en equipos específicos, analizador de redes y cámara termográfica esto como estrategia para controlar los costos del subproceso predictivo, este plan deberá complementarse con módulos adicionales en el programa de capacitación a fin de tener un personal idóneo que realice estas actividades in house.

Si la Compañía decidiera continuar con el plan de aumento en la confiabilidad del sistema eléctrico y llegar a niveles superiores al 99% sugeridos por el Uptime Institute, es recomendable considerar la implementación de topologías N+1 o 2N+1 para las sedes en estudio.

La política de mantenimiento se centró únicamente en los subsistemas eléctricos de misión crítica, se recomienda ampliar el alcance o otros subsistemas como el aire acondicionado, los canales de comunicación y los equipos en la red de datos de la Compañía.

10 Bibliografía

- Instituto de Normas Técnicas ICONTEC. (2015). *NTC-ISO 55000*. Bogotá.
- Alvarez Romero, Y., & al, e. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede Colina*. Bogotá: Universidad ECCI.
- Bal Ponciano, J. L. (2016). *Propuesta de un plan de mantenimiento para motogenerador y equipo de acondicionamiento de aire en un datacenter (Centro de Procesamiento de Datos)*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Barrera Medina, C. (2020). *Propuesta de un modeli de confiabilidad QA para mantenimiento overhaul en la empresa PCB Ingeniería SAS*. Bogotá: Universidad ECCI.
- Camacho Valeria, D. (2007). *Definición de una plataforma de servicios TIC de Misión Crítica para el Instituto Costarricense de Electricidad*. Heredia: Universidad Nacional de costa Rica.
- Cardona A., D. F. (2015). Respaldo eléctrico con recursos renovables: Estudio de viabilidad. *Revista Visión Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 113-127.

- Castillo Alvarez, N., & al, e. (2020). *Propuesta de mitigación de riesgo electrico en labores de instalación y mantenimiento de bancos de baterías, para sistemas de alimentación ininterrumpida UPS*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Curtis, P. M. (2021). *Maintaining Mission Critical Systems in a 24/7 Environment*. Hoboken, New Jersey: IEEE Press.
- Forero Clavijo, F., & al, e. (2020). *Adecuación del SG SST de Stewart & Stevenson de las Américas Colombia Ltda .* Bogotá: Universidad ECCI.
- Huerta, R. (2006). Proceso de análisis integral de disponibilidad y confiabilidad como soporte para el mejoramiento continuo de las empresas. *Reliability World*. Monterrey, México.
- Lucero Morocho, W. F. (2019). *Propuesta de un sistema de mantenimiento productivo total TPM, para los equipos eléctricos del Banco del Austro, en base a un análisis de mantenimiento preventivo, predictivo y autónomo*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Macas Díaz, R. B. (2017). *Desarrollo de un plan de mantenimiento para el área de datacenter del Hospital Pediátrico Baca Ortiz*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Marqueño Navarro, F. (2020). *Diseño y cálcuo de las instalaciones de una sala dedicada en un centro de datos de misión crítica y alta disponibilidad*. Valencia: Universidad Pilotécnico de Valencia.
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE*. Bogotá: AIEEUN.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en la Confiabilidad*. Madrid: Industrial Pres Inc.
- National Fire Protection Asociation. (2019). *NFPA 70B Recomendded practice for Electrical Equipment Maintenance*. San Antonio, TX: NFPA.

- Olmedo Noriega, C. F. (2019). *Evaluación de la gestión del mantenimiento para las agencias críticas de Banecuator B.P., y la propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad y costos del ciclo de vida bajo la norma ISO 55001 AE 16646, para el periodo 2015-2017*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Oromeño Gutierrez, C. A., & al, e. (2017). *Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento para el sistema electromecánico en el centro de datos* . Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Padilla Aguilar, J. J. (2020). Análisis del comportamiento del tráfico en Internet durante la pandemia del Covid-19: el caso de Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería, Universidad Católica de Pereira*, 26-33.
- Porras, F., & al, e. (2016). *Evaluación de variables de mantenimiento utilizando equipos de monitoreo satelital en plantas eléctricas*. Bogotá: Universidad ECCI.
- Telecommunication Industry Association . (2004). *Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers*. Arlington, VA: TIA.
- The British Standards Institution. (31 de 10 de 2016). ISO 14224. *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. Bruselas, Bélgica: BSI.
- Tituven Morán, H. A. (2020). *Propuesta de diseño de un plan de mantenimiento preventivo a generadores estacionarios en una empresa proveedora de internet*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Universidad ECCI. (2016). *Guía metodológica ECCI*. Bogotá: ECCI.
- Villada Duque, F. (2013). El mantenimiento como estrategia competitiva. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 7-13.

