



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Estudio del Impacto de un Nuevo Plan de Mantenimiento Sobre
los Indicadores de Gestión de Mantenimiento en una Estación
Base Celular de Telecomunicaciones**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTOR:

Alvarez Loyaga, Luis Andres (ORCID: 0000-0002-4414-7835)

Montalvo Cruz, Junior (ORCID: 0000-0003-1687-3028)

ASESOR:

Mg. Castro Anticona, Walter Miguel (ORCID: 0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

La presente Tesis lo dedico a mi madre Amalia Loyaga Robles, a mi padre Jorge Alvarez Gómez, quienes han sido los principales promotores de mis sueños, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba, Los amo.

A mis hermanos, a mis tíos y mis abuelos personas especiales que supieron entender y creyeron en mi todo el tiempo, gracias a todos ustedes.

Alvarez Loyaga, Luis Andres

La presente Tesis lo dedico a mi madre Angela Cruz Mantilla, a mi padre Isauro Montalvo Diaz, quienes han sido los principales promotores de mis sueños, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba, Los amo.

A mis Hijos, Dayanna y Sebastian, por tener la paciencia de sacrificar tiempo juntos y apoyarme en mis estudios.

A mis hermanos, en especial a mi hermano Ever en el cielo, quien me enseñó el valor del de trabajo y estudio, gracias a todos ustedes, no hubiera podido llegar a tan lejos sin su apoyo.

Gracias a todos los amo.

Montalvo Cruz, Junior

AGRADECIMIENTO

Al asesor metodológico de la Tesis, Dra. María Elisia Armas Alvarado, por la orientación y la ayuda que nos brindó para la realización de nuestra Tesis.

Al asesor especialista de la Tesis, Mg. Walter Miguel Castro Anticona, por la orientación y la ayuda que nos brindó para la realización de nuestra Tesis.

A todos los docentes de la facultad de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Cesar Vallejo, por la orientación, dedicación y esmero que demostraron durante todo el proceso de mi carrera.

Luis Alvarez Loyaga & Junior Montalvo Cruz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación	13
3.2. Variables y operacionalización.....	13
3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis.....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
3.5. Procedimientos	14
3.6. Método de análisis de datos	15
3.7. Aspectos éticos.....	16
IV. RESULTADOS	17
4.1. Recolección de datos.....	17
4.1.1. Locales bajo concesión por la concesionaria	17
4.1.2. Plan de mantenimiento actual en la empresa de telecomunicaciones	18
4.1.3. Mantenimientos Preventivos	18
4.1.4. Mantenimientos correctivos	22
4.2. Obtención de parámetros de mantenimiento	26
4.3. Análisis de criticidad de los equipos.....	26
4.3.1. Diagrama de causa-efecto.....	26
4.3.2. Diagrama de Pareto.....	29
4.3.3. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).....	31
4.4. Plan de mantenimiento.....	38
4.5. Proyección de nuevos parámetros de mantenimiento.....	41
4.5.1. Modelo de sistema en el estado actual	41
4.5.2. Impacto y proyección de los parámetros de mantenimiento del plan propuesto ..	43
4.6. Análisis económico.....	45

V.	DISCUSIÓN.....	47
VI.	CONCLUSIONES.....	49
VII.	RECOMENDACIONES.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	14
Tabla 2. <i>Cantidad de sitios según su clasificación actual</i>	17
Tabla 3. <i>Frecuencia de actividades de mantenimiento en el plan actual</i>	19
Tabla 4. <i>Actividades de mantenimiento realizadas por sistemas en el 2020</i>	21
Tabla 5. <i>Actividades de mantenimiento realizadas por capa en el 2020</i>	24
Tabla 6. <i>Alarmas Externas de Estación Base De Telecomunicaciones</i>	25
Tabla 7. <i>Equipos afectados cuando se presenta una alarma</i>	25
Tabla 8. <i>Parámetros de mantenimiento para los sistemas de una central</i>	26
Tabla 9. <i>Frecuencias de fallas para las capas de red</i>	29
Tabla 10. <i>Frecuencias de fallas por sistemas</i>	30
Tabla 11. <i>Criterios típicos de evaluación de la severidad</i>	31
Tabla 12. <i>Criterios típicos de evaluación de ocurrencias</i>	32
Tabla 13. <i>Criterios típicos de evaluación de detección</i>	32
Tabla 14. <i>Determinación del modo potencial de falla</i>	33
Tabla 15. <i>Análisis de severidad de modos de falla</i>	34
Tabla 16. <i>Análisis de ocurrencia de modos de falla</i>	35
Tabla 17. <i>Análisis de detección de modos de falla</i>	36
Tabla 18. <i>Análisis del número de prioridad de riesgo de los modos de falla</i>	37
Tabla 19. <i>Plan de mantenimiento</i>	39
Tabla 20. <i>Plan de mantenimiento (Continuación)</i>	40
Tabla 21. <i>Parámetros de mantenimiento para los sistemas (minutos)</i>	42
Tabla 22. <i>Parámetros de mantenimiento obtenidos de ProModel</i>	45
Tabla 23. <i>Cobro mensual según tipo de demanda para MC</i>	45
Tabla 24. <i>Ahorro anual para MC con el plan propuesto</i>	46
Tabla 25. <i>Ganancia Anual para de la Concesionaria por MP</i>	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Evolución de los sistemas celulares inalámbricos.....	7
Figura 2. Representación de la red de telefonía.....	8
Figura 3. Diagrama de bloques de la CT Trujillo	9
Figura 4. Diagrama de flujo para el mantenimiento preventivo.....	20
Figura 5. Diagrama de flujo para el mantenimiento correctivo.....	23
Figura 6. Diagrama de causa-efecto para las fallas en una estación base celular	28
Figura 7. Diagrama de Pareto para las capas de energía, radio y Transporte	29
Figura 8. Diagrama de Pareto para los sistemas de una estación base celular.....	30
Figura 9. Modelo de los sistemas en una estación base celular en ProModel.....	41
Figura 10. Resultados del modelo hecho en ProModel.....	42
Figura 11. Gráfico de barras con resultados del modelo hecho en ProModel	43
Figura 12. Resultados del modelo hecho en ProModel.....	44
Figura 13. Resultados del modelo hecho en ProModel.....	44

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se realizó el estudio del impacto de un nuevo plan de mantenimiento para reducir el número de fallas en las estaciones base celular (EBCs) de una empresa de telefonía en el departamento de la Libertad-Perú. Dicha empresa realiza un pago fijo a una concesionaria por un número determinado de actividades de mantenimiento, además, en caso se requiera un número mayor de tales actividades la empresa concesionaria debe cubrir el gasto de las mismas, es así que se planteó un nuevo plan de mantenimiento para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento de estas estaciones.

La secuencia metodológica inicio con la recopilación y procesamiento de la información de fallas para obtener los parámetros de mantenimiento en el estado actual. Seguidamente se definieron las funciones y se determinaron los equipos de mayor riesgo, posteriormente se realizó el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para reducir la cantidad de fallas en estos equipos y se proyectaron los indicadores de gestión de mantenimiento para el plan propuesto.

Con el nuevo plan de mantenimiento se reduce la cantidad de fallas y se logra un aumento máximo de la disponibilidad de 9.28% en los sistemas de las EBC. Además, al implementar el plan de mantenimiento se estima obtener un beneficio económico de S/. 89,447.11 por parte de la concesionaria por las actividades de mantenimiento preventivo.

Palabras Clave: Central de telecomunicaciones, mantenimiento, confiabilidad, fallas.

ABSTRACT

In this thesis work, the study of the impact of a new maintenance plan was carried out to reduce the number of failures in the cellular base stations (EBCs) of a telephone company in the department of La Libertad-Peru. Said company makes a fixed payment to a concessionaire for a certain number of maintenance activities, in addition, if a greater number of such activities is required, the concessionaire company must cover their expenses, thus, a new maintenance plan was proposed. maintenance to improve the maintenance management indicators of these stations.

The methodological sequence began with the collection and processing of the failure information to obtain the maintenance parameters in the current state. Next, the functions were defined and the equipment with the highest risk was determined, later the maintenance plan based on reliability was carried out to reduce the number of failures in this equipment and the maintenance management indicators were projected for the proposed plan.

With the new maintenance plan, the number of failures is reduced and a maximum increase in availability of 9.28% is achieved in the EBC systems. In addition, by implementing the maintenance plan it is estimated to obtain an economic benefit of S /. 89,447.11 by the concessionaire for preventive maintenance activities.

Keywords: Central telecommunications, maintenance, reliability, failures.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, un parámetro crítico para las organizaciones de telecomunicaciones es la cantidad de estaciones base celular (EBC), debido al crecimiento exponencial de la tecnología digital (Gagnon, 2018). En el mismo sentido el crecimiento de estaciones de telecomunicaciones creció desde el año 2013 al 2019 a una tasa porcentual anual promedio del 12%, surgiendo la necesidad en las empresas prestadoras de este servicio actualizar sus cargas eléctricas, ampliar estaciones base celulares e implementar mejoras en sus equipos (Roy y Lam, 2017).

En el Perú las EBCs registran un crecimiento del 26% desde el periodo 2014 hasta la actualidad 2020 (Han, 2017), dónde ya existen 17000 EBCs instaladas de las cuales el 40% tienen una antigüedad de 30 años (Wang y Herranz, 2018).

Siendo esto un problema crítico para las empresas de telecomunicaciones las cuales se ven afectadas por las diversas averías presentadas en los activos fijos de sus instalaciones. Lo cual constituye una pérdida económica significativa, debido a que los equipos de una estación base celular (EBC) tiene que estar en constante crecimiento tecnológico de sus equipos (Arcos, 2019). En los últimos años en el Perú se han desinstalado el 17% EBCs por problemas de mantenimiento en sus instalaciones, dificultades de implementación de actualización de nuevos equipos y rediseño de sistemas eléctricos (Miralles, 2018).

La empresa Telefónica, tiene instaladas 7700 EBCs a lo extenso del territorio del Perú, siendo el operador con mayor EBCs instaladas, seguido de las empresas Claro con 5000 EBCs, Bitel 4800 EBCs y Entel 3800 EBCs (Serna y Morcillo, 2017). Donde cada EBC representa un punto de criticidad para estas empresas, debido a que cada una de ellas engloba un cierto porcentaje de la población, por tal motivo se ven en la necesidad de ejecutar medidas para mejorar la confiabilidad de sus equipos (Ribera, 2018).

La empresa concesionaria es una de las principales compañías globales de tecnología y consultoría a nivel nacional e internacional, gestiona proyectos de forma integral por medio de soluciones a medida para sus clientes, presentando un

largo historial de excelencia en la ejecución de proyectos. Esta empresa está presente en Perú desde 1987 y la actividad de la compañía sigue una estrategia de creación de valor con una oferta de gestión integral de las necesidades de sus clientes, que va desde el diseño de soluciones y servicios tecnológicos, pasando por su desarrollo e implementación, hasta la gestión operativa.

La empresa concesionaria inició un nuevo proyecto con la empresa propietaria el 01 de enero del 2021 el cual consiste en realizar la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo en toda la zona norte del país (Lima Norte, Chimbote, Trujillo, Chiclayo y Piura). En La zonal Trujillo la empresa concesionaria tiene en concesión a 283 estaciones de telecomunicaciones. La misma que percibe un ingreso monetario mensualmente por la cantidad de mantenimientos preventivos ejecutados en las estaciones de telecomunicaciones, el ingreso que percibe depende de la categoría y la cantidad de equipos que exista en el local, esta categoría se encuentra ya pre definida por la empresa propietaria.

Para las 283 estaciones que están bajo concesión en La Libertad existen un plan de mantenimiento preventivo (MP) fijado por la empresa propietaria, que programa anualmente la frecuencia de las actividades de mantenimiento. Por otra parte, a lo largo del año también se presentan actividades de mantenimiento correctivo (MC) debido a que los equipos presentan fallos imprevistos de diversa índole. Bajo este marco la empresa concesionaria recibe un pago fijo por actividades de MC lo cual cubre la atención del 44% de la totalidad de locales bajo concesión. Y sabiendo que dentro de este porcentaje se encuentran los locales principales y de mayor criticidad. Por otra parte, el 56% de los locales pertenecen a estaciones de telecomunicación moderadamente criticas las cuales son atendidas bajo demanda. Para las estaciones consideradas dentro del 44% el ingreso mensual se factura halla o no incidencia durante dicho mes, en caso contrario para las estaciones consideradas dentro del 56% al ser de menor criticidad la empresa concesionaria recibe un ingreso por cada actividad de manteamiento correctivo realizado al mes. Siendo así que, por cada actividad de mantenimiento correctivo, fuera de la cantidad ya predefinida, se presenta gastos relacionados a la movilidad, mano de obra, consumibles y equipos que cubre la empresa misma y representan una pérdida económica para la empresa concesionaria.

Por tal razón que en el presente trabajo se realizará el estudio de una propuesta de plan de mantenimiento para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento en una estación de telecomunicaciones de una empresa de telefonía en el departamento de la Libertad. Esta propuesta se plantea con la finalidad de mejorar la confiabilidad de todos los equipos que componen una estación de telecomunicaciones, la cual a su vez servirá de base para el mantenimiento de las estaciones menos complejas con las que se cuenta en los diversos locales que están bajo concesión.

Para dar solución a la problemática, se planteó la siguiente formulación del problema *¿Cómo mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento en una estación base de telecomunicaciones típica, mediante un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad?*

La investigación se justifica desde el criterio económico, porque le permitirá a la empresa concesionaria reducir sus gastos por mantenimiento a las estaciones de telecomunicaciones, desde el criterio tecnológico se busca aumentar la confiabilidad de los equipos y evitar un deterioro prematuro de los mismos. También la investigación se justifica de manera institucional porque permite solucionar una problemática actual en las estaciones de telecomunicaciones, la cual servirá de base o fundamento para las otras empresas de telecomunicaciones y finalmente desde el criterio ambiental con la propuesta se reducirá la cantidad de desechos de recambio de repuestos y/o activos.

Para dar respuesta al problema se formuló el siguiente objetivo general: Elaborar un estudio del impacto de un nuevo plan de mantenimiento para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento en una estación base de telecomunicaciones.

Para alcanzar el objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) *Realizar la recolección de datos*, (2) *Obtener de los parámetros de mantenimiento MTBF y MTTR*; (3) *Realizar el análisis de criticidad*; (4) *Elaborar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad*; (5) *Proyectar nuevos indicadores de mantenimiento basados en la nueva propuesta mediante el uso de un software*; (6) *Realizar el análisis económico para el nuevo plan de mantenimiento*.

II. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo toma como base bibliográfica los siguientes antecedentes recopilados a nivel nacional e internacional.

Liu et al. (2019) realizaron una investigación en el laboratorio de comunicación inalámbrica de Chunghwa en la sede de Taiwán de la república de China, los autores elaboraron un sistema de gestión de red móvil inteligente con el fin de mejorar la calidad de comunicación de la red móvil, reducir la probabilidad de mal funcionamiento de los componentes de la red, reducir el tiempo de interrupción del servicio y el costo laboral de realizar la inspección y reparación, propusieron además el mecanismo de predicción de mal funcionamiento para una estación base de la red móvil con aprendizaje automático. El sistema utiliza la información de alarma de la estación base recibida diariamente para combinarla con la información de despacho de mal funcionamiento de la estación base para completar la asociación entre el momento en que ocurrió el mal funcionamiento y la información de alarma de los K días antes de que ocurra el mal funcionamiento. A través de la metodología del Ensemble Learning lograron completar el establecimiento del modelo predictivo, y utilizar el modelo establecido para predecir la probabilidad de un mal funcionamiento específico en los próximos M días. En el análisis de los resultados la predicción, la precisión y la memoria se utilizaron como indicadores para medir el modelo de entrenamiento. Los autores demostraron que a través de experimentos se logró encontrar que este modelo tiene una alta probabilidad de predicción y buen rendimiento, este modelo de predicción fue aplicado a la predicción del mal funcionamiento de la estación base de la red móvil de la empresa.

Rueda (2017) en su trabajo demostró como aplicar un software de control y administración MP9 para mejorar la productividad en el proceso del mantenimiento de estaciones base en empresas de telecomunicaciones, el software permite mejorar la administración del mantenimiento de forma eficiente y organizada, es decir permite una mejor organización técnica y administrativa en la gestión de mantenimiento. La metodología de aplicación utilizada en su tesis permitió unificar los sistemas de gestión de una empresa con el objetivo de aplicar un software de

control y administración para mejorar la productividad en el proceso de gestión de mantenimiento; fueron tomadas como muestra 80 estaciones de telecomunicaciones las cuales coinciden con la población total, cuyo análisis y seguimiento sirvió como base para validar las metas planificadas durante la mejora. El autor hace notar en su trabajo que la implementación del Software de Gestión y Mantenimiento MP9 mejora la productividad del mantenimiento de las estaciones base de las empresas de telecomunicaciones, porque se confirman la aceptación de la hipótesis alterna, demostrando la mejora de la planificación de 79.99% a 99.18% logrando obtener un resultado positivo del 19.19% de mejora de productividad. Así mismo se evidencia el aumento en el porcentaje de la calidad de servicio, reduciendo los tiempos de atención de 216.77 min a 93.94 min de mejora de productividad.

Castillo V. (2019) realizó la evaluación de la confiabilidad de los transformadores para las estaciones base en Cundinamarca en sistemas de comunicaciones móviles con el fin de diseñar un plan de mejoramiento para la reducción de las fallas en los transformadores, el propósito de esta investigación fue analizar las causas y tiempos de las fallas que se presentan en los transformadores de las estaciones base, mediante el método de Montecarlo y simular la confiabilidad de los transformadores para diseñar un plan de mejora para la reducción de las fallas en los transformadores, en la investigación se pudo identificar que las fallas más comunes en las empresas de telecomunicaciones son las fallas en la red comercial; los cortes de energía por mantenimiento; las descargas eléctricas atmosféricas que afectan a los fusibles, las líneas conductoras, los transformadores y los descargadores de sobre tensiones. Los resultados evidenciaron que es vital que en las empresas de telecomunicaciones o de ingeniería involucren el manejo de sistemas o equipos para el análisis de fallas para encontrar la causa origen de las mismas con el fin de planificar y ejecutar tareas enfocadas a la resolución de fallas y de esta manera evitar que en lo posible que estas ocurran en gastos reiterativos en reparaciones y reposiciones de equipos o sistema.

Giraldo (2017) realizó la aplicación del mantenimiento preventivo para mejorar la productividad del área de servicio de mantenimiento de grupos electrógenos de la empresa Sapia, el problema principal de la investigación fue la baja productividad del área de mantenimiento de grupos electrógenos, el autor se planteó como objetivo determinar como la aplicación del mantenimiento preventivo mejora la productividad, permitiendo de esta manera que las instalaciones y equipos se conserven en condiciones óptimas de funcionamiento, previniendo posibles averías y fallos a razón de conseguir ejecutar trabajos de calidad y con mayor seguridad, la finalidad que persigue es la resolución de problemas prácticos utilizando para tal fin las teorías de mantenimiento preventivo ya existentes, a través del análisis inferencial de la variable dependiente, productividad, demostró un comportamiento no paramétrico con Shapiro Wilk y con la prueba de Wilcoxon se validó la hipótesis del investigador. En este trabajo quedo demostrado que la aplicación del mantenimiento preventivo mejoro la productividad de 57% a un 76%, aumento la eficiencia de un 82% a un 90% y la eficacia de 69% a un 84 %, en todas las instalaciones y equipos de la empresa.

Wang F. (2018) realizó el análisis y asignación de baterías de respaldo contra cortes de energía para estaciones base celulares. En su investigación el autor examina las características de las estaciones base celulares y de los bancos de baterías que actúan como respaldo ante la ausencia del suministro eléctrico, los datos obtenidos fueron recolectados en un periodo de tiempo de 1.5 años de las estaciones base celulares de un importante proveedor de servicios celulares, que incluye 4.206 estaciones base distribuidas en 8.400 kilómetros cuadrados y más de 1.500 millones de registros en estaciones base y estados de la batería. Mediante la explotación de las correlaciones entre las condiciones de funcionamiento de la batería y el estado de la batería, crearon un modelo basado en el aprendizaje profundo para estimar la vida útil restante de las baterías de respaldo. Luego desarrollaron BatAlloc, un marco de asignación de batería para abordar el desajuste entre la capacidad de soporte de la batería y diversos incidentes de cortes de energía, presentando una solución efectiva que minimiza tanto el tiempo de interrupción del servicio como el costo total. Los experimentos basados en rastreo del mundo real muestran que BatAlloc reduce el tiempo promedio de interrupción

del servicio de 4.7 horas a casi cero con solo el 85% del costo total en comparación con la asignación práctica actual.

Después de presentados los antecedentes tomados para esta investigación se procederá a realizar una breve descripción de los conceptos teóricos relacionados al tema principal de este trabajo.

Desde la década de los años 80 hasta la actualidad las redes de telecomunicaciones han tenido un rápido crecimiento con la implementación de diversas tecnologías que se pueden agrupar por generaciones (ver Figura 1). En las redes celulares modernas podemos distinguir varias tecnologías comenzando por sistemas de primera generación (1G) basado en métodos analógicos de intercambio de datos, la segunda generación (2G) se caracteriza por la transición a radio digital, las redes de tercera generación (3G) permitió una conectividad de banda ancha en comunicaciones celulares y, finalmente, sistemas de cuarta generación (4G), permiten intercambio de datos a velocidades máximas de descarga de hasta 1 Gbit (Penttinen, 2015).

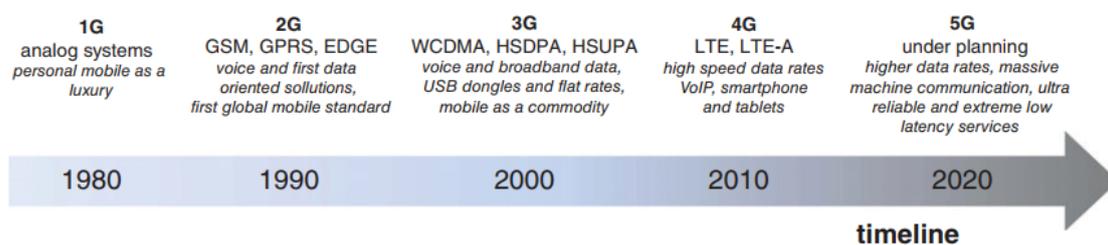


Figura 1. Evolución de los sistemas celulares inalámbricos.

Fuente: (Penttinen, 2015)

Cada tecnología parte del principio de usar una red de transmisión y recepción de datos centralizado por estaciones bases (BS). Estas estaciones presentan como parte de su infraestructura a las antenas, que son los elementos fundamentales, pues permiten la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas, estas a su vez se encuentran instaladas sobre estructuras elevadas como torres, mástiles, postes o similares (More y Gavilano 2020).

En una red de telefonía típica como la que se puede ver en la Figura 2, se presenta un conjunto de Estaciones Base Celular (EBC) interconectadas a través de una o varias Unidades Remotas Analógicas (URA), estas a su vez están

conectadas a una Central de Telecomunicaciones (CT) la cual se encarga de gestionar el flujo de datos de las EBC hacia los usuarios finales.

Los sistemas que componen las EBC, URA y las CT son similares en cuanto a las funciones principales que ejecutan, pero difieren en cuanto a la potencia, cantidad de sistemas y equipos que poseen, siendo la CT la que posee el esquema más completo pues cuenta con la mayor cantidad de sistemas y de equipos, es por lo tanto el elemento de mayor importancia dentro de la red.

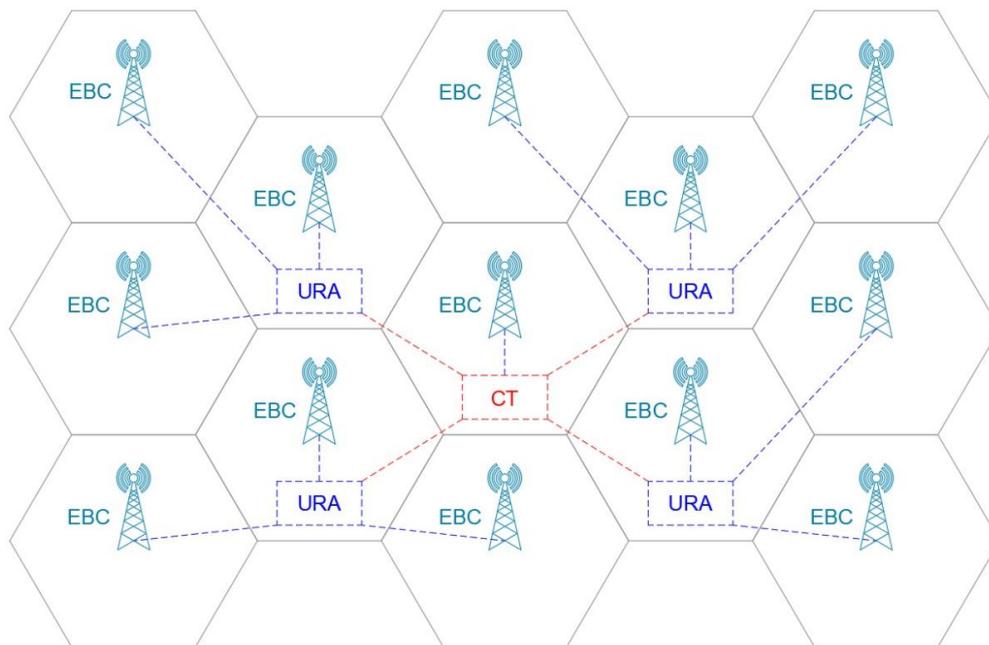


Figura 2. Representación de la red de telefonía

Fuente: Elaboración Propia

Para el funcionamiento de una EBC, URA o CT se requiere de un sistema de distribución de energía de corriente alterna como el que se aprecia en la Figura 3; el cual debe contar con tableros eléctricos de corriente alterna (CA) que deben incluir paneles de disyuntores para protección contra sobrecorriente en el circuito eléctrico y un interruptor de transferencia para transferir la energía desde la fuente de suministro principal a una fuente de reserva en caso de falla en la fuente principal. Los sistemas de distribución de CA se utilizan no solo para los rectificadores sino también para iluminación, calefacción, ventilación, aire acondicionado (HVAC) y otros equipos alimentados por CA en el mismo sitio. Dependiendo del voltaje de servicio principal, el sistema de distribución de CA puede incluir transformadores elevadores o reductores para hacer coincidir los

voltajes de suministro con los voltajes de utilización del equipo de carga (Reeve, 2006).

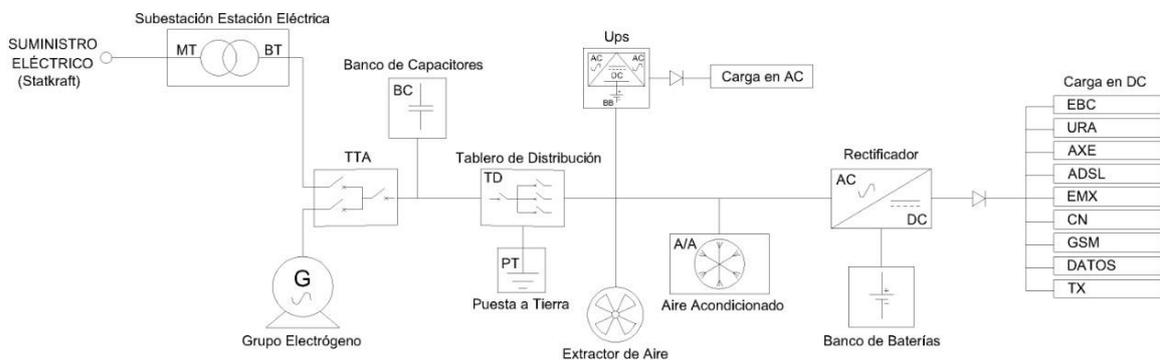


Figura 3. Diagrama de bloques de la CT Trujillo

Fuente: Elaboración Propia

Toda máquina o equipo debido a un uso continuo presentará fallas después de cierto tiempo, a esto se llama vida útil. Por diferentes razones los equipos pueden presentar fallas inoportunas que para las empresas significan gastos por reparación y cortes de producción. En los últimos años con el aumento de la competitividad de la industria ha habido un incremento en el interés de mejorar los sistemas de mantenimiento, tanto así, que el mantenimiento ha quedado definida como una rama de la tecnología que pretende rectificar o corregir un fallo o restablecer condiciones de operación normalizadas. Siendo así que las actividades ligadas a un servicio de mantenimiento se pueden dividir en:

- Técnicas /Operativas: Se actúa sobre el equipo en alguna forma.
- Administrativas/de control: Se diseñan programas o sistemas de control y seguimiento; control de la calidad de las piezas y suministros, duración de recambios, tiempos de deterioro, etc.
- De gestión: Evaluación de costes, informes, planificaciones, alcance del preventivo, control de actuaciones, toma de decisiones, etc.

Los tipos de mantenimiento se aplican para prevenir diversos tipos de acciones que originan falla y se clasifican como:

Mantenimiento Correctivo (MC): Las operaciones correctivas comprenden el mantenimiento que se lleva con el fin de corregir los defectos que se han

presentado en el equipo y/o sistemas. Se clasifica en: no planificadas si las operaciones de corrección deben efectuarse con urgencia, y planificadas si con antelación se decide que operaciones son las que deben hacerse.

Mantenimiento Preventivo (MP): Tiene como objetivo disminuir las interrupciones por avería, tanto en frecuencia como en importancia de las mismas, conociendo y llevando un control sistemático del estado de todos los equipos e instalaciones, y programando las correcciones en el momento oportuno. (Ramírez, 2017, p. 228)

Para cuantificar el estado de un sistema con el fin de aplicar un plan de mantenimiento se existen diversos índices de mantenimiento, entre los que se encuentran:

El tiempo medio entre fallas (MTBF) que representa el tiempo promedio que transcurre un equipo operando hasta el siguiente fallo, para su cálculo se requiere conocer el tiempo libre de fallas (S), el tiempo muerto (d) y la cantidad de fallas (f). Es un indicador que muestra cuando se debe cambiar un componente en base a un historial de vida del equipo. (Duffuaa, Raouf y Campbell, 2000, p.287)

$$MTBF = \frac{S-d}{f} \quad (1)$$

El tiempo medio para reparar (MTTR) es el tiempo que se demora en ejecutar el trabajo de mantenimiento de un equipo. Siendo MTTR el tiempo medio para reparar dividido entre la cantidad de fallas (horas/falla). Donde d es el tiempo muerto por falla (horas) y f es la cantidad de fallas. (Duffuaa, Raouf y Campbell, 2000, p.287)

$$MTTR = \frac{d}{f} \quad (2)$$

La disponibilidad es un indicador que representa el porcentaje de tiempo que un equipo se proyecta que podrá cumplir con su función sin ningún fallo. Esta es la probabilidad de que un sistema o equipo se encuentre operativo cuando se requiera su funcionamiento. La disponibilidad $D(t)$, se puede definir a partir del MTBF y el MTTR (Duffuaa, Raouf y Campbell, 2000, p.286).

$$D(t) = \left(\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \right) * 100\% \quad (3)$$

La confiabilidad es la probabilidad de que un sistema o equipo opere en forma satisfactoria por un período dado de tiempo cuando se utiliza bajo condiciones especificadas. Este parámetro relaciona la cantidad de fallas y el tiempo de operación del equipo. La confiabilidad se calcula con la función de densidad de probabilidad normal (Ben-Daya, Kumar y Murthy, 2016, p.34).

$$C(t) = \exp(-t/MTBF) \quad (4)$$

Donde $C(t)$ es la confiabilidad como función exponencial que depende del tiempo.

La mantenibilidad es la característica inherente de un sistema de ingeniería relacionada con su capacidad para mantenerse en el estado de funcionamiento mediante la realización de las tareas de mantenimiento requeridas según lo especificado. (Knezevic, 1996)

$$M(t) = 1 - \exp(-t/MTTR) \quad (5)$$

Para el análisis económico se busca determinar la viabilidad del proyecto, esto se logra con los indicadores VAN y TIR.

El valor actual neto (VAN), se usa para valorar la inversión en un proyecto o servicio, esta puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_o \quad (6)$$

Donde (VAN) es el valor actual neto, (V_t) el flujo de caja en cada tiempo, (r) el interés, (n) numero de periodos e (I_o) valor del desembolso inicial de la inversión.

La tasa interna de retorno (TIR), es la tasa efectiva anual compuesto de retorno o tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivos, como negativos) de una determinada inversión sean igual a cero.

$$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_o = 0 \quad (7)$$

Donde (TIR) es la tasa de retorno interno, (V_t) Flujo de caja en cada tiempo, (n) Numero de periodos e (I_o) Valor del desembolso inicial de la inversión.

Para determinar el nivel de criticidad de los equipos y/o sistemas se estarán empleando tres métodos de análisis, estos son:

Diagrama de causa-efecto, también llamado diagrama de Ishikawa, es una herramienta que ayuda a identificar, organizar y mostrar las posibles causas de un problema (Duffuaa 2009).

Diagrama de Pareto, el cual es un gráfico formado por una serie de barras cuyas alturas reflejan la frecuencia de problemas o causas, este diagrama sigue el Principio de Pareto el cual indica que el 80% de los problemas se derivan del 20% de las causas. En el diagrama las barras dispuestas en orden descendente de izquierda a derecha reflejan el valor significativo de los datos ayudando a distinguir los puntos importantes de los triviales para que los recursos y los esfuerzos se concentren donde podamos obtener los máximos beneficios (Duffuaa 2009).

Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). La metodología AMEF se basa en un enfoque jerárquico para el análisis en el cual se debe determinar cómo cada posible modo de falla de cada componente del sistema afecta la operación total del sistema (Ben-Daya, Kumar y Murthy, 2016). Para el análisis de criticidad empleando el AMEF se recurre a tres tablas estándar que permiten evaluar: Severidad, Ocurrencia y probabilidad de detección de las fallas

Software de Simulación ProModel. La verificación de los planes de mantenimiento (actual y el propuesto) serán modelados con el software de simulación de procesos ProModel. La generación de modelos en este software se basa en dividir el proceso en elementos como: locaciones, entidades, rutas, recursos, procesos y llegadas.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: Es aplicada, pues se hará uso de los conocimientos específicos de ingeniería, para definir y resolver un problema determinado, en este caso, reducir la cantidad de fallas en una empresa de telecomunicaciones (Hernández et al. 2014).

Diseño de investigación: Es no experimental, porque se evaluará de forma individual en un instante determinado los parámetros de mantenimiento de la Central Trujillo y en base a ello se establecerá un nuevo plan de mantenimiento con el objetivo de mejorar tales parámetros (Hernández et al. 2014).

3.2. Variables y operacionalización

Las variables estudiadas están relacionadas al enfoque de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, las cuales son:

Variable independiente

- Tiempo medio entre fallas (MTBF)
- Tiempo medio de reparación (MTTR)

Variable dependiente

- Confiabilidad (D)
- Disponibilidad (C)
- Mantenibilidad (M)

La matriz de operacionalización de variables con los detalles de cada variable se encuentra en el Anexo 1. Para cada variable se estableció su definición conceptual y operacional, dimensión, indicadores y la escala de medición tomando como referencia a Fernández et al. (2014).

3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis

Población: Estaciones base celular de la empresa Telefónica del Perú en la Libertad.

Muestra: Estación base celular LL00136 TRUJILLO CT/TRUJILLO_B.

Muestreo: Muestreo no probabilístico de tipo por conveniencia, pues se selecciona de manera arbitraria y está basado en la criticidad de los equipos de las estaciones base celular.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados en el presente trabajo se muestran en la Tabla 1. La ficha de registro de fallas se encuentra en Anexo 2.

Tabla 1. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Fichas de registro de falla Registro de reparación de equipos
Observación del sistema	Ficha de mediciones

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Procedimientos

En el desarrollo del presente trabajo se siguieron los siguientes pasos:

Se realizó una recopilación bibliografía teórica y de la normativa relacionada al problema de investigación.

Se realizó el inventario de los equipos de las capas de energía, radio y transporte para la central Trujillo.

Se realizó la recopilación de los tiempos de ejecución de los trabajos de mantenimiento en las capas de red de energía, radio y transporte en el año 2020 para las estaciones base en el departamento de la Libertad.

Se realizó un trabajo de tratamiento de los datos para determinar los parámetros de mantenimiento como MTBF, MTTR, Disponibilidad y Confiabilidad.

Se estableció una lista de las funciones, causas de fallas, impacto técnico y económico, así como las medidas correctivas, del tipo operacional, de mantenimiento, de mejora tecnológica de los dispositivos de la estación base celular.

Se realizó un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para la los sistemas de la Central Trujillo.

Se proyectaron los nuevos parámetros operacionales, de disponibilidad y confiabilidad basados en el nuevo plan de mantenimiento.

Se determinó el beneficio económico después de implementar el plan de mantenimiento.

3.6. Método de análisis de datos

Con los registros de tiempos de operación y de reparación, TTF y TTR, y con las técnicas de análisis de mantenimiento se determina el estado de disponibilidad y confiabilidad de la estación base que sirven para determinar un nuevo plan de mantenimiento.

Se utilizan métodos deductivos para estimar comportamientos de variables en estudio. Se utilizan métodos inferenciales, en base a los resultados del procesamiento de datos sobre fallas, interrupciones del servicio, el impacto y la recurrencia de las fallas.

Empleando técnicas cuantitativas se determinan los valores de los parámetros de mantenimiento y gestión para aumentar la confiabilidad.

3.7. Aspectos éticos

Se tiene en cuenta el respeto al medio ambiente y la biodiversidad; responsabilidad social, política, jurídica y ética; respeto a la privacidad; proteger la identidad de los individuos que participan en el trabajo y la honestidad. En esta tesis para salvaguardar la confidencialidad de los nombres de las empresas involucradas, se la referirá en este trabajo como empresa propietaria, a la empresa dueña de los equipos instalados en las EBC y empresa concesionaria, a la empresa encargadas de realizar el mantenimiento

Los autores del presente trabajo se comprometen a cumplir con los requerimientos de validación de la veracidad de la recolección y uso de datos evitando incurrir en plagio de los trabajos de otros autores y la protección de la información expedida por la empresa propietaria y la empresa concesionaria.

IV. RESULTADOS

4.1. Recolección de datos

4.1.1. Locales bajo concesión por la concesionaria

En el departamento de La Libertad, la empresa concesionaria es responsable de la ejecución del mantenimiento correctivo y preventivo de 283 estaciones base de telecomunicaciones, las cuales se encuentran tipificadas de acuerdo al tipo de estructura. Esta tipificación de los Sitios se utiliza según los servicios que se contraten en el sitio. Los criterios de tipificación de los sitios se basan en: Volumen de elementos o capacidad en el sitio y a la compartición del sitio con otro operador (Colocalización).

En la Tabla 2 se muestran los tipos de locales, la criticidad, clasificación y cantidad de sitios definido por la empresa dueña de los equipos. La descripción de la clasificación actual para los locales se puede ver con mayor detalle en el Anexo 2.

Tabla 2. Cantidad de sitios según su clasificación actual

Tipo de Local	Nivel de Criticidad	Clasificación Actual	Cantidad de Sitios
Locales Principales	Muy Alta	Tipo 8_N	6
		Tipo 8_C	
		Tipo 13_Internos	
Sitios Mixtos	Alta	Tipo 8_F	34
		Tipo 8_3	
		Tipo 8_1	
		Tipo 8_4	
		Tipo 10_C	
Sitios Mixtos	Media	Tipo 8_E	38
		Tipo 8_G	
		Tipo 8_2	
		Tipo 8_5	
Estaciones Outdoor	Baja	Tipo 8_K	205
		Tipo 8_L	
		Tipo 9_C	
		Tipo 12_Clientes	

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 2 se identifican 6 locales principales con una criticidad muy alta, esto obedece al gran volumen de elementos con los que cuentan estos sitios; 34 sitios mixtos con una criticidad alta a razón que el volumen de elementos en estos sitios es mediano y cuentan con Línea de Media Tensión, grupo

electrógeno y/o aire acondicionado (AA), entre otros; 38 sitios mixtos con una criticidad media, el volumen de elementos en estos sitios es mediano y cuenta con grupo electrógeno, sub estación y equipos de aire acondicionado; 205 estaciones outdoor donde el volumen de elementos en estos sitios es pequeño.

4.1.2. Plan de mantenimiento actual en la empresa de telecomunicaciones

La empresa de telecomunicaciones ya tiene un plan de mantenimiento y dentro de ello considera una frecuencia de mantenimiento el cual lo ha establecido de acuerdo a la criticidad y al tipo de sitio. Actualmente la concesionaria realiza sus actividades de mantenimiento siguiendo este plan de mantenimiento establecido por la empresa dueña de los equipos. Este plan abarca el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

La empresa concesionaria está encargada de elaborar el cronograma de mantenimiento anual, el mismo que tiene que ser aprobado por la empresa de telecomunicaciones propietaria, mensualmente la empresa concesionaria reporta la cantidad de mantenimientos ejecutados a los locales, los cuales pasan por supervisión para que posteriormente la empresa concesionaria perciba un ingreso por cada mantenimiento ejecutado.

4.1.3. Mantenimientos Preventivos

Para los sitios con una criticidad muy alta, la frecuencia del mantenimiento integral de todos los sistemas varía y se ejecutan cada 2 o 3 meses, para los sitios mixtos con una criticidad alta la frecuencia de mantenimiento es fija y se ejecutan cada 4 meses, para los sitios mixtos con una criticidad media la frecuencia es estable y se ejecutan cada 6 meses, para las estaciones outdoor la frecuencia de mantenimiento es variable y depende del tipo de estación y se ejecutan cada 6 meses, 12 meses u/o 18 meses, según corresponda. Esta información se encuentra resumida en la Tabla 3.

Tabla 3. Frecuencia de actividades de mantenimiento en el plan actual

Clasificación Actual	Locales Principales (Muy Alta)			Sitios Mixtos (Alta)					Sitios Mixtos (Media)				Estaciones Outdoor			
	Tipo 8_N	Tipo 8_C	Tipo 13_Internos	Tipo 8_F	Tipo 8_3	Tipo 8_1	Tipo 8_4	Tipo 10_C	Tipo 8_E	Tipo 8_G	Tipo 8_2	Tipo 8_5	Tipo 8_K	Tipo 8_L	Tipo 9_C	Tipo 12_Cientes
Frecuencia de MP Actual (veces/año)	6	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	0.67
Frecuencia de MP Actual (Meses)	2	3	3	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	12	12	18

Fuente: Elaboración Propia

Basado en el plan de mantenimiento actual, la secuencia lógica que se sigue para atender las actividades de mantenimiento programada según lo establecido por la empresa dueña, es tal como se ve en la Figura 4. Como la cantidad de mantenimientos al año están preestablecidas, como se puede ver en la Tabla 4, la concesionaria se encarga de gestionar las fechas de tales actividades en función de la disponibilidad del personal, la cantidad de servicios y la cantidad total de locales. En este marco cuando se debe ejecutar el MP programado para una determinada fecha, se empieza asignando el técnico al local, en este punto y dependiendo de las actividades el técnico debe solicitar los instrumentos, repuestos y materiales o consumibles necesario para completar satisfactoriamente sus actividades de mantenimiento. En el paso posterior se requiere gestionar el acceso al local el cual se realiza a través de la empresa dueña de los equipos. Una vez aceptada la solicitud se procede a recoger las llaves del local y luego desplazarse a hasta la estación de telecomunicaciones. Antes de iniciar los trabajos de mantenimiento el técnico debe validar las alarmas previas y solicitar la actualización del estado del remedy. Seguidamente se inicia con las actividades de mantenimiento y se llenan los formularios requeridos en el mantenimiento. Finalizado el mantenimiento se valida si hubo alarmas como producto del trabajo de mantenimiento luego se solicita la actualización del

estado del remedy. Posterior al cerrado y validado del mantenimiento se devuelven las llaves del local.

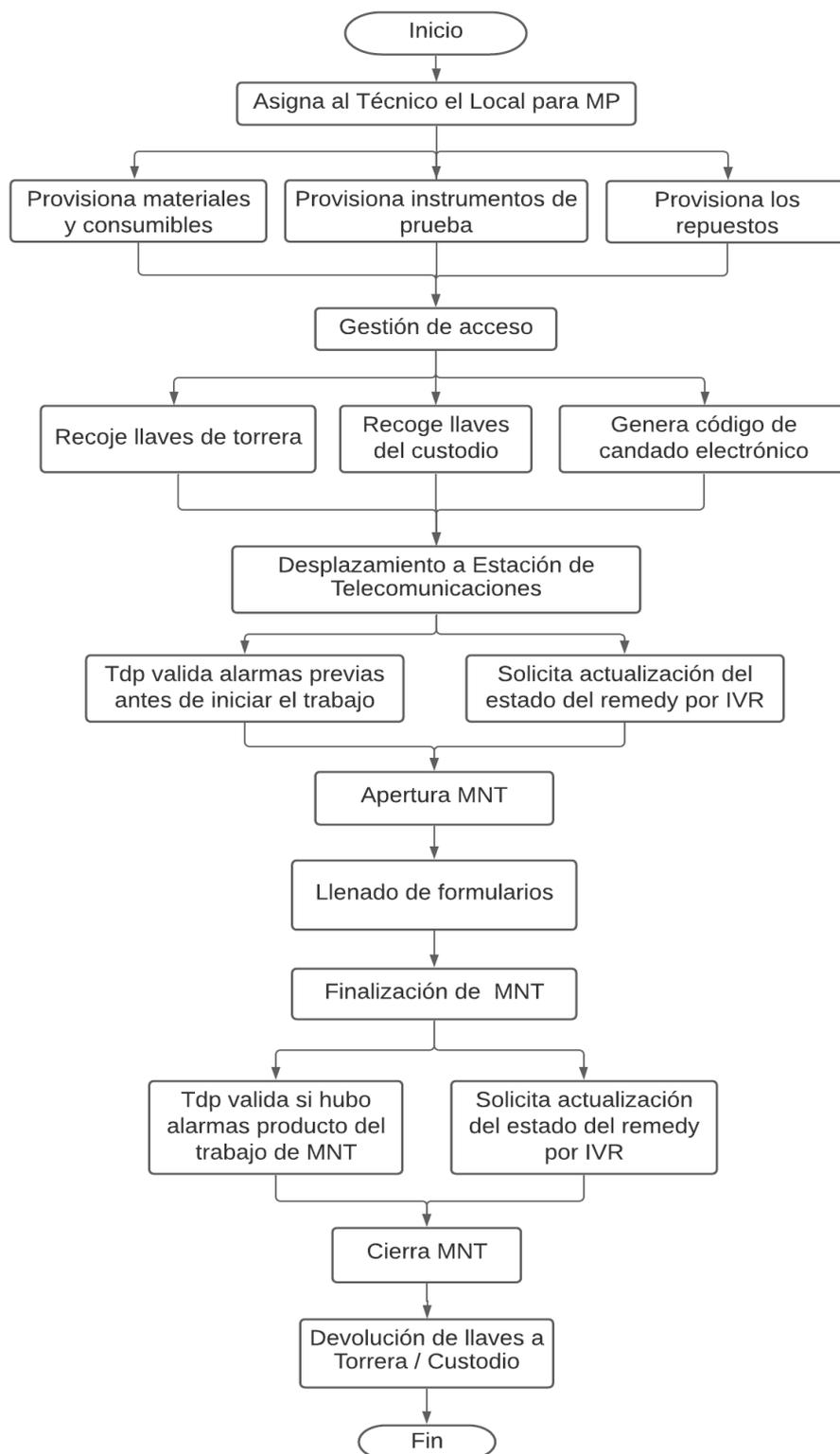


Figura 4. Diagrama de flujo para el mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración Propia

El año 2020 la empresa concesionaria que tenía a cargo las labores de mantenimiento preventivo ejecutó un total de 2150 servicios, de los cuales 228 corresponden a los equipos de aire acondicionado (AA), 357 corresponden al sistema de bancos de baterías (BB), 98 corresponden al sistema de grupo electrógeno, tanque y tablero de transferencia automática (GE-TTA-TK), 286 corresponden al sistema de instalaciones eléctricas (IE), 6 corresponde al sistema de inyector y extractor (INY – EXT), 36 corresponde a las líneas de transmisión de media tensión (LT), 259 corresponde al sistema de radio (RADIO), 376 corresponde a los sistemas de fuerza o también llamado rectificadores (REC), 58 corresponden a los sistemas de sub estación eléctrica (SE), 26 corresponden a la sub estación eléctrica y línea de media tensión (SE-LT), 2 corresponden al sistema solar y eólico (SOL-EOL), 131 corresponden al sistema de transmisión de datos (TX), 277 corresponde a los equipos de backhaul que hace referencia al sistema de transporte de datos de una red de retorno (TX-BH), 10 corresponde al sistema de UPS, AVR e Inversores (UPS-AVR-INV).

Tabla 4. *Actividades de mantenimiento realizadas por sistemas en el 2020*

AÑO - MES	AA	BB	GE-TTA-TK	IE	INY-EXT	LT	RADIO	REC	SE	SE-LT	SOL-EOL	TX	TX-BH	UPS-AVR-INV	Total, general
ENERO	7	9	5	9			7	9		7		6	8		67
FEBRERO	25	28	14	20	1		19	28		14		17	21	1	188
MARZO	10	18	5	19			18	18		2		4	18		112
ABRIL	27	23	13	15	1		12	23				12	15	2	143
MAYO	13	28	9	32			29	37			1	16	30		195
JUNIO	26	49	2	32	1		28	52		1		3	31	1	226
JULIO	11	21	2	13		1	13	21		2		3	14		101
AGOSTO	30	48	4	22	1	14	23	48	14			9	22	2	237
SEPTIEMBRE	10	25	4	24		1	23	26	6			5	24		148
OCTUBRE	25	39	12	33	1	4	31	41	10			16	33	1	246
NOVIEMBRE	17	34	16	35		9	30	34	16		1	24	32	2	250
DICIEMBRE	27	35	12	32	1	7	26	39	12			16	29	1	237
Total, general	228	357	98	286	6	36	259	376	58	26	2	131	277	10	2150

Fuente: Elaboración Propia

4.1.4. Mantenimientos correctivos

La empresa de telecomunicaciones contrató el servicio de una empresa concesionaria que se dedique a la atención de los mantenimientos correctivos que comprende además la corrección de los defectos observados en los equipamientos o instalaciones durante el mantenimiento preventivo, así como también, en localizar la falla(s) o defecto(s) para corregirlos, repararlos y/o cambiar elementos averiados.

En el Mantenimiento Correctivo están incluidas todas las reparaciones y/o cambios de:

- Acometidas eléctricas completas: línea aérea o subterránea (postes, conductores, cabezas terminales, aisladores, ferretería de soporte, ferretería de separación, retenidas, pararrayos, bajadas a tierra, pozos de tierra, trafomix, transformadores de medida en barras cut out, fusibles, interruptores, celdas de transformadores, transformadores, estructuras de soporte de transformadores, etc).
- Cuadros rectificadores completos: rectificadores, back plane, cables, terminales, fusibles, itms, controlador, cabina de ser necesario, etc. En todos estos mantenimientos se incluyen: la mano de obra, suministros, transporte y todo lo necesario para la atención de la incidencia y aplica de manera general independiente de su modalidad de pago.

Para el mantenimiento correctivo en la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo para atención de las incidencias por parte de la empresa concesionaria. Para incidencias que sean a causa de alguna actividad del mantenimiento preventivo el técnico en el sitio debe solucionar el problema previa coordinación. En caso la incidencia sea imprevista se debe asignar el técnico al local correspondiente, luego se gestiona el acceso al local y se recoge las llaves para que el personal se desplace al sitio. Estando en el lugar se analiza las incidencias y se ejecuta el mantenimiento. Luego se verifica el cese de la alarma y se finaliza el trabajo llenado el reporte correspondiente.

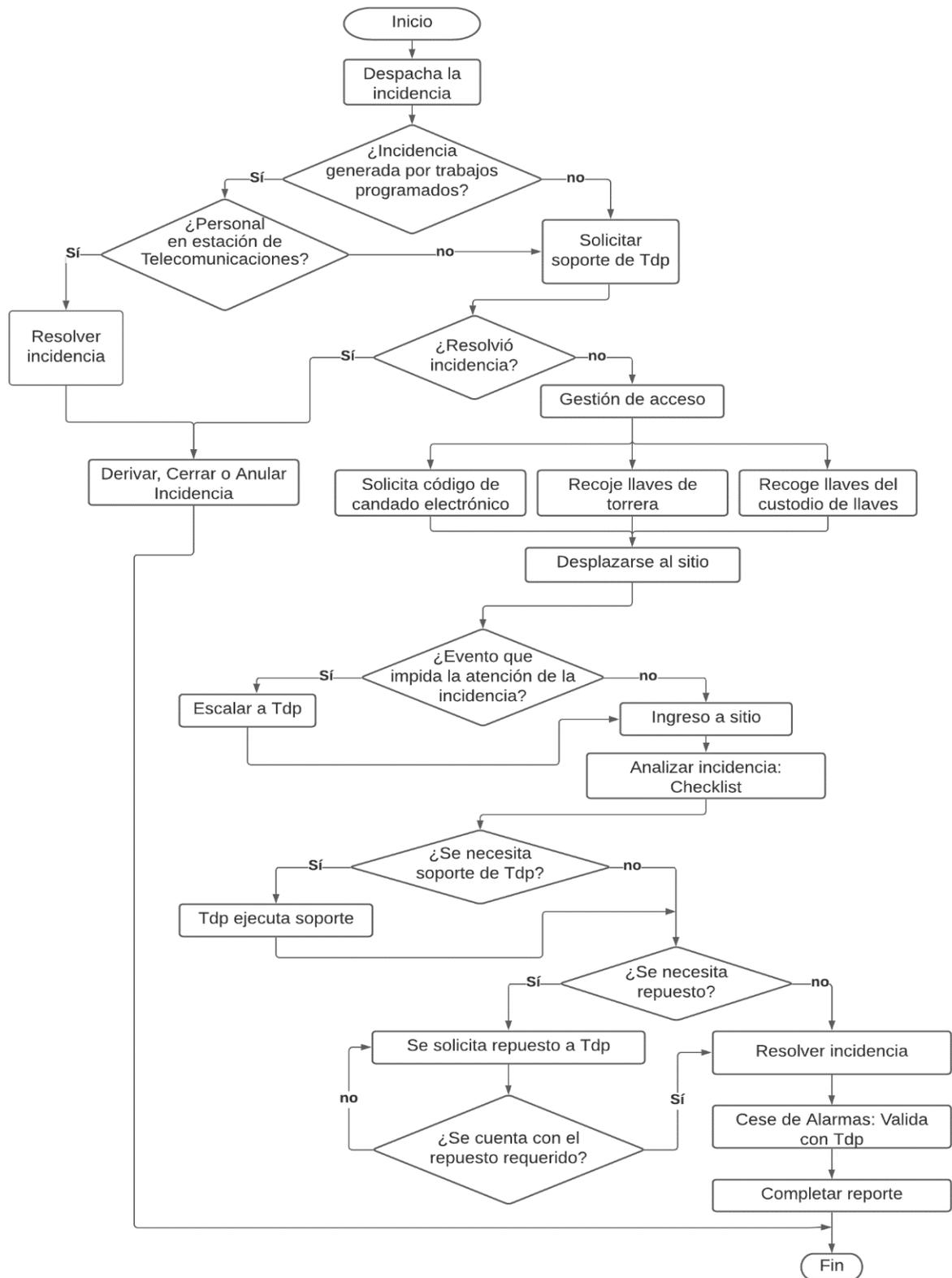


Figura 5. Diagrama de flujo para el mantenimiento correctivo

Fuente: Elaboración Propia

El año 2020 se registró 904 incidencias en la planta interna y externa de la empresa de telecomunicaciones, de las cuales solo se atendió en sitio 494 incidencias, las 440 incidencias adicionales no fue necesario desplazarse al sitio, estas incidencias están relacionadas al retorno de energía comercial, configuraciones remotas por el personal especializado de la empresa de telecomunicaciones y/o el cese automático de las mismas. Las incidencias de la Tabla 5 se encuentran identificadas de acuerdo a la capa de red; para la capa de red de energía se registraron 471 incidencias, en la capa de red de radio se registraron 338 incidencias y en la capa de red de transporte se registraron 95 incidencias.

La capa de red de energía involucra a los sistemas de aires acondicionados, bancos de baterías, rectificadores, grupo electrógeno, instalaciones eléctricas, inyectores y extractores, sub estación y línea de media tensión, eólicos y solares, ups-avr-inversores.

La capa de red de radio involucra a equipos de telefonía móvil que está directamente relacionado a bandas base y sistema de radio frecuencia.

La capa de red de transporte involucra a equipos de transporte de datos de baja, media y alta capacidad los cuales son los encargados de llevar la información de un punto hacia otro a través de equipos microondas y equipos de fibra óptica.

Tabla 5. Actividades de mantenimiento realizadas por capa en el 2020

RESUMEN POR CAPA	MESES (Con desplazamiento)												Sin desplazamiento	Total, general
	AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre		
ENERGIA	9	19	12	33	7	16	9	13	15	12	17	9	300	471
RADIO	25	21	21	13	20	30	21	17	20	19	20	11	100	338
TRANSPORTE	8	7	2	3	3	4	5	5	4	4	4	6	40	95
Total, general	42	47	35	49	30	50	35	35	39	35	41	26	440	904

Fuente: Elaboración Propia

La empresa concesionaria detecta y registra las incidencias en los sistemas de las centrales de telecomunicaciones por medio de alarmas, las cuales se

encuentran descritas en la Tabla 6. Estas alarmas dan información general del tipo de falla y el sistema afectado. Se han definido 9 alarmas junto con la severidad actual.

Tabla 6. Alarmas Externas de Estación Base De Telecomunicaciones

Alarmas Externas de Estación Base De Telecomunicaciones			
Tem/ Orden	Definición De Alarma	Interpretación De Alarma	Severidad
1	Fallo de Red AC	Fallo de Suministro Eléctrico AC Primario (Hidrandina)	Critico
2	Fallo de Rectificador	Avería de Un Módulo Rectificador	Mayor
3	Puerta Abierta de Rectificador	Advertencia de Existencia de Personal de Mantenimiento en Sitio	Menor
4	Falla de Breaker de Equipo	Corto Circuito, Recalentamiento de Componentes o Equipos	Mayor
5	Temperatura Alta Gabinete	Fallo de Ventiladores o Extractores de Aire en Gabinete	Critico
6	Bajo Voltaje de Baterías	Suministro Eléctrico en DC es Menor Al 50% de su Capacidad Nominal	Critico
7	Temperatura Alta En Sala	Falla de Equipos de Aire Acondicionado	Critico
8	Grupo Electrónico Encendido	Suministro Eléctrico AC Secundario se Encuentra Activo	Menor
9	Bajo Nivel de Combustible	Combustible Del Suministro Eléctrico Ac Secundario Es Menor A 5 Horas De Autonomía	Menor

Fuente: *Elaboración Propia*

A causa de que la alarma no proporciona información específica del estado de un solo componente, sino de los sistemas a los que afecta, se ha realizado la Tabla 7 donde se encuentra marcado con una (x) todos los sistemas que se encuentran relacionados a cada una de las 9 alarma. Esto permite observar la relación entre los sistemas afectados y las alarmas registradas.

Tabla 7. Equipos afectados cuando se presenta una alarma

Item/ Orden	Definición De Alarma	AA	BB	GE-TTA-TK	IE	INY-EXT	RADIO	REC	SE	SE-LT	SOL-EOL	TX	TX-BH	UPS-AVR-
1	Fallo de Red AC	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x
2	Fallo de Rectificador							x						
3	Puerta Abierta de Rectificador													
4	Falla de Breaker de Equipo						x					x	x	
5	Temperatura Alta Gabinete		x				x	x				x	x	x
6	Bajo Voltaje de Baterías		x				x					x	x	
7	Temperatura Alta En Sala	x	x			x	x	x				x	x	x
8	Grupo Electrónico Encendido			x										
9	Bajo Nivel de Combustible			x										

Fuente: *Elaboración Propia*

4.2. Obtención de parámetros de mantenimiento

Como se puede ver en la Tabla 8 se tiene, para cada sistema que componen una central de telecomunicaciones, los parámetros de mantenimiento recopilados en el año 2020. En esta tabla se encuentra listada un total de 12 sistemas; cada sistema posee un determinado tipo de equipo donde el tiempo de operación de los mismos impacta en los parámetros de mantenimiento del sistema. De los datos recopilados se han obtenido los indicadores de mantenimiento: Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad para cada sistema.

Tabla 8. Parámetros de mantenimiento para los sistemas de una central.

No.	Sistema	Tiempo Total (h/año) (S)	Tiempo de reparación de fallas (h) (d)	Cantidad de Fallas (fallas/año) (f)	MTBF (h/falla)	MTTF (h/falla)	MTTR (h/falla)	Tasa de Fallas (λ)	Disponibilidad (D)	Confiabilidad (C)	Mantenibilidad (M)
1	Aire Acondicionado (AA)	8760	157.48	28	312.86	307.23	5.6243	0.0032	0.9820	0.997	0.163
2	Rectificadores (REC)	8760	230.24	28	312.86	304.63	8.2229	0.0032	0.9737	0.997	0.115
3	Banco de baterías (BB)	8760	47.18	6	1460	1452.1	7.8633	0.0007	0.9946	0.999	0.119
4	UPS-AVR-INV	8760	4	1	8760	8756	4	0.0001	0.9995	1.000	0.221
5	Sistema de puesta a tierra (SPAT)	8760	0	0	0	0	0	0	1.0000	1.000	0.000
6	Grupo Electrónico (GE)	8760	94.37	18	486.67	481.42	5.2428	0.0021	0.9892	0.998	0.174
7	Instalaciones Eléctricas (IE)	8760	376.11	82	106.83	102.24	4.5867	0.0094	0.9571	0.991	0.196
8	Línea de media tensión (LMT)	8760	144.01	7	1251.4	1230.9	20.573	0.0008	0.9836	0.999	0.047
9	Sub Estación (SE)	8760	32.04	1	8760	8728	32.04	0.0001	0.9963	1.000	0.031
10	Transporte datos (TX)	8760	330.34	39	224.62	216.15	8.4703	0.0045	0.9623	0.996	0.111
11	Transporte de datos backhaul (TX-BH)	8760	70.12	16	547.5	543.12	4.3825	0.0018	0.9920	0.998	0.204
12	Radio Frecuencia (RADIO)	8760	4876.53	238	36.807	16.317	20.49	0.0272	0.4433	0.973	0.048

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Análisis de criticidad de los equipos

Para determinar el nivel de criticidad de los equipos involucrados en este estudio, se procede a realizar tres métodos de análisis: Diagrama de causa-efecto, diagrama de Pareto y el análisis de modo y efecto de falla (AMEF).

4.3.1. Diagrama de causa-efecto

En el diagrama de causa efecto de la Figura 6 se han identificado 6 causas probables para el alto número de fallas en las estaciones base de celular. Estas causas muestran la relación de las fallas con la disponibilidad del personal (Mano de obra), la deficiencia en los mantenimientos (Preventivo y

Correctivo), las condiciones de trabajo de los equipos, la disponibilidad del suministro de energía y las condiciones climáticas (Medioambiente) que afectan a la estación base celular.

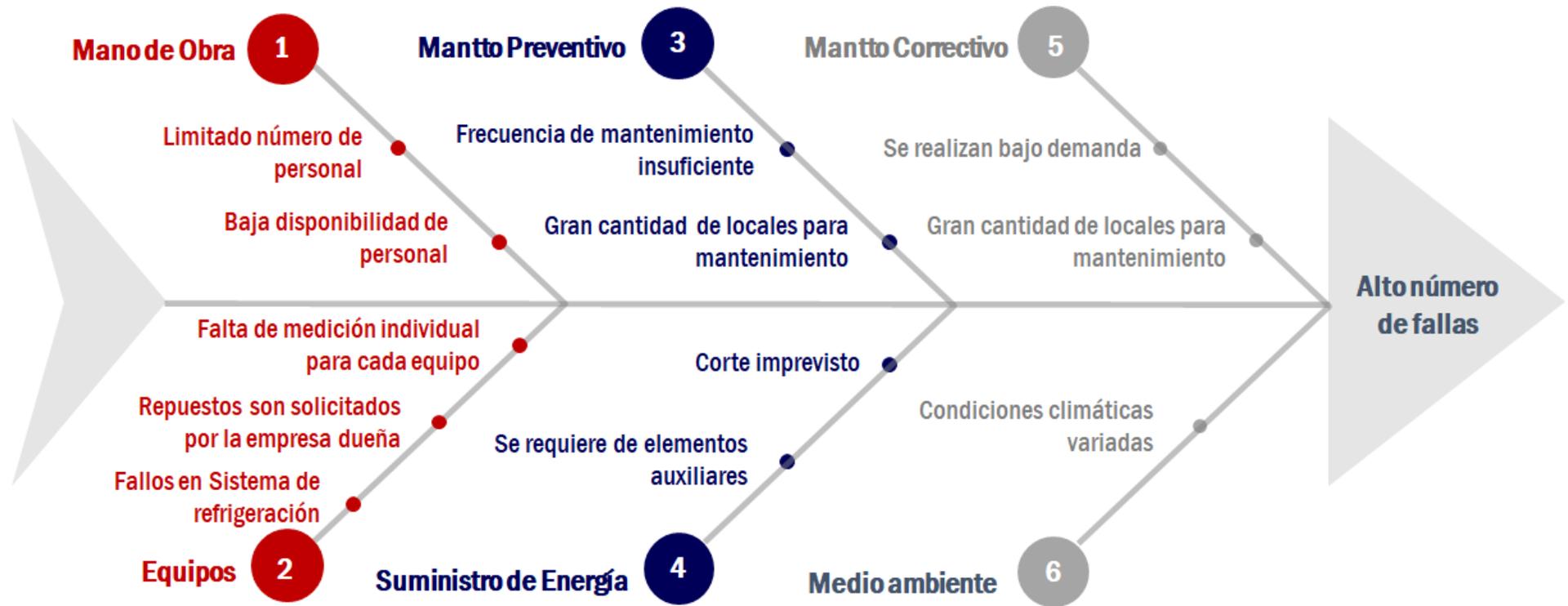


Figura 6. Diagrama de causa-efecto para las fallas en una estación base celular

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Diagrama de Pareto

En la Figura 7 se muestra el diagrama de Pareto para la frecuencia de fallas registradas en las capas de red de energía, radio y transporte de la Tabla 9.

Tabla 9. Frecuencias de fallas para las capas de red.

No.	SISTEMA	Frecuencias	Suma acumulada	% Relativo	% Acumulado
1	ENERGIA	471	471	52.10%	52.10%
2	RADIO	338	809	37.39%	89.49%
3	TRANSPORTE	95	904	10.51%	100.00%
TOTAL		904		100.00%	

Fuente: Elaboración Propia

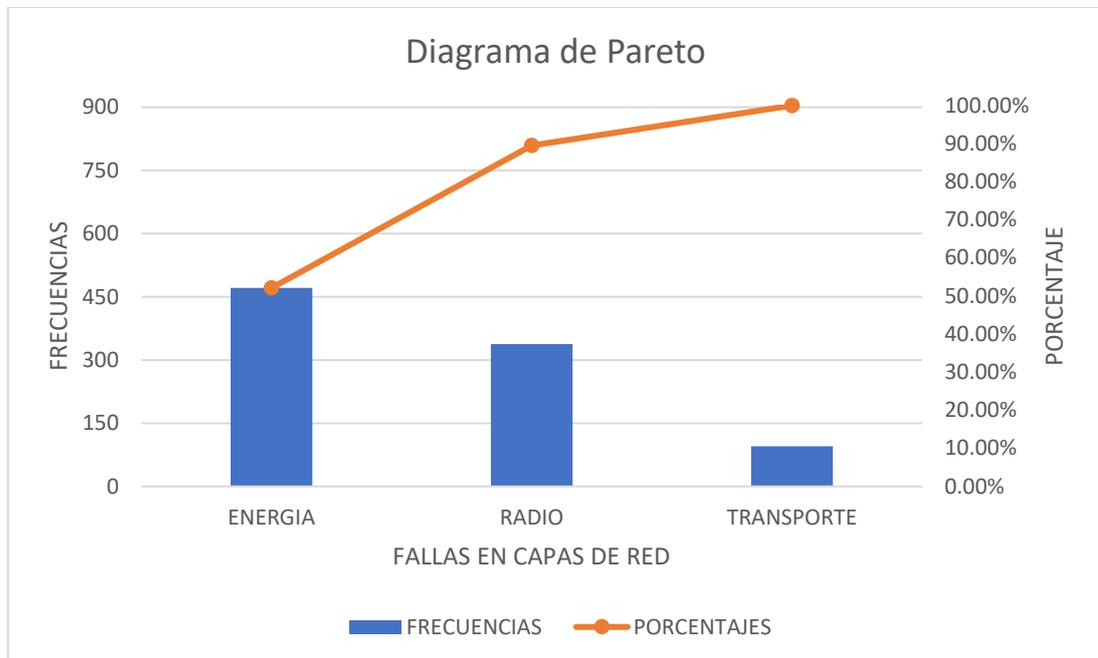


Figura 7. Diagrama de Pareto para las capas de energía, radio y Transporte

Fuente: Elaboración Propia

De la Figura 7 se puede ver que los equipos que pertenecen a las capas de Radio y Energía presentan la mayor cantidad de frecuencias de fallas (89.49 %).

De manera similar, se presentan en la Figura 8 un diagrama de Pareto para las frecuencias de fallas presentados en los sistemas de las estaciones base celular en Trujillo para el año 2020. Esta información se encuentra resumido en la Tabla 10.

Tabla 10. Frecuencias de fallas por sistemas.

No.	SISTEMA	Frecuencias (Fallas al año)	Suma acumulada	% Relativo	% Acumulado
1	RADIO	238	238	51.29%	51.29%
2	IE	82	320	17.67%	68.97%
3	TX	39	359	8.41%	77.37%
4	AA	28	387	6.03%	83.41%
5	REC	28	415	6.03%	89.44%
6	GE	18	433	3.88%	93.32%
7	TX-BH	16	449	3.45%	96.77%
8	LMT	7	456	1.51%	98.28%
9	BB	6	462	1.29%	99.57%
10	UPS-AVR-INV	1	463	0.22%	99.78%
11	SE	1	464	0.22%	100.00%
12	SPAT	0	464	0.00%	100.00%
TOTAL		464		100.00%	

Fuente: Elaboración Propia

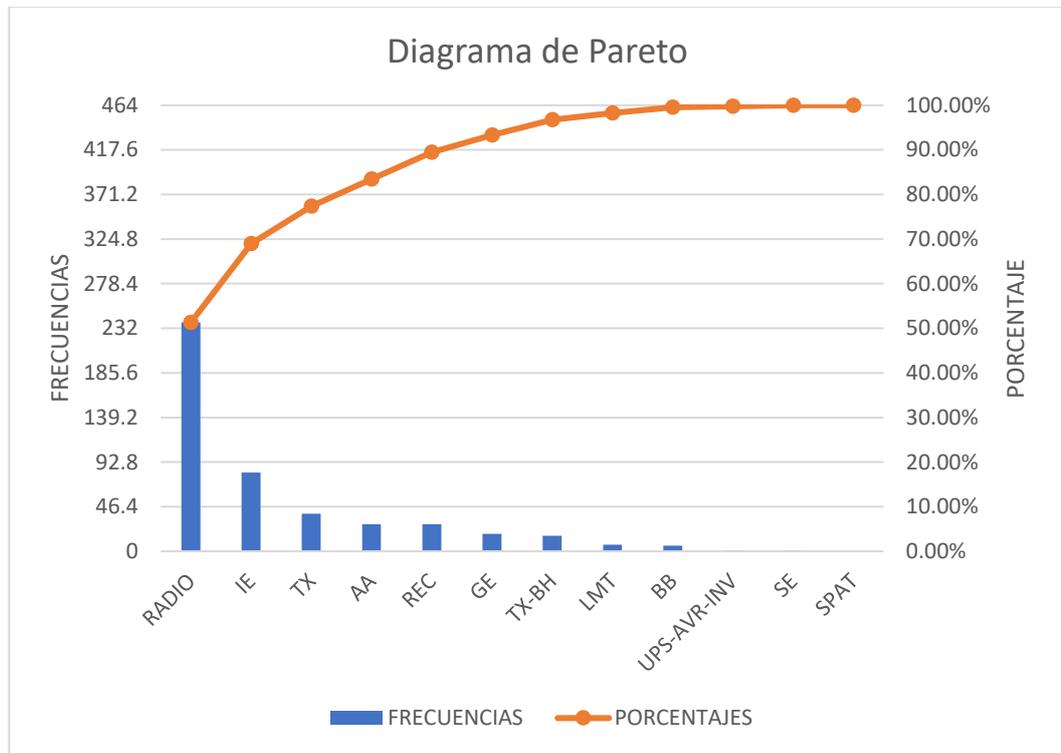


Figura 8. Diagrama de Pareto para los sistemas de una estación base celular

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)

Las tablas de severidad, ocurrencia y probabilidad de detección de las fallas para el AMEF estas están representadas en las Tablas 11, 12 y 13 respectivamente.

Para determinar la severidad la Tabla 11 posee una clasificación cuantificada desde el 1 al 10, donde 1 representan que la falla no tiene ningún efecto sobre el sistema y 10 significa que el efecto de la falla es de alto riesgo.

Tabla 11. *Criterios típicos de evaluación de la severidad.*

Efectos	Criterios: Severidad del efecto	Ranking
Peligroso - sin previo aviso	Clasificación de gravedad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura y / o implica el incumplimiento de las regulaciones sin previo aviso.	10
Peligroso: con advertencia	Clasificación de gravedad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura y / o implica el incumplimiento de las regulaciones con advertencia	9
Muy alto	Producto / artículo inoperable, con pérdida de la función principal	8
Alta	Producto / artículo operable, pero con un nivel de rendimiento reducido. Cliente insatisfecho	7
Moderada	Producto / artículo operable, pero puede causar reprocesos / reparaciones y / o daños al equipo	6
Baja	Producto / artículo operable, pero puede causar leves inconvenientes a las operaciones relacionadas	5
Muy baja	Producto / artículo operable, pero posee algunos defectos (estéticos y de otro tipo) perceptibles para la mayoría de los clientes.	4
Menor	Producto / artículo operable, pero puede tener algunos defectos notorios por clientes exigentes	3
Muy menor	Producto / artículo operable, pero no cumple con la política de la empresa	2
Ninguno	Sin efecto	1

Fuente: Adaptado de Duffuaa (2009)

Para la Tabla 12 los criterios para determinar la ocurrencia de las fallas se basan en la probabilidad de que estas se presenten un determinado número de veces, donde la alta probabilidad de que ocurra se califica con un valor de 10, mientras que la faja probabilidad tiene un valor de 1.

Tabla 12. Criterios típicos de evaluación de ocurrencias.

Probabilidad de Falla	Rango posible de Fallas	Ranking
Muy alto: el fracaso es casi inevitable	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alto: fallos repetidos	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderado: fallos ocasionales	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2,000	4
Baja: relativamente pocas fallas	1 en 15,000	3
	1 en 150,000	2
Remoto: es poco probable que falle	≤ 1 en 1,500,000	1

Fuente: Adaptado de Duffuaa (2009)

Tabla 13. Criterios típicos de evaluación de detección.

Efectos	Criterios: Probabilidad de detección por control de diseño	Ranking
Incertidumbre absoluta	El control de diseño no puede o no podrá detectar una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente; o no hay control de diseño	10
Muy remoto	Posibilidad muy remota de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	9
Remoto	Posibilidad remota de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	8
Muy bajo	Muy pocas posibilidades de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	7
Bajo	Baja probabilidad de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	6
Moderado	Probabilidad moderada de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	5
Moderadamente alto	Probabilidad moderada de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	4
Alto	Alta probabilidad de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	3
Muy Alto	Muy alta probabilidad de que el control de diseño detecte una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	2
Casi seguro	El control de diseño detectará casi con certeza una causa / mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente	1

Fuente: Adaptado de Duffuaa (2009)

Siguiendo el análisis de modo y efecto de falla se determinó el modo potencial de falla tal como se ve en la Tabla 14. Para cada uno de los sistemas de la Tabla 8 se realizó el listado las funciones que cumplen y las fallas potenciales asociadas.

Tabla 14. Determinación del modo potencial de falla

Sistemas	Función	Modo de falla potencial
AA	Introducir aire frío al interior, para ello utiliza un enfriador o evaporador, un compresor y un condensador.	Falla en compresor, condensador, evaporador, filtro deshidratador, válvula de expansión
REC	Dispositivo electrónico que permite convertir la corriente alterna en corriente continua.	Falla en rectificador, breaker, conductor, unidad central.
BB	Almacenan la energía reserva que será utilizada por los Sistemas fuerza durante la falla de la red eléctrica de la concesionaria	Fallo en celdas, fallo por puente
UPS-AVR-INV	Permite tener flujo de energía eléctrica mediante baterías, cuando el suministro eléctrico falla.	Fallo en rectificador, inversor, banco de baterías, componentes, unidad central.
SPAT	Es un sistema de protección al usuario de los aparatos conectados a la red eléctrica	Electrocución por contacto, fallo en breaker
GE	Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico.	Fallo del motor, generador, chasis, gabinete de mando.
IE	Es un elemento que sirve para controlar y dividir circuitos de una instalación eléctrica, en la cual también es posible alimentar y controlar diversos centros de carga; esta protección está controlada por interruptores termomagnéticos de uno, dos y tres polos.	Fallo en breaker, barras, conductores, sobretensiones
LMT	se utiliza para transportar la electricidad desde las subestaciones hasta un usuario específico en media tensión	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.
SE	es una instalación que forma parte de un sistema eléctrico de potencia. Su objetivo principal es modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.
TX	Se denomina red de transmisión de datos al conjunto formado por los equipos y los medios físicos y lógicos que permiten la comunicación de información entre diferentes usuarios a cualquier distancia que se encuentren.	Fallo en Idu, conductor IF, Odu, Patch cord ethernet
TX-BH	Las redes de retorno conectan redes de datos, redes de telefonía celular, y otros tipos de redes de comunicación, además de ser usadas para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.	Fallo en router, transceiver sfp, fibra óptica
RADIO	Permiten el intercambio de información entre terminales móviles y terminales fijos a través de un medio de transmisión radioeléctrico, con unas características de calidad determinadas. Estos sistemas suelen tener una cobertura zonal.	Fallo en bandbase, transceiver sfp, fibra óptica, Rrus, Jumper de RF, Antena

Fuente: *Elaboración Propia*

Para el análisis de severidad de la Tabla 15 se toman los criterios de la Tabla 11 y las funciones de la Tabla 14 para realizar la ponderación de la severidad de las fallas potenciales.

Tabla 15. Análisis de severidad de modos de falla

Sistemas	Modo de Falla Potencial	Efecto potencial de la falla	Severidad
AA	Falla en compresor, condensador, evaporador, filtro deshidratador, válvula de expansión	Inoperatividad del aire acondicionado Sobrecalentamiento de los componentes electrónicos	9
REC	Falla en rectificador, breaker, conductor, unidad central.	Apagado parcial de los sistemas de radio y transporte	7
BB	Fallo en celdas, fallo por puente	Poca operatividad de los equipos de radio y transporte en ausencia de suministro eléctrico. Apagado de los equipos de radio y transporte en ausencia de suministro eléctrico	6
UPS-AVR-INV	Fallo en rectificador, inversor, banco de baterías, componentes, unidad central.	Apagado de los sistemas de radio y transporte	6
SPAT	Electrocución por contacto, fallo en breaker	Activación del breaker Apagado de los equipos de radio y transporte	6
GE	Fallo del motor, generador, chasis, gabinete de mando.	Apagado de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado en ausencia de suministro eléctrico.	7
IE	Fallo en breaker, barras, conductores, sobretensiones	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	10
LMT	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	10
SE	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	10
TX	Fallo en Idu, conductor IF, Odu, Patch cord ethernet	Perdida de datos	6
TX-BH	Fallo en router, transceiver sfp, fibra óptica	Perdida de datos	6
RADIO	Fallo en bandbase, transceiver sfp, fibra óptica, Rrus, Jumper de RF, Antena	Perdida de datos	6

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que los elementos de mayor severidad están relacionados con el suministro eléctrico, pero la mayoría tienen una severidad moderada lo que quiere decir que el sistema puede seguir operando, pero no en condiciones adecuadas.

Para la determinar la probabilidad de ocurrencias de las fallas se emplea los criterios de la Tabla 12. Para este caso el análisis de la ocurrencia de fallas se encuentra en la Tabla 16.

Tabla 16. Análisis de ocurrencia de modos de falla

Sistemas	Modo de Falla Potencial	Efecto potencial de la falla	Causa Potenciales	Ocurrencia
AA	Falla en compresor, condensador, evaporador, filtro deshidratador, válvula de expansión	Inoperatividad del aire acondicionado Sobrecalentamiento de los componentes	Exceso de humedad Inoperatividad de sensores Fin de vida útil	7
REC	Falla en rectificador, breaker, conductor, unidad central.	Apagado parcial de los sistemas de radio y transporte	Fluctuación del AC. Alta temperatura Fin de vida útil	6
BB	Fallo en celdas, fallo por puente	Poca operatividad de los equipos. Apagado de los equipos en ausencia de suministro eléctrico	Corrosión en terminales Fin de vida útil	4
UPS-AVR-INV	Fallo en rectificador, inversor, banco de baterías, componentes, unidad central.	Apagado de los sistemas de radio y transporte	Alta temperatura Fin de vida útil	3
SPAT	Electrocución por contacto, fallo en breaker	Activación del breaker Apagado de los equipos de radio y transporte	Corrosión en terminales Fin de vida útil	2
GE	Fallo del motor, generador, chasis, gabinete de mando.	Apagado de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado en ausencia de suministro eléctrico.	Falta de mantenimiento Fin de vida útil	3
IE	Fallo en breaker, barras, conductores, sobretensiones	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	Corrosión en terminales Fin de vida útil	5
LMT	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	Corrosión en terminales Fin de vida útil	5
SE	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	Corrosión en terminales Fin de vida útil	5
TX	Fallo en Idu, conductor IF, Odu, Patch cord ethernet	Perdida de datos	Alta temperatura Fin de vida útil	6
TX-BH	Fallo en router, transceiver sfp, fibra óptica	Perdida de datos	Alta temperatura Fin de vida útil	6
RADIO	Fallo en bandbase, transceiver sfp, fibra óptica, Rrus, Jumper de RF, Antena	Perdida de datos	Alta temperatura Fin de vida útil	6

Fuente: *Elaboración Propia*

De manera similar que para los casos anteriores se realiza la ponderación para la detección de falla tal como se muestra en la Tabla 17. Para este caso se emplea los criterios de la Tabla 13.

Tabla 17. Análisis de detección de modos de falla

Sistemas	Modo de Falla Potencial	Efecto potencial de la falla	Controles de proceso	Detección
AA	Falla en compresor, condensador, evaporador, filtro deshidratador, válvula de expansión	Inoperatividad del aire acondicionado Sobrecalentamiento de los componentes	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2
REC	Falla en rectificador, breaker, conductor, unidad central.	Apagado parcial de los sistemas de radio y transporte	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2
BB	Fallo en celdas, fallo por puente	Poca operatividad de los equipos. Apagado de los equipos en ausencia de suministro eléctrico	Medición Inspección visual	5
UPS-AVR-INV	Fallo en rectificador, inversor, banco de baterías, componentes, unidad central.	Apagado de los sistemas de radio y transporte	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2
SPAT	Electrocución por contacto, fallo en breaker	Activación del breaker Apagado de los equipos de radio y transporte	Monitoreo con alarmas Inspección visual	8
GE	Fallo del motor, generador, chasis, gabinete de mando.	Apagado de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado en ausencia de suministro eléctrico.	Monitoreo con alarmas Inspección visual	5
IE	Fallo en breaker, barras, conductores, sobretensiones	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	Mediciones Inspección visual	2
LMT	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2
SE	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2
TX	Fallo en Idu, conductor IF, Odu, Patch cord ethernet	Perdida de datos	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2
TX-BH	Fallo en router, transceiver sfp, fibra óptica	Perdida de datos	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2
RADIO	Fallo en bandbase, transceiver sfp, fibra óptica, Rrus, Jumper de RF, Antena	Perdida de datos	Monitoreo con alarmas Inspección visual	2

Fuente: *Elaboración Propia*

A continuación, empelando las tablas de Severidad, Probabilidad y Detección de los modos de fallas se determina el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), mediante su ecuación siguiente:

$$NPR = S * O * D$$

En la Tabla 18 se muestran los resultados para el NPR de los sistemas de la Central Trujillo. En esta tabla, la falla toma la condición de inaceptable si $NPR > 100$, reducible si $100 > NPR < 50$ y aceptable si $50 > NPR$.

Tabla 18. *Análisis del número de prioridad de riesgo de los modos de falla*

Sistemas	Modo de Falla Potencial	Efecto potencial de la falla	NPR
AA	Falla en compresor, condensador, evaporador, filtro deshidratador, válvula de expansión	Inoperatividad del aire acondicionado Sobrecalentamiento de los componentes electrónicos	126
REC	Falla en rectificador, breaker, conductor, unidad central.	Apagado parcial de los sistemas de radio y transporte	84
BB	Fallo en celdas, fallo por puente	Poca operatividad de los equipos de radio y transporte en ausencia de suministro eléctrico. Apagado de los equipos de radio y transporte en ausencia de suministro eléctrico	120
UPS-AVR-INV	Fallo en rectificador, inversor, banco de baterías, componentes, unidad central.	Apagado de los sistemas de radio y transporte	36
SPAT	Electrocución por contacto, fallo en breaker	Activación del breaker Apagado de los equipos de radio y transporte	96
GE	Fallo del motor, generador, chasis, gabinete de mando.	Apagado de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado en ausencia de suministro eléctrico.	105
IE	Fallo en breaker, barras, conductores, sobretensiones	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	100
LMT	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	100
SE	Fallo en seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores.	Apagado imprevisto de los equipos de radio, transporte y aire acondicionado.	100
TX	Fallo en Idu, conductor IF, Odu, Patch cord ethernet	Perdida de datos	72
TX-BH	Fallo en router, transceiver sfp, fibra óptica	Perdida de datos	72
RADIO	Fallo en bandbase, transceiver sfp, fibra óptica, Rrus, Jumper de RF, Antena	Perdida de datos	72

Fuente: *Elaboración Propia*

4.4. Plan de mantenimiento

Del análisis de criticidad (Tabla 18) se tiene que los sistemas críticos son: Aire Acondicionado (AA), Banco de Baterías (BB) y el Grupo Electrónico (GE), pues estos tienen un NPR mayor a 100, por tal razón estos deben ser atendidos con mayor urgencia y deben tener actividades de mantenimiento más frecuentes con el fin de reducir la probabilidad de fallas. Por otra parte, los sistemas con un NPR entre 50 y 100 son menos urgentes, pero también deben de aumentarse su número de actividades de mantenimiento.

Con base en la información procesada se creó las Tablas 19 y 20 para el plan de mantenimiento preventivo, donde se encuentran seis columnas: sistema, equipo/parte, actividades, frecuencia de mantenimiento actual, frecuencia de mantenimiento propuesta y tiempo estimado de reparación. Para el plan de mantenimiento las actividades se tomaron de los procedimientos estándar para la atención del mantenimiento ejecutado por la empresa concesionaria.

El punto de mayor importancia en este plan de mantenimiento es la frecuencia de ejecución de las actividades de mantenimiento. En la columna 4 de las Tablas 19 y 20 se presenta la frecuencia de mantenimiento con el plan actual y en la columna 5 se encuentra la frecuencia de mantenimiento propuesta. La frecuencia propuesta es 15% mayor al valor actual, lo cual equivale a aumentar la frecuencia de mantenimiento de los sitios mixtos (Tabla 3) de 3 a 4 veces por año. Este porcentaje se obtuvo tomando en consideración al sistema de Aire Acondicionado que es el de mayor criticidad (AA) y el hecho de que este sistema de es uno de los más recurrentes en fallar en los sitios mixtos.

Tabla 19. Plan de mantenimiento

Sistema	Equipo/Partes	Actividades	Frecuencia Actual (veces/año)	Frecuencia Propuesta (veces/año)	Tiempo de ejecución
AA	compresor, condensador, evaporador, filtro deshidratador, válvula de expansión	Inspección de equipos y/o partes	228	262	2:51:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Limpieza de circuito de refrigeración			
		Reemplazo de filtro			
REC	rectificador, breaker, conductor, unidad central	Inspección de equipos y/o partes	376	432	2:09:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura de los equipos			
		Medición de humedad ambiental			
BB	celdas de batería, borneras	Inspección de equipos y/o partes	357	411	2:25:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de tensión			
		Limpieza de baterías			
UPS-AVR-INV	rectificador, inversor, banco de baterías, componentes, unidad central	Inspección de equipos y/o partes	10	12	5:30:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura de los equipos			
		Medición de humedad ambiental			
SPAT	breaker, pozo a tierra	Inspección de equipos y/o partes	0	0	3:35:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura del breaker			
		Medición de resistencia con Telurómetro			
GE	motor, generador, chasis, gabinete de mando	Inspección de equipos y/o partes	98	113	7:40:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Reemplazo de refrigerante, aceite y componentes			
		Ajuste de terminales y pernos flojos			
		Pintado de chasis			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Plan de mantenimiento (Continuación)

Sistema	Equipo/Partes	Actividades	Frecuencia Actual (veces/año)	Frecuencia Propuesta (veces/año)	Tiempo de ejecución
IE	breaker, barras, conductores, sobretensiones	Inspección de equipos y/o partes	286	329	00:30:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de tensión			
		Ajuste de terminales flojos			
		Medición de resistencia con Telurómetro			
LMT	seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores	Inspección de equipos y/o partes	36	41	04:30:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura de los equipos			
		Ajuste de terminales y pernos flojos			
SE	seccionado de potencia, transformador de potencia, conductores, postes e infraestructura, aisladores	Inspección de equipos y/o partes	58	67	05:00:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura de los equipos			
		Medición de humedad ambiental			
		Ajuste de terminales y pernos flojos			
		Limpieza de componentes			
TX	Idu, conductor IF, Odu, Patch cord ethernet	Inspección de equipos y/o partes	131	151	4:30:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura de los equipos			
		Medición de humedad ambiental			
TX-BH	router, transceiver sfp, fibra óptica	Inspección de equipos y/o partes	277	319	2:20:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura de los equipos			
		Medición de humedad ambiental			
RADIO	bandabase, transceiver sfp, fibra óptica, Rrus, Jumper de RF, Antena	Inspección de equipos y/o partes	259	298	4:30:00 h
		Verificación de sensores y/o alarmas			
		Medición de temperatura de los equipos			
		Medición de humedad ambiental			

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Proyección de nuevos parámetros de mantenimiento

4.5.1. Modelo de sistema en el estado actual

Para elaborar el modelo de una estación base celular en ProModel se han tomado los sistemas que la componen como se puede ver en la Figura 9. Cada sistema está representado con un icono al cual se le asignó el número de falla como una función estadística que depende de la media (μ) y la desviación estándar (σ).



Figura 9. Modelo de los sistemas en una estación base celular en ProModel

Fuente: Elaboración Propia

ProModel trabaja con unidades de minutos para los datos de tiempo de parada por fallas o mantenimientos, por tal razón, se elaboró la Tabla 21 que viene a ser la información de los parámetros de mantenimiento de la Tabla 8 convertida en minutos. Con estos datos se ingresó la probabilidad de presencia de falla para cada uno de los sistemas los cuales fueron reducido de 12 a 8, pues este es el límite permitido por la versión estudiante de ProModel que se está utilizando.

Para el modelo se asignó como recurso un técnico el cual debe solucionar las fallas que se presentan en el modelo y cuyo tiempo de reparación promedio se tomó de los datos de MTTR de la Tabla 21.

Tabla 21. Parámetros de mantenimiento para los sistemas (minutos)

No.	SIST.	Tiempo Total (h/año) (S)	Tiempo de reparación de fallas (min) (d)	Cantidad de Fallas (fallas/año) (f)	MTBF (min/falla)	MTTF (min/falla)	MTTR (min/falla)	Tasa de Fallas (λ)	Disponibilidad (D)	Utilización (%)
1	AA	8760	9448.8	28	18771.4	18433.97	337.46	0.0032	0.9820	1.80%
2	REC	8760	13814.4	28	18771.4	18278.06	493.37	0.0032	0.9737	2.63%
3	BB	8760	2830.8	6	87600	87128.2	471.8	0.0007	0.9946	0.54%
4	UPS-AVR-INV	8760	240	1	525600	525360	240	0.0001	0.9995	0.05%
5	GE	8760	5662.2	18	29200	28885.43	314.57	0.0021	0.9892	1.08%
6	IE	8760	22566.6	82	6409.76	6134.554	275.2	0.0094	0.9571	4.29%
7	SE	8760	10563	8	65700	64379.63	1320.4	0.0009	0.9799	2.01%
8	TX	8760	316619.4	293	1793.86	713.2444	1080.6	0.0334	0.3976	60.24%

Fuente: Elaboración Propia

Al ejecutar el modelo se obtienen los datos de la Figura 10, donde el parámetro %Utilización se puede emplear para determinar la disponibilidad del sistema ($\text{Disponibilidad} = 100\% - \% \text{Utilización}$).

Al comparar los resultados de la Tabla 21 con los resultados del modelo de la Figura 10, se observa que los resultados estadísticos del modelo difieren como máximo en 3.42% para el % Utilización, comprobando de esta manera que el modelo trabaja adecuadamente.

Nombre	Unidades	Tiempo Programado (Hr)	Tiempo de Trabajo (Min)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Min)	% Utilización
Tecnico SE	1.00	8,760.00	10,227.52	8.00	1,278.44	1.95
Tecnico GE	1.00	8,760.00	5,498.68	18.00	305.48	1.05
Tecnico AA	1.00	8,760.00	9,091.26	27.00	336.71	1.73
Tecnico REC	1.00	8,760.00	13,345.59	27.00	494.28	2.54
Tecnico BB	1.00	8,760.00	2,360.98	5.00	472.20	0.45
Tecnico UPS	1.00	8,760.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Tecnico IE	1.00	8,760.00	22,266.63	81.00	274.90	4.24
Tecnico TX	1.00	8,760.00	315,467.12	293.00	1,076.68	60.02

Figura 10. Resultados del modelo hecho en ProModel

Fuente: Elaboración Propia

La información presentada como gráficos de barras de la Figura 11 muestra la disponibilidad de los sistemas en color celeste (izquierda) y en color verde el porcentaje de utilización del técnico (derecha).

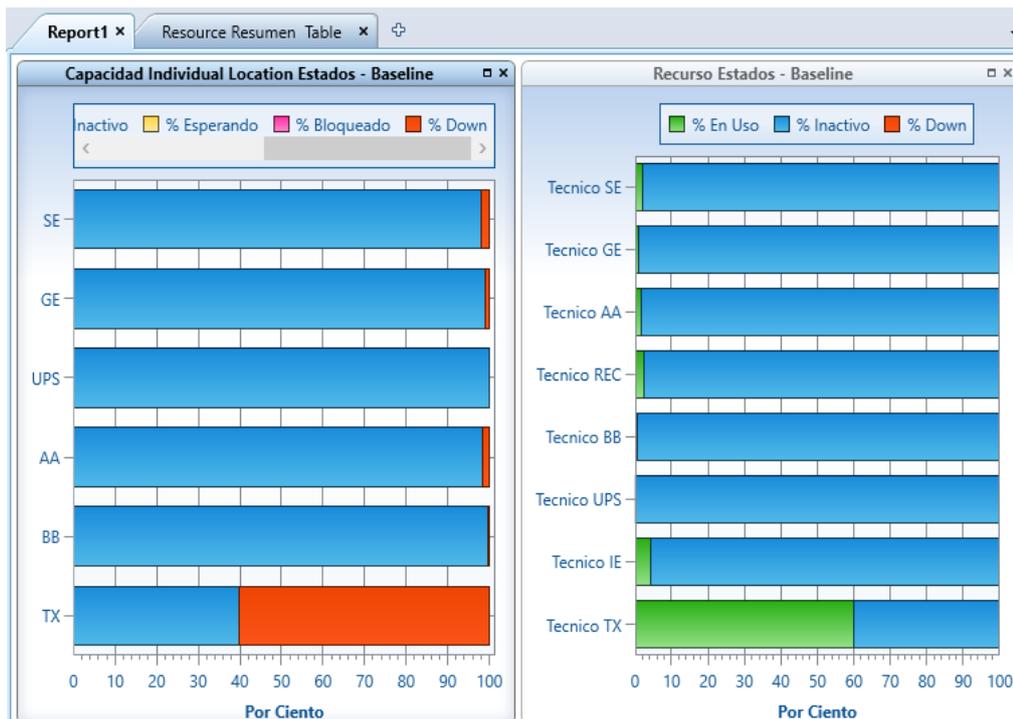


Figura 11. Gráfico de barras con resultados del modelo hecho en ProModel

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2. Impacto y proyección de los parámetros de mantenimiento del plan propuesto

Al aplicar el nuevo plan de mantenimiento al modelo de ProModel con un aumento del 15% en la cantidad de mantenimientos, se observa que hay una reducción en el porcentaje de utilización de los servicios de reparación por falla imprevistas por parte de los técnicos, esto es igual a decir que hay un aumento en la disponibilidad en estos sistemas, ya que como se observa en la Figura 12, hay una disminución en el número de veces que se utilizan un técnico para solucionar una falla.

Al comparar los gráficos de la Figuras 11 y 13 se observa un aumento de la disponibilidad de los sistemas, especialmente en los equipos de transmisión (TX) en los que se incluyen los equipos de RADIO pues estos poseen la mayor cantidad de equipos y fallan con mayor frecuencia como se puede ver en el Diagrama de Pareto de la Figura 8. Por la función que cumplen estos equipos sus fallas estas relacionadas con las fallas en otros

sistemas, por lo cual, al disminuir el número de fallas en los demás sistemas la probabilidad de fallas en estos equipos también disminuye.

Resource Resumen							
Nombre	Unidades	Tiempo Programado (Hr)	Tiempo de Trabajo (Min)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Min)	% Utilización	
Tecnico SE	1.00	8,760.00	7,893.73	6.00	1,315.62	1.50	
Tecnico GE	1.00	8,760.00	4,413.64	15.00	294.24	0.84	
Tecnico AA	1.00	8,760.00	7,772.44	23.00	337.93	1.48	
Tecnico REC	1.00	8,760.00	11,339.14	23.00	493.01	2.16	
Tecnico BB	1.00	8,760.00	1,925.93	5.00	385.19	0.37	
Tecnico UPS	1.00	8,760.00	0.00	1.00	0.00	0.00	
Tecnico IE	1.00	8,760.00	18,942.53	70.00	270.61	3.60	
Tecnico TX	1.00	8,760.00	267,871.55	248.00	1,080.13	50.96	

Figura 12. Resultados del modelo hecho en ProModel

Fuente: Elaboración Propia



Figura 13. Resultados del modelo hecho en ProModel

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la nueva disponibilidad desde los datos del modelo, se restó al 100% el porcentaje de utilización, y esto convertido a decimales dan los valores de disponibilidad de la Tabla 22.

A modo de comparación en la Tabla 22 se resumen los resultados de la disponibilidad inicial (Plan actual) y la disponibilidad final (Plan propuesto). Como se logra ver la disponibilidad con el plan propuesto en los 7 primeros

sistemas es en promedio 0.36% mayor que la disponibilidad inicial, mientras que para el sistema TX el aumento de la disponibilidad es del 23.34%

Tabla 22. *Parámetros de mantenimiento obtenidos de ProModel*

No.	SISTEMA	Tiempo Total (h/año) (S)	Utilización Inicial (%)	Disponibilidad Inicial (D)	Utilización Final (%)	Disponibilidad Final (D)
1	AA	8760	1.80%	0.9820	1.48%	0.9852
2	REC	8760	2.63%	0.9737	2.16%	0.9784
3	BB	8760	0.54%	0.9946	0.37%	0.9963
4	UPS-AVR-INV	8760	0.05%	0.9995	0.00%	1.0000
5	GE	8760	1.08%	0.9892	0.84%	0.9916
6	IE	8760	4.29%	0.9571	3.60%	0.9640
7	SE	8760	2.01%	0.9799	1.50%	0.9850
8	TX	8760	60.24%	0.3976	50.96%	0.4904

Fuente: Elaboración Propia

4.6. Análisis económico

Para el aspecto económico la empresa de telecomunicaciones estableció un método de pago para la atención de las incidencias por parte de la empresa concesionaria (Tabla 23), encargada de ejecutar los mantenimientos correctivos, donde el pago por el 44% de los locales que son considerados muy críticos y de alto grado de criticidad, tiene un pago Fee mensual, esto quiere decir que pagan un monto fijo mensual se tenga o no se tenga incidencias, el pago por el 56% de los locales considerados de criticidad media y baja tiene un pago bajo demanda, esto quiere decir que solo pagan por cada atención de incidencia en sitio, si no hay traslado al local la incidencia no es pagada.

Tabla 23. *Cobro mensual según tipo de demanda para MC*

Tipo de Atención para MC	Cantidad de Locales Bajo Concesión	Porcentaje de Locales Bajo Concesión	Tipo de Locales	Cobro promedio mensual por MC
Fee Mensual	125	44%	Locales Principales Sitios Mixtos	S/ 41,902.49
Bajo Demanda	158	56%	Estaciones Outdoor Sitios Mixtos	S/ 7,100.00

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 24 se muestra que para una reducción de 15.36% en las MC la empresa propietaria puede lograr un ahorro anual de S/ 77,226.43 con el nuevo plan de mantenimiento propuesto.

Tabla 24. Ahorro anual para MC con el plan propuesto

Cobro promedio mensual por MC (Plan Actual)	Numero de Fallas (Plan Actual)	Numero de Fallas (Plan Propuesto)	Reducción de fallas	Ahorro por reducción de fallas	Cobro promedio mensual por MC (Plan Propuesto)	Ahorro Anual
S/ 41,902.49	293	248	15.36%	S/ 6,435.54	S/ 35,466.95	S/ 77,226.43

Fuente: Elaboración Propia

Al implementar el nuevo plan de mantenimiento la ganancia por las actividades de mantenimiento preventivo al año es mayor para la empresa concesionaria, pues como se puede ver en la Tabla 26 existirá un flujo de caja positivo anual de S/. 89,447.11 que es la diferencia entre la ganancia con el mantenimiento propuesto y la ganancia con el mantenimiento actual.

Tabla 25. Ganancia Anual para de la Concesionaria por MP

Clasificación Actual	Cantidad de sitios	Frecuencia de MP Actual (Meses)	Frecuencia de MP Actual (veces/año)	Número de MP al año	Ganancia por mantenimiento Actual	Frecuencia de MP Propuesta (veces/año)	Numero de MP al año	Ganancia por mantenimiento Propuesto
Tipo 8_N	1	2	6.00	6.00	S/ 47,140.80	6.00	6.00	S/ 47,140.80
Tipo 8_C	3	3	4.00	12.00	S/ 27,300.60	4.00	12.00	S/ 27,300.60
Tipo 13_Internos	2	3	4.00	8.00	S/ 26,729.44	4.00	8.00	S/ 26,729.44
Tipo 8_F	8	4	3.00	24.00	S/ 74,687.52	4.00	32.00	S/ 99,583.36
Tipo 8_3	10	4	3.00	30.00	S/ 78,243.90	4.00	40.00	S/ 104,325.20
Tipo 8_1	3	4	3.00	9.00	S/ 24,006.69	4.00	12.00	S/ 32,008.92
Tipo 8_4	3	4	3.00	9.00	S/ 20,272.32	4.00	12.00	S/ 27,029.76
Tipo 10_C	10	4	3.00	30.00	S/ 71,130.90	4.00	40.00	S/ 94,841.20
Tipo 8_E	1	6	2.00	2.00	S/ 2,927.06	2.00	2.00	S/ 2,927.06
Tipo 8_G	2	6	2.00	4.00	S/ 4,943.48	2.00	4.00	S/ 4,943.48
Tipo 8_2	4	6	2.00	8.00	S/ 13,659.68	2.00	8.00	S/ 13,659.68
Tipo 8_5	31	6	2.00	62.00	S/ 110,903.12	2.00	62.00	S/ 110,903.12
Tipo 8_K	8	6	2.00	16.00	S/ 28,620.16	2.00	16.00	S/ 28,620.16
Tipo 8_L	176	12	1.00	176.00	S/ 49,500.00	1.00	176.00	S/ 49,500.00
Tipo 9_C	18	12	1.00	18.00	S/ 5,539.32	1.00	18.00	S/ 5,539.32
Tipo 12_Clientes	3	18	0.67	2.00	S/ 637.86	0.67	2.00	S/ 637.86
TOTAL ANUAL	283	-	41.67	416.00	S/ 586,242.85		450.00	S/ 675,689.96

Fuente: Elaboración Propia

V. DISCUSIÓN

- 5.1.** Los datos recopilados por la empresa concesionaria facilitaron el análisis de los mismos, pero debido al gran volumen de datos y a la gran cantidad de estación que están bajo concesión (283) fue necesario agruparlos según la clasificación actual propuesta por la empresa dueña. Para este caso el plan de mantenimiento preventivo y correctivo actual se rige a esta clasificación para asignar la frecuencia de mantenimientos preventivos al año. Además, fue importante definir las relaciones entre las alarmas que se presentan debido a las fallas el tipo de sistemas a los cuales involucran.
- 5.2.** Los datos organizados por sistemas en relación a la cantidad de fallas fueron tomados de las 283 estaciones, estos datos permitieron determinar los parámetros de mantenimiento como el MTBF, MTTF y MTTR, los cuales son de gran importancia a la hora de mostrar frecuencia de falla y el tiempo en que se tardan para ser reparadas. Además, con los datos anteriores se obtuvieron los indicadores de mantenimiento como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Esto permite definir el estado actual del sistema en relación al plan de mantenimiento que se está ejecutando y nos sirve como base para proponer nuestro plan de mantenimiento con el fin de reducir la cantidad de fallas y el tiempo necesario para resolverlas.
- 5.3.** Para establecer un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se empleó el diagrama de causa efecto, el cual fue el primer paso para conocer los posibles problemas relacionados con las fallas que se dan en el sistema. Aquí se identificó que las fallas están relacionadas con las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, además de disponibilidad de operarios, aspectos técnicos de los equipos y condiciones climática. Por otra parte, empleando el diagrama de Pareto identificamos que 4 de los 12 sistemas presentan en porcentaje el mayor índice de fallas. Finalmente empleando la metodología AMEF se determinó que la criticidad de cada sistema, donde 3 de ellos (AA, B y GE) son los más críticos y requieren de mayor cantidad de mantenimientos para reducir la probabilidad de fallas.
- 5.4.** En el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se establecieron las actividades de mantenimiento para cada sistema, la frecuencia con la

que debe ser ejecutada durante el año y el tiempo de ejecución promedio para estas actividades. En este plan de mantenimiento las actividades de mantenimiento se rigen por procedimientos estándar de inspección y reparación para los equipos presentes en los sistemas, mientras que la frecuencia se determinó en base a la información de la cantidad de fallas registrado en año 2020 y el número de prioridad de riesgo (NPR) del AMEF. Como se puede ver en la Tablas 18 y 19 la frecuencia de mantenimientos es alta para los sistemas con alto NPR y que presentan alto número de incidencias de fallas.

- 5.5.** Empleando el software ProModel se modeló el comportamiento de las fallas de los sistemas que componen una estación base celular. La presencia de las fallas en el sistema sigue una distribución estadística la cual se ingresó en modelo para obtener los resultados de la Figura 10, lo cual corresponde a los valores calculados en la Tabla 21 con un pequeño margen de error (3.42%). De esta manera se verifica el modelo que se será empleando para corroborar el nuevo plan de mantenimiento. Ya implementado el plan de mantenimiento se percibe un aumento de la disponibilidad en todos los sistemas, donde que el posee un mayor aumento es el sistema TX (9.28%), por otra parte, el número de fallas se reduce para todos los sistemas, donde de igual manera el sistema que muestra mayor reducción de fallas es el sistema TX ya que posee la mayor cantidad de fallas al año.
- 5.6.** Para el caso del mantenimiento correctivo se ha tomado el cobro promedio mensual de S/ 41,902.49 que les corresponde a los sitios mixtos. Como el cobro depende de la cantidad de fallas que se presentan al año y como los resultados de las Figuras 10 y 12 muestran que la probabilidad de falla se reduce un 15.35% de 293 a 248 fallas, esto equivale una reducción del mismo porcentaje del pago mensual hecha a la empresa propietaria y que es igual a S/ 77,226.43 al año, por otra parte, la empresa concesionaria logra un aumento en sus ganancias de S/. 89,447.11 al año, por lo cual no se puede aplicar el VAN ni el TIR por no existir una inversión inicial para el plan de mantenimiento.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1.** Para conocer el estado del sistema se recopilaron los datos de fallas de la red de telecomunicaciones durante el año 2020 para las 283 estaciones bajo concesión, a su vez se revisó el plan de mantenimiento preventivo y correctivo y la frecuencia con la que se realizan en dicho año, adicionalmente se definieron las relaciones entre las alarmas registradas y el tipo de sistema a los cuales involucran.
- 6.2.** Con el procesamiento de la información se logró determinar los parámetros de mantenimiento MTBF, MTTF y MTTR para el sistema actual, así como también los indicadores de mantenimiento como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Con esto se definió el estado actual del sistema, el cual se empleó para definir el nuevo plan de mantenimiento.
- 6.3.** Para el análisis de criticidad se emplearon el diagrama de causa-efecto, el diagrama de Pareto y el AMEF, con el fin de identificar las posibles causas de fallas y los sistemas de con mayor frecuencia de fallas y criticidad.
- 6.4.** Para el plan de mantenimiento se empleó los resultados del análisis de criticidad y la información de los parámetros de mantenimiento para determinar a la frecuencia con las que deben ejecutar las actividades de mantenimiento para cada sistema en el nuevo plan.
- 6.5.** Con la ayuda de ProModel se realizó el modelo de los sistemas de una EBC el cual fue validado con los datos de los parámetros de mantenimiento ya calculados. Además, con el mismo modelo se verificó que al aplicarse el nuevo plan de mantenimiento se logra reducir el número de fallas y aumentar la disponibilidad de los sistemas.
- 6.6.** Tanto la empresa propietaria como la empresa concesionaria lograran una ganancia de S/ 77,226.43 y S/. 89,447.11 al año, al implementarse el nuevo plan de mantenimiento.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Con el fin de tener información más significativa para caracterizar el mantenimiento de las EBC los autores recomiendan recopilar datos para cada uno de los sistemas que forman parte de las EBC en una mayor cantidad de años de operación.

7.2. Como el volumen de información ira incrementando con el transcurso de los años se sugiere emplear un software de gestión de mantenimiento que permita manipular de manera intuitiva la información de fallas y la gestión de los tiempos de mantenimiento, lo cual a su vez disminuirá los tiempos de reacción para resolver las fallas imprevistas.

REFERENCIAS

- Arcos, T., *Estación base celular en las telecomunicaciones*. Lima: Planeta, 2019
- BAKRI, Adnan; JANUDDI, Mohd Al-Fatihhi Mohd Szali. *Systematic Industrial Maintenance to Boost the Quality Management Programs*. Springer Nature, 2020.
- Catillo Velasco, L. P. Evaluación de la confiabilidad de los transformadores para las estaciones base en Cundinamarca en sistemas de comunicaciones móviles.
- DUFFUAA, Salih; RAOUF, A. y CAMPBELL, John. *Sistemas de mantenimiento. Planificación y control*. Editorial Limusa, México, 2000.
- BEN-DAYA, Mohamed; KUMAR, Uday y MURTHY, DN Prabhakar. *Introduction to maintenance engineering: modelling, optimization and management*. John Wiley & Sons, 2016.
- Gagnon, C., *Telecommunication stations*. Estados Unidos: Akal, 2018.
- Giraldo Simiche, C. E. (2017). *Aplicación del mantenimiento preventivo para mejorar la productividad del área de servicio de mantenimiento de grupos electrógenos de la empresa Sapia 2017*.
- FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar; HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw Hill, 2014.
- Knezevic J. (1996). *System Maintainability – Analysis, Engineering and Management*, pp 460, Chapman Hall, London, UK
- Han, T., *Impacto de las estaciones base celular en el Perú*. Lima: Acantilado, 2017
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación 6 Edición*. McGrawHill, México.
- Liu, Y. H., Tu, Y. C., Hsu, C. Y., & Chao, H. C. (2019). Predicting malfunction of mobile network base station using machine learning approach. In *2019 20th*

Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS) (pp. 1-4). IEEE.

Miralles, C., *Tecnología de una EBC*. Arequipa: Lumen, 2018.

More Sánchez, J., & Gavilano Aspillaga, M. (2020). Estimación del número de estaciones base celular para atender la demanda de servicios móviles en el Perú al año 2025, Documento de Trabajo N° 50.

Penttinen, J. T. (2015). *The Telecommunications Handbook: Engineering guidelines for fixed, mobile and satellite systems*. John Wiley & Sons.

RAMÍREZ, Ramon. Gestión de proyectos de instalaciones de telecomunicaciones. Ediciones Paraninfo, SA., 2017.

Reeve, W. D. (2006). *DC power system design for telecommunications* (Vol. 14). John Wiley & Sons.

Roy, L., & Lam. P., *Celular base stations in the world*. Canadá: Almadía, 2017.

Rueda Almestar, G. E. (2017). Aplicación del software de control y administración MP9 para mejorar la productividad en el proceso del mantenimiento de estaciones base de las empresas de telecomunicaciones.

Serna, K., & Morcillo, F., EBC Telefónica del Perú. Estaciones base Celular, 45-56, 2017.

Wang, F., Fan, X., Wang, F., & Liu, J. (2018). Backup battery analysis and allocation against power outage for cellular base stations. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 18(3), 520-533.

Wang, H. y Herranz, L. Telecommunication levels. Estados Unidos: Olañeta, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
MTBF	Tiempo medio entre fallas.	Razón entre el tiempo total y numero de fallas	Promedio anual	Tiempo de total anual	Nominal
MTTR	Tiempo medio para reparar.	Razón entre el tiempo de operación y numero de fallas	Promedio anual	Tiempo de operación anual	Nominal
Confiabilidad	Probabilidad de que un sistema o equipo opere en forma satisfactoria.	Diferencia entre la unidad y la función de distribución de falla	Anual total	Función de distribución de fallas	Intervalo
Disponibilidad	Porcentaje de tiempo que un equipo puede cumplir con su función sin ningún fallo.	Razón entre el MTBF y la suma del MTBF y el MTTR	Anual total	MTBF MTTR	Razón
Mantenibilidad	Capacidad para mantenerse en el estado de funcionamiento.	Probabilidad de un equipo de ser restaurado	Anual total	Tasa de fallas (λ)	Razón

Anexo 2. Tipificación de Locales bajo concesión

Tipo 8_N	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es muy grande (ej. locales principales).</p> <p>→ Sitios cuentan con sistemas de energía como grupo electrógeno, equipos de climatización y línea media tensión.</p> <p>→ Sitio deberá contar con presencia de Residentes.</p>
Tipo 8_C	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es grande (centrales).</p> <p>→ Cuenta con sistemas de energía como grupo electrógeno, equipos de climatización y línea media tensión.</p>
Tipo 8_E	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Locales que cuentan con grupo electrógeno.</p>
Tipo 8_F	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Cuenta con grupo electrógeno y equipos de climatización.</p>
Tipo 8_1	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Cuenta con equipos de climatización.</p>
Tipo 8_2	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Cuenta con Línea de Media Tensión, grupo electrógeno y/o aire acondicionado (AA).</p>
Tipo 8_G	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Cuenta con grupo electrógeno.</p> <p>→ Sitios que se encuentren colocalizados (Colocalización se refiere a la compartición del Sitio con otro operador).</p>
Tipo 8_3	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Cuenta con grupo electrógeno y equipos de climatización.</p> <p>→ Sitios que se encuentren colocalizados (Colocalización se refiere a la compartición del Sitio con otro operador).</p>

Tipo 8_4	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Cuenta con equipos de climatización</p> <p>→ En este tipo de Sitio se considerará los Sitios que se encuentren colocalizados (Colocalización se refiere a la compartición del Sitio con otro operador).</p>
Tipo 8_5	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es mediano.</p> <p>→ Cuenta con Línea de Media Tensión, GE y/o AA</p> <p>→ Sitios que se encuentren colocalizados (Colocalización se refiere a la compartición del Sitio con otro operador).</p>
Tipo 8_K	<p>→ Estaciones base outdoor.</p> <p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es pequeño.</p>
Tipo 8_L	<p>→ Estaciones base outdoor</p> <p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es pequeño.</p> <p>→ Sitios que se encuentren colocalizados (Colocalización se refiere a la compartición del Sitio con otro operador).</p>
Tipo 9_C	<p>→ Sitios Estaciones base outdoor, HBTS en los que se contratan Servicios aplicados a elementos de acceso móvil.</p> <p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es pequeño</p>
Tipo 10_C	<p>→ El volumen de elementos en estos Sitios es pequeño (ej. URAS, Ermos, Repetidoras).</p> <p>→ Cuenta con grupo electrógeno y equipos de climatización.</p>
TIPO 12_CLIENTES	<p>→ Sitios en los que se contratan SERVICIOS aplicados a elementos de transporte.</p>
TIPO 13_INTERNOS	<p>→ Cuenta con grupo electrógeno y quipos de climatización, en algunos casos línea de media tensión.</p> <p>→ Edificios administrativos, mixtos.</p>

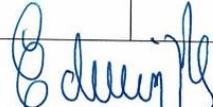
Anexo 3. Instrumento de recolección de datos

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS, APLICA PARA MC

Datos Generales

EMPRESA PROPIETARIA: Telefónica del Perú S.A.A	EMPRESA CONCESIONARIA: Indra del Perú S.A.C
LUGAR: Trujillo, La Libertad	FECHA: 07/07/2021
RESPONSABLE: Rodriguez Leyva, Edwin	CARGO: Supervisor en Indra Perú S.A.C, Proyecto FLM Telefónica, Trujillo San Martin -Perú

Nombre Sitio (ítem - 1)	Tipo Local (ítem - 2)	Atención en Sitio (ítem - 3)	Capa Red (ítem - 4)	Fecha inicio incidente (ítem - 5)	Fecha fin incidente (ítem - 6)	Resolución Categoría (ítem - 7)	Resumen (ítem - 8)	Resolución (ítem - 9)	SLA Solución (ítem - 10)


EDWIN RODRIGUEZ LEYVA
 Ingeniero industrial
 CIP N° 254510

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS, APLICA PARA MC

Datos Generales

EMPRESA PROPIETARIA: Telefónica del Perú S.A.A	EMPRESA CONCESIONARIA: Indra del Perú S.A.C
LUGAR: Trujillo, La Libertad	FECHA: 07/07/2021
RESPONSABLE: Rojas Pérez, Víctor	CARGO: Supervisor en Mg Trading S.A.C, Lima -Perú

Nombre Sitio (item - 1)	Tipo Local (item - 2)	Atención en Sitio (item - 3)	Capa Red (item - 4)	Fecha inicio incidente (item - 5)	Fecha fin incidente (item - 6)	Resolución Categoría (item - 7)	Resumen (item - 8)	Resolución (item - 9)	SLA Solución (item - 10)

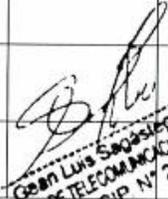

 Victor Adán Rojas Pérez
 ING. ELECTRONICO
 R. CIP. N° 172374

FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS, APLICA PARA MC

Datos Generales

EMPRESA PROPIETARIA: Telefónica del Perú S.A.A	EMPRESA CONCESIONARIA: Indra del Perú S.A.C
LUGAR: Trujillo, La Libertad	FECHA: 07/07/2021
RESPONSABLE: Sagastegui Jacobo, Gean Luis	CARGO: Supervisor en Indra Perú S.A.C, Proyecto FLM Telefónica, Lima -Perú

Nombre Sitio (ítem - 1)	Tipo Local (ítem - 2)	Atención en Sitio (ítem - 3)	Capa Red (ítem - 4)	Fecha inicio incidente (ítem - 5)	Fecha fin incidente (ítem - 6)	Resolución Categoría (ítem - 7)	Resumen (ítem - 8)	Resolución (ítem - 9)	SLA Solución (ítem - 10)


 Gean Luis Sagastegui Jacobo
 ING DE TELECOMUNICACIONES Y REDES
 R. CIP. N° 231595

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEMS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)	
	Pertinencia (1)		Relevancia (2)		Cantidad (3)			
	Sí	No	Sí	No	Sí	No		
1	x		x		x			
2	x		x		x			
3	x		x		x			
4	x		x		x			
5	x		x		x			
6	x		x		x			
7	x		x		x			
8	x		x		x			
9	x		x		x			
10	x		x		x			
Aspectos generales					Sí	No		
Los instrumentos contienen instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de los parámetros.					x			
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación					x			
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems					x			
VALIDEZ								
APLICABLE					x	NO APLICABLE		

(1) Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.

(2) Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables

(3) No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y Nombres: Rojas Pérez, Víctor

Profesión: Ing. Electrónico

Cargo Actual: Supervisor en Mg Trading S.A.C, Lima -Perú

Especialidad: Telecomunicaciones y Redes.


 Víctor Adán Rojas Pérez
 ING. ELECTRONICO
 R. CIP. N° 172374

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO EL INSTRUMENTO

ÍTEMS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia (1)		Relevancia (2)		Cantidad (3)		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	x		x		x		
2	x		x		x		
3	x		x		x		
4	x		x		x		
5	x		x		x		
6	x		x		x		
7	x		x		x		
8	x		x		x		
9	x		x		x		
10	x		x		x		
Aspectos generales					Si	No	
Los instrumentos contienen instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de los parámetros.					x		
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación					x		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems					x		
VALIDEZ							
APLICABLE					x	NO APLICABLE	

(1) Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.

(2) Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables

(3) No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y Nombres: Sagastegui Jacobo, Gean Luis

Profesión: Ing. Electrónico

Cargo Actual: Supervisor en Indra Perú S.A.C, Proyecto FLM Telefónica, Lima -Perú

Especialidad: Telecomunicaciones y Redes.


 Gean Luis Sagastegui Jacobo
 ING DE TELECOMUNICACIONES Y REDES
 C. O. P. N° 231595

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO EL INSTRUMENTO

ÍTEMS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)	
	Pertinencia (1)		Relevancia (2)		Cantidad (3)			
	Si	No	Si	No	Si	No		
1	x		x		x			
2	x		x		x			
3	x		x		x			
4	x		x		x			
5	x		x		x			
6	x		x		x			
7	x		x		x			
8	x		x		x			
9	x		x		x			
10	x		x		x			
Aspectos generales					Si	No		
Los instrumentos contienen instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de los parámetros.					x			
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación					x			
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems					x			
VALIDEZ								
APLICABLE					x	NO APLICABLE		

(1) Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.

(2) Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables

(3) No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y Nombres: Rodriguez Leyva, Edwin

Profesión: Ing. Industrial

Cargo Actual: Supervisor en Indra Perú S.A.C, Proyecto FLM Telefónica, Trujillo, San Martin -Perú

Especialidad: Telecomunicaciones y Redes.


EDWIN RODRIGUEZ LEYVA
 Ingeniero Industrial
 CIP N° 254510

Anexo 04. Fallas de en los sistemas de los locales críticos

Tabla fallas típicas, causas y soluciones recomendadas.

- **Capa de Red Radio sistemas 2g/3g/4g**

Capa de Red: Radio		
Fallas	Causa/ Origen	Solución
Bandabase	Alta temperatura, humedad, Falta de MP, cortes de energía intermitentes, actualización de software incompleta	Realizar MP, Actualización de software y/o reemplazo de equipo
Transceiver (sfp)	Alta temperatura, humedad, Falta de MP	Realizar MP y/o reemplazo de equipo
Fibra óptica	Actividades externas en FO, abolladura, Falta de MP	Realizar MP, corregir recorrido de FO y/o reemplazo de componente
Unidad de Radio Remoto (Rrus)	Alta temperatura, humedad, deficiencia de instalación	Realizar MP y/o reemplazo de equipo
Jumper de rf	Humedad, corrosión, abolladura, deficiencia de instalación	Realizar MP y/o reemplazo de equipo
Antena	Humedad, Abolladura	Reemplazo de equipo

- **Capa de Red Transporte**

Capa de Red: Transporte		
Transporte de datos de vuelta backhaul		
Fallas	Causa/ Origen	Solución
Router	Alta temperatura, humedad, Falta de MP, ausencia y/o variación de tensión	Realizar MP, Suministro de energía estable, Configuración y/o actualización de software, reemplazo de equipos
Transceiver sfp	Alta temperatura, humedad, falta de MP	Realizar MP y/o Cambio de componente
Fibra óptica	Actividades externas en FO, abolladura, Falta de MP	Realizar MP, corregir recorrido de FO y/o reemplazo de componente
Transporte de datos de punto a punto		
Idu	Alta temperatura, humedad, Falta de MP, ausencia y/o variación de tensión	Realizar MP, Suministro de anergia estable, Configuración y/o actualización de software, reemplazo de equipos
Conductor if	Humedad, abolladuras, corrosión de conectores, DEFICIENCIA DE INSTALACION	Rehacer conectores Y/O reemplazo de conductor if
Odu	Descargas atmosféricas, corrosión de conectores	Reemplazo de equipo
Patch cord ethernet	Deficiencia de fabricación, corrosión de conectores	Rehacer conectores Y/o reemplazo Patch cord ethernet

- **Capa de Red Energía (AC/DC)**

capa de red: energía		
sistema de climatización (aire acondicionado)		
falla	causa /origen	solución
compresor	Fuga de gas o aceite, circuito de refrigeración obstruido por partículas, falta de protectores de fase	Realizar mp, limpieza de circuito de refrigeración y/o cambio de equipo
condensador	Fuga de gas, motor averiado, serpentín con exceso de corrosión, falta de mp	Reparación de circuito de refrigeración, realizar mp, reemplazo de componentes.
evaporador	Inoperatividad de sensores, tarjetas o termostato averiado, filtro obstruido, drenajes obstruidos, avería de motor ventilador, falta de mp	Cambio de sensores, realizar mp, suministro de energía estable para termostato.
filtro deshidratador	Exceso de humedad y filtro saturado, exceso de partículas en filtro, corrosión por tiempo de vida útil, falta de mp	Limpieza de ducto, hacer vacío y cambio de filtro
válvula de expansión	Partículas extrañas en circuito de refrigeración, exceso de humedad y ausencia de refrigerante en circuito de refrigeración	Limpieza de circuito de refrigeración, reemplazo de filtro y válvula
rectificadores		
fallas	causa/ origen	solución
rectificadores	alta temperatura, humedad, falta de mp	realizar mp y/o cambio de equipo
breaker	alta temperatura, humedad, ajuste no adecuado, sobre dimensionamiento de componente	ajuste y dimensionamiento adecuado y/o cambio de componente
conductores	alta temperatura, humedad, sobre dimensionamiento	reemplazo de conductor
unidad central	alta temperatura, humedad, cortes o variación de tensión, falta de mp, manipulación inadecuada de configuración de uc	realizar mp, suministro de energía estable, configuración de uc
sistema de climatización	falta de mp, falta de lubricación de componentes	realizar mp, lubricar componentes, reemplazo de componentes
bancos de baterías		
fallas	causa/ origen	solución
celdas	alta temperatura, ajuste no adecuado de bornes, tiempo de vida útil	reemplazo de celda
Puentes	humedad, ajuste no adecuado de bornes, falta de mp	reemplazo de componente

fuentes de poder interrumpible: ups		
fallas	causa/ origen	solución
rectificador	alta temperatura, humedad, exceso de carga	realizar mp y/o cambio de equipo
inversor	alta temperatura, humedad, exceso de carga	realizar mp y/o cambio de equipo
banco de baterías	alta temperatura, ajuste no adecuado de bornes, tiempo de vida útil	reemplazo de celda
componentes	alta temperatura, humedad, polución	realizar mp y/o reemplazo de componentes
unidad central	alta temperatura, humedad, falta de mp	realizar mp, configuración de paramétricen uc
grupo electrógeno		
fallas	causa/ origen	solución
motor	combustible sucio, refrigerante de mala calidad, sensores inoperativos, bomba de agua inoperativa, bajo nivel de aceite, falta de mp	reemplazar refrigerante, aceite y componentes, realizar mp
generador	avr inoperativo, bajo aislamiento en bobinas, diodos inoperativos, falta de mp	reemplazo de componentes, barnizado de bobinas, realizar mp
chasis	humedad, corrosión, falta de mp	realizar mp y pintado de chasis
gabinete de mando	humedad, corrosión, ajuste no adecuado de componentes, falta de mp	realizar mp y ajuste de componentes
tableros eléctricos		
fallas	causa/ origen	solución
breaker	recalentamiento, ajuste de terminales no adecuados, sobre dimensionamiento de breaker	realizar mp, reemplazar componentes
barras	recalentamiento, ajuste de terminales no adecuados	realizar mp, reemplazar componentes
conductores	recalentamiento, ajuste de terminales no adecuados, sobre dimensionamiento de conductores	realizar mp, reemplazar conductores
spd ac	sobre tensiones corriente alterna	reemplazar conductores
subestación y línea de media tensión eléctrica		
fallas	causa/ origen	solución
seccionador de potencia	corrosión, humedad, polución, falta de mp	realizar mp y/o reemplazo de componentes
transformador de potencia	falta de aceite dieléctrico, corrosión, bajo aislamiento, polución, humedad, falta de mp	realizar mp, agregar aceite dieléctrico y/o reemplazo de componentes
transformador mixto	falta de aceite dieléctrico, corrosión, bajo aislamiento, polución, humedad, falta de mp	realizar mp, agregar aceite dieléctrico y/o reemplazo de componentes
conductores	falta de mp, humedad, corrosión, tiempo de vida útil	realizar mp y/o reemplazo de componentes

postes e infraestructura	falta de mp, humedad, corrosión, tiempo de vida útil	realizar mp y/o reemplazo de componentes
línea mt	falta de mp, humedad, corrosión, tiempo de vida útil	realizar mp y/o reemplazo de componentes
aisladores	falta de mp, humedad, corrosión, tiempo de vida útil	realizar mp y/o reemplazo de componentes