

Propuesta de ajuste al plan de mantenimiento para autobuses eléctricos
Caso de estudio: modelo BYD B13S01 del sistema integrado de transporte público de la
ciudad de Bogotá.

Ing. Julián A. Parra, Ing. Zamir A. Torres. y Ing. Sergio J. Porras

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI,

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

2022

Propuesta de ajuste al plan de mantenimiento para autobuses eléctricos
Caso de estudio: modelo BYD B13S01 del sistema integrado de transporte público de la
ciudad de Bogotá.

Ing. Julián A. Parra, Ing. Zamir A. Torres. y Ing. Sergio J. Porras

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI,
Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Msc. Miguel A. Urián Tinoco

2022

Tabla de Contenido

1. Título de la Investigación	13
2. Problema de Investigación.....	13
2.1 Descripción del Problema.....	13
2.2 Formulación del Problema	14
3. Objetivos de la Investigación	14
3.1 Objetivo General	14
3.2 Objetivos Específicos.....	14
4. Justificación y Delimitación	15
4.1 Justificación	15
4.2 Delimitación	16
4.3 Limitaciones.....	16
5. Marcos de referencia	17
5.1 Estado del arte	17
5.1.1 Estado del arte nacional	17
5.1.1.1 Gestión de activos enfocado hacia la confiabilidad o Determinación del TPEF (Tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas).....	17
5.1.1.2 Diseño del plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de las 5 m para un sistema de transporte masivo de pasajeros.....	18
5.1.1.3 Propuesta para la Aplicación de PMO al Plan de Mantenimiento de la Turbina de gas de la Empresa Air Liquide Colombia (ALCO)	18
5.1.1.4 Propuesta inicial de un modelo de gestión de mantenimiento de equipo biomédico para una IPS en Colombia.....	19
5.1.1.5 Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina.....	19
5.1.1.6 Propuesta de Mejora en plan de Mantenimiento de la Máquina Granalladora Bajo Esfuerzo en la Empresa IMAL S.A.	20
5.1.1.7 Propuesta De Un Modelo De Mantenimiento Mediante Herramientas De La Metodología RCM Para Impresora Flexo Folder Gluer.	20
5.1.1.8 Propuesta de un plan de mantenimiento para las máquinas probadoras de inyectores de la empresa Diésel de Occidente.....	21

5.1.1.9	Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para las instalaciones de producción de la estación Cohembi en el activo suroriente.	21
5.1.2	Estado del arte internacional	22
5.1.2.1	Mejora del Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Disponibilidad de los Buses de la Empresa de Transporte Allin Group Javier Prado S.A. Concesionaria de los Corredores Complementarios de la Municipalidad de Lima.	22
5.1.2.2	Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para reducir las fallas de los buses golden dragon de la UNALM, en la ciudad de Lima 2017.	22
5.1.2.3	Desarrollo de RCM en un equipo crítico planta CAP acero.	23
5.1.2.4	Propuesta de gestión de mantenimiento RCM en plantas de energía a gas natural.	23
5.1.2.5	Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos.	24
5.1.2.6	Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Mantoverde.....	24
5.1.2.7	Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW en GYM S.A.....	25
5.2	Marco Teórico	25
5.2.1	Mantenimiento	25
5.2.2	Objetivos del Mantenimiento	27
5.2.3	Tipos de Mantenimiento	28
5.2.3.1	Mantenimiento Correctivo	28
5.2.3.2	Mantenimiento Preventivo	29
5.2.3.3	Mantenimiento Predictivo	30
5.2.3.4	Mantenimiento Cero Horas (Overhaul).....	31
5.2.3.5	Mantenimiento Conductivo (En Uso)	32
5.2.4	Metodologías de Mantenimiento	32
5.2.4.1	TPM (Total Productive Maintenance).....	32
5.2.4.2	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (<i>RCM</i>).....	35
5.2.4.3	Análisis de Modo y Efecto de Falla (<i>AMEF</i>)	36
5.3	Marco Legal	40
6.	Marco Metodológico	42
6.1	Recolección de la Información	42
6.1.1	Tipo de investigación	42

6.1.2	Fuentes de obtención de la información.....	42
6.1.2.1	Primarias.....	42
6.1.2.2	Secundarias.....	43
6.1.3	Herramientas.....	43
6.1.4	Metodología.....	43
6.1.4.1	Desarrollo de objetivo específico 1.....	43
6.1.4.2	Desarrollo de objetivo específico 2.....	45
6.1.4.3	Desarrollo de objetivo específico 3.....	45
6.1.5	Recopilación de la información.....	45
6.2	Análisis de la información.....	65
6.3	Propuesta de solución.....	67
7.	Resultados.....	72
7.1	Resultados alcanzados.....	72
7.2	Resultados esperados.....	72
8.	Análisis financiero.....	73
9.	Conclusiones y recomendaciones.....	75
9.1	Conclusiones.....	75
9.2	Recomendaciones.....	76
10.	Bibliografía.....	76

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Mapa Del Sitp</i>	16
Figura 2 <i>Evolución Histórica Del Mantenimiento</i>	26
Figura 3 <i>Tendencias En La Gestión Del Mantenimiento</i>	27
Figura 4 <i>Implementación Del Mantenimiento Preventivo</i>	30
Figura 5 <i>Técnicas Predictivas</i>	31
Figura 6 <i>Pilares Del Tpm</i>	34
Figura 7 <i>Metodología De Las 5s</i>	35
Figura 8 <i>Siete Preguntas Del Rcm</i>	36
Figura 9 <i>Formato Amef</i>	40
Figura 10 <i>Rutas Alimentadoras Zona Fontibón</i>	47
Figura 11 <i>Rutas Alimentadoras Zona Suba</i>	48
Figura 12 <i>Rutas Alimentadoras Zona Suba</i>	49
Figura 13 <i>Oferta Y Demanda Zona Usme</i>	50
Figura 14 <i>Oferta Y Demanda Zona Suba</i>	51
Figura 15 <i>Oferta Y Demanda Zona Fontibón</i>	51
Figura 16 <i>Vandalismo Zona Usme</i>	54
Figura 17 <i>Vandalismo Zona Suba</i>	55
Figura 18 <i>Vandalismo Zona Fontibón</i>	55
Figura 19 <i>Eventos De Falla Flota Eléctrica</i>	56
Figura 20 <i>Eventos De Falla Por Sistema Flota Eléctrica</i>	57
Figura 21 <i>Eventos De Falla Zona Fontibón</i>	58
Figura 22 <i>Mapa De Calor Zona Fontibón</i>	58
Figura 23 <i>Eventos De Falla Zona Suba</i>	59
Figura 24 <i>Mapa De Calor Zona Suba</i>	59
Figura 25 <i>Eventos De Falla Zona Usme</i>	60
Figura 26 <i>Mapa De Calor Zona Usme</i>	60
Figura 27 <i>Dpv Zona Fontibón</i>	61
Figura 28 <i>Dpv Zona Usme</i>	62
Figura 29 <i>Dpv Zona Suba</i>	62
Figura 30 <i>Análisis De Modo Y Efecto De Falla</i>	63

Lista de Tablas

tabla 1 <i>Ventajas Y Desventajas Del Mantenimiento Correctivo</i>	29
Tabla 2 <i>Pilares Del Tpm</i>	34
Tabla 3 <i>Criterios De Severidad</i>	37
Tabla 4 <i>Criterios De Ocurrencia</i>	38
Tabla 5 <i>Criterios De Detección</i>	38
Tabla 6 <i>Marco Legal Para La Gestión Del Mantenimiento</i>	40
Tabla 7 <i>Rutas Alimentadoras Zona Fontibón</i>	47
Tabla 8 <i>Rutas Alimentadoras Zona Suba</i>	48

Tabla 9 <i>Rutas Alimentadoras Zona Usme</i>	49
Tabla 10 <i>Tiempo De Ciclo Rutas Zona Fontibón</i>	52
Tabla 11 <i>Tiempo De Ciclo Rutas Zona Suba</i>	52
Tabla 12 <i>Tiempo De Ciclo Rutas Zona Usme</i>	53
Tabla 13 <i>Número Prioritario De Riesgo</i>	65
Tabla 14 <i>Resultado Amef</i>	65
Tabla 15 <i>Listado De Convenciones</i>	67
Tabla 16 <i>Cantidad De Actividades Por Sistema</i>	68
Tabla 17 <i>Cantidad De Actividades Por Especialidad Y Componente</i>	68
Tabla 18 <i>Cantidad De Actividades Por Especialidad Nuevo Plan De Mantenimiento</i>	70
Tabla 19 <i>Cantidad Tiempo Por Kilometraje</i>	71
Tabla 20 <i>Cantidad Tiempo Por Especialidad</i>	71
Tabla 21 <i>Valores De Referencia Calculo Indicador Dpv</i>	73
Tabla 22 <i>Costos Varada En Vía</i>	74
Tabla 23 <i>Costos De Inversión</i>	74

Agradecimientos

Al Msc. Miguel Ángel Urián Tinoco, por su interés y acompañamiento en la orientación recibida durante el desarrollo del proyecto y las clases impartidas durante la especialización.

A la empresa Transmilenio S.A., por su colaboración con el suministro y acceso de la información, así mismo al personal de vehículos de la Dirección Técnica de BRT por todo el apoyo durante la ejecución de este proyecto.

Introducción

La presente propuesta, se refiere al ajuste del plan de mantenimiento inicial definido por el fabricante BYD para los autobuses de referencia B13S01, autobuses tipo padrón de 80 pasajeros de última generación Eléctricos desarrollados en China y traídos a la ciudad de Bogotá como proyecto de innovación y cambio en las normatividades ambientales.

El sistema Transmilenio, por medio de los nuevos contratos de concesión de la Fase V y las adiciones a los contratos de la Fase III, optó por hacer una incorporación masiva de 1.485 buses en la ciudad de Bogotá, con tecnologías limpias y amigables para el medio ambiente, con motores eléctricos con cero emisiones de contaminación, con esto, la ciudad de Bogotá se convierte a nivel continental en la ciudad con más flota eléctrica contratada en la actualidad, seguido por grandes ciudades como Santiago de Chile (973 autobuses), Ciudad de México (273 autobuses), Buenos Aires (88 autobuses), Montevideo (30 autobuses) y Guayaquil (20 autobuses), ya a nivel nacional, las únicas ciudades que cuentan con flota eléctrica en operación son Medellín (30 autobuses) y Cali (9 autobuses).

Con esta motivación, nuevamente Bogotá se convierte en un referente en movilidad sostenible, debido a su contexto operacional en el cual los factores como la topografía, altura de la ciudad, pendientes críticas, infraestructura, nivel de ocupación, entre otros, son de los principales retos a superar y en esta oportunidad, trabajando mancomunadamente con Enel Codensa, quienes son los encargados de dar el suministro principal (Electricidad) para la operación favorable en la ciudad.

De esta manera, nace la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento ajustado al contexto operacional de la ciudad de Bogotá, específicamente para las zonas en las que van a operar los autobuses, y dado que, esta tecnología de buses eléctricos es la primera en entrar en

operación en la ciudad, requiere de un plan de mantenimiento robusto, basado en las experiencias de la operación, puntos críticos de acceso, pendientes extremas y cultura ciudadana, además se debe tener en cuenta comportamientos inusuales que sólo ocurren en la ciudad de Bogotá, como el sobre cupo, vandalismo, evasión, paseadores y demás, con el único objetivo de conservar el equipo en las mejores condiciones posibles de operación durante todo el ciclo de vida del activo.

Esta propuesta académica va encaminada principalmente a realizar el ajuste al plan de mantenimiento para autobuses eléctricos BYD B13S01 del componente de alimentación del Sistema Transmilenio, los cuales pertenecen a las Unidades Funcionales (x1, x2, x3) de las zonas Fontibón, Suba y Usme, integradas en el sistema a través de los portales de operación troncal.

Para ello, es importante evaluar metodologías de gestión de mantenimiento para flotas, vistas durante el proceso de formación como TPM, RCM, entre otras, y determinar si algunas de las herramientas se puedan aplicar en la propuesta.

Resumen

El sistema de transporte público de la ciudad de Bogotá actualmente está diseñado bajo unos modelos de BRT (Bus Rapid Transit) complementado por rutas Alimentadoras pertenecientes al sistema Transmilenio., a su vez cuenta un sistema de Cable en la localidad de ciudad bolívar diseñada con el ánimo de optimizar tiempos de desplazamiento favoreciendo a la población, asimismo cuenta con un componente Zonal con rutas Complementarias y Especiales con validación a bordo, funcionando por toda la ciudad con la opción de realizar transbordos entre servicios y por último un sistema de SITP provisional operando por la ciudad cuya validación es en efectivo sin el beneficio de los transbordos entre rutas.

El sistema de transporte público en su conjunto comporta un alto grado de complejidad, por las diferentes tipologías y tecnologías que se tienen activas en operación, además de las condiciones de mantenimiento, tipos de operación, estado de las vías, sobre cupo, evasión, entre otros aspectos relacionados con la operación.

Actualmente, Bogotá cuenta con un tamaño de flota de 13.856 vehículos adscritos en la ciudad, y cerca de 8872 pertenecen a contratos con Transmilenio y SITP, de los cuales en nuestra propuesta académica nos enfocaremos en realizar un ajuste al plan de mantenimiento de los 321 autobuses eléctricos BYD de referencia B13S01 de los 1485 contratados para la ciudad, los cuales pertenecen exclusivamente a la operación del componente de Alimentación, partiendo desde el plan de mantenimiento inicial establecido por el fabricante BYD, evaluando metodologías de gestión de mantenimiento para flotas y realizando los ajustes pertinentes basados en las necesidades de la operación.

Palabras clave: plan de mantenimiento, autobuses eléctricos, modelo BYD B13S01, Sistema integrado de transporte público.

Abstract

The public transport system of the city of Bogotá is currently designed under BRT (Bus Rapid Transit) models complemented by Feeder routes belonging to the Transmilenio system., In turn, it has a Cable system in the town of Ciudad Bolívar Designed with the In the spirit of optimizing travel times favoring the population, it also has a Zonal component with Complementary and Special routes with validation on board, operating throughout the city with the option of transferring between services and finally a provisional SITP system operating by the city whose validation is in cash without the benefit of transfers between routes.

The public transport system involves a high degree of complexity, due to the diverse types and technologies that are active in operation, in addition to the maintenance conditions, types of operation, state of the roads, excess capacity, evasion, among other aspects related to the operation.

It currently has a fleet size of 13,856 vehicles assigned in the city, and about 8,872 belong to contracts with Transmilenio and SITP, of which in our academic proposal we will focus on making an adjustment to the maintenance plan of the 321 BYD electric buses reference B13S01 of the 1485 contracted for the city, which belong exclusively to the operation of the Food component, starting from the initial maintenance plan established by the manufacturer BYD, evaluating maintenance management methodologies for fleets and making the pertinent adjustments based on in the needs of the operation.

Keywords: maintenance plan, electric buses, BYD B13S01 model, Integrated Public Transportation System.

1. Título de la Investigación

Propuesta de ajuste al plan de mantenimiento para autobuses eléctricos. Caso de estudio: modelo BYD B13S01 del sistema integrado de transporte público de la ciudad de Bogotá

2. Problema de Investigación

2.1 Descripción del Problema

El sistema Transmilenio con modalidad (BRT), es muy sensible en la operación, debido a las cortas ventanas de tiempo en taller para mantenimiento, ya que su operación está establecida en jornadas hasta de 20 horas para los autobuses en un día hábil, dejando así el mantenimiento rutinario en tres alternativas, la primera que es la más común, realizar una rotación sistemática y secuencial de la flota, de acuerdo con el modelo de operación de flota programada, es decir que los buses que prestan el servicio en franjas de operación pico (entre 3:30 am - 9:00 am y 4:00pm - 12:30am) deben realizar el mantenimiento preventivo durante la hora valle (9:00 am y 4:00 pm), completando una rotación diaria mínima, teniendo en cuenta la flota vinculada, para realizar mantenimiento preventivo una vez al mes, y así lograr como mínimo realizar las rutinas programadas entre 5000 km y 6000 km que es el kilometraje en promedio realizado por cada bus en operación normal; la segunda alternativa es trasladar el mantenimiento preventivo regular en las noches y fines de semana, sin embargo, por el tamaño de la flota lo hace muy complejo, debido a que la infraestructura de los patios garajes no presenta tantas zonas de mantenimiento (cárcamos), además, la circulación al interior de cada patio es complicada, debido a la logística del alistamiento de la flota para la operación del día siguiente (lavado, tanqueo, desinfección e inspección en bahía), por este motivo dificulta realizar los procesos de mantenimiento; la tercer opción, es la que está aplicando los nuevos concesionarios de operación con flota eléctrica, debido a la vinculación de nuevas tecnologías, que hace necesario realizar un mantenimiento

exhaustivo, por el mismo grado de complejidad e inexperiencia con estas tecnologías de punta, acondicionando a las necesidades de la operación y adicionando que los tiempos de abastecimiento eléctrico son más prolongados, lo que no permite que los autobuses operen hasta las 22 horas como los de operación diésel o gas, por lo cual hace necesario elevar el porcentaje de flota de reserva para poder tener ventanas de tiempo más extensas para la carga y mantenimiento de los buses, y de esta manera dar cumplimiento efectivo al Sistema Transmilenio, quien realiza mediciones a través de los indicadores establecidos por los niveles de servicio.

2.2 Formulación del Problema

¿Cuál metodología de mantenimiento se debe implementar para ajustar el plan de mantenimiento para la flota de autobuses eléctricos BYD de referencia B13S01 pertenecientes al componente de Alimentación de la ciudad de Bogotá?

3. Objetivos de la Investigación

3.1 Objetivo General

Proponer un ajuste al plan de mantenimiento para autobuses eléctricos BYD de referencia B13S01 del sistema integrado de transporte público de la ciudad de Bogotá.

3.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el contexto operacional de las zonas de influencia para la operación de los buses eléctricos BYD de referencia B13S01 del componente de Alimentación.
2. Identificar las metodologías adecuadas para establecer las oportunidades.
3. Establecer las nuevas rutinas necesarias para la ejecución del plan mantenimiento, junto con sus actividades a desarrollar.

4. Justificación y Delimitación

4.1 Justificación

Ante la entrada en operación de estos autobuses con tecnología eléctrica de última generación, se requiere de un plan de mantenimiento ajustado a las necesidades de la operación, analizando de forma detallada cada una de las zonas de influencia, teniendo en cuenta el entorno, radios de giro y topografía, etc. Asimismo, se debe tener en cuenta las nuevas normativas establecidas por Transmilenio S.A. y la Alcaldía de Bogotá, entre las cuales se hace obligatorio que estos autobuses estén equipados con sensores de peso, alarmas audibles, audio-descriptores, sistemas de accesibilidad, cámaras de video, entre otros.

Con la propuesta académica, se pretende asegurar la disponibilidad de los autobuses para los habitantes de las localidades donde se encuentran operando, desarrollando un plan de mantenimiento enfocado a subsanar aquellos vacíos que no se tuvieron en cuenta de fábrica, incluyendo algunas actividades relacionadas a mantener en óptimo estado de funcionamiento aquellos componentes que no fueron contemplados en el plan de mantenimiento inicial o que puedan representar un deterioro acelerado dada la zona donde operan, enfocado directamente a las necesidades de la flota e incluir todas las actividades relevantes referentes al mantenimiento de estos nuevos dispositivos.

4.2 Delimitación

Este trabajo se realizará en el transcurso de los años 2021 y 2022, para los autobuses eléctricos vinculados en el componente alimentación del sistema Transmilenio.

La propuesta académica se desarrollará con el análisis de las zonas de operación asignadas para la flota eléctrica en el componente de alimentación del sistema Transmilenio.

Figura 1

Mapa del SITP



Nota. Zonas de operación del SITP en la ciudad de Bogotá. Tomado de (Transmilenio, 2021).

4.3 Limitaciones

- *Limitaciones económicas*

Las limitaciones económicas, están asociadas al recurso propio de los proponentes ya que con este ejercicio se busca es realizar una propuesta del ajuste del plan de mantenimiento empleado hacia los buses, dependerá del dueño de los vehículos si ejecuta las recomendaciones y genera los recursos económicos para realizar dichas acciones.

- *Limitaciones legales*

Se debe tener en cuenta que este es un ejercicio netamente académico ya que lo que se busca es cumplir uno de los requisitos para optar por el título de especialista en gerencia de mantenimiento.

- *Limitaciones de tiempo*

En cuanto a la limitación de tiempo, se debe considerar que los autobuses operan en su mayoría todos los días, por lo que es indispensable plantear los ajustes necesarios al plan de mantenimiento y lograr cubrir todas las actividades faltantes.

5. Marcos de referencia

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado del arte nacional

5.1.1.1 Gestión de activos enfocado hacia la confiabilidad o Determinación del TPEF (Tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas)

En el año 2016 los ingenieros Cristian Cerquera y Julio Barrantes de la Universidad ECCI en Bogotá en su trabajo de grado “Gestión de activos enfocado hacia la confiabilidad o Determinación del TPEF (Tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas)” en la empresa Concescol S.A en la cual plantean determinar la confiabilidad en los equipos de la compañía con fin de conocer en qué condición de operación se encuentran los activos y así mismo determinar cuáles son los sistemas que más afectan la disponibilidad de la flota (Cerquera Valderrama & Barrantes Malagón, 2016). El estudio es realizado mediante el historial de fallas, hojas de vida y listas de chequeo de tal manera realizar una eficiente recolección de datos y su respectivo análisis.

5.1.1.2 Diseño del plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de las 5 m para un sistema de transporte masivo de pasajeros

En el año 2015 en el trabajo de grado de especialización en gerencia de mantenimiento de la Universidad ECCI, “*Diseño del plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de las 5 m para un sistema de transporte masivo de pasajeros*”, los ingenieros Albert Calderón y Edward Lara, plantean la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento para los buses de un sistema de transporte masivo, ya que se pudo evidenciar que en la actualidad las empresas de transporte masivo presentan fallas en los buses y son atribuibles a la falta de rutinas de mantenimiento (CALDERÓN & LARA, 2015), los autores concluyen que mediante la implementación de las 5M en el programa de mantenimiento de los buses se puede tener un mejor control de las actividades realizadas a los buses y por lo tanto un mayor seguimiento que conlleva a la mejora continua del proceso.

5.1.1.3 Propuesta para la Aplicación de PMO al Plan de Mantenimiento de la Turbina de gas de la Empresa Air Liquide Colombia (ALCO)

En el año 2020, en la Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales, los Ingenieros Saulo Yamith Meza Manco y Fabián Galarza Pira, con su trabajo de grado “*Propuesta para la Aplicación de PMO al Plan de Mantenimiento de la Turbina de gas de la Empresa Air Liquide Colombia (ALCO)*”, hablan acerca del mantenimiento en una turbina de gas y la aplicación de la metodología PMO al plan de mantenimiento, entre las conclusiones se pudieron determinar varias opciones para poder optimizar los costos y el plan de mantenimiento de la turbina, entre los cuales se encontraron, la contratación outsourcing, realización de pedidos únicos con el fin de ahorrar tiempo, dinero y espacio, opciones a tener en cuenta a la hora de ajustar el plan de mantenimiento de los buses eléctricos.

5.1.1.4 Propuesta inicial de un modelo de gestión de mantenimiento de equipo biomédico para una IPS en Colombia

En el año 2016 en la Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales, el estudiante George William Torres con su trabajo de grado “*Propuesta inicial de un modelo de gestión de mantenimiento de equipo biomédico para una ips en Colombia*”, como conclusión determino que se hace necesario la gestión de los equipos desde la adquisición hasta la disposición final, teniendo en cuenta los recursos humanos, técnicos, tecnológicos ,entre otros para la realización de los mantenimientos durante la vida útil de estos equipos biomédicos, este trabajo es un claro ejemplo de la gestión de los activos y de su importancia para el mantenimiento de los equipos a lo largo de su ciclo de vida.

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

En el año 2021, en la Universidad ECCI, los Ingenieros Yerson Álvarez Romero y Sergio Hurtado Avella, con su trabajo de grado “*Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina*” la investigación se basó en el análisis de criticidad y el modo de falla y como novedad no se encontró historial de falla de la planta eléctrica, este historial es de vital importancia a la hora de la realización del plan de mantenimiento, adicionalmente es de vital importancia la taxonomía de los activos para determinar los modos de falla, efectos y consecuencias en los diferentes componentes de los equipos.

5.1.1.6 Propuesta de Mejora en plan de Mantenimiento de la Máquina Granalladora Bajo Esfuerzo en la Empresa IMAL S.A.

En el año 2020, en la Universidad ECCI, los Ingenieros Carolina Esther Valle Barraza, Daniel Arturo Espitia Rodríguez y Luis David Daza Hernández, con su trabajo de grado *“Propuesta de Mejora en plan de Mantenimiento de la Máquina Granalladora Bajo Esfuerzo en la Empresa IMAL S.A.”*, en donde los autores proponen mejorar el plan de mantenimiento mediante la utilización de herramientas de gestión de mantenimiento, para lograr mejorar la disponibilidad de la maquina así como disminuir los riesgos en operación, después del trabajo realizado se puede resaltar la taxonomía de los componentes aplicada a la granalladora bajo esfuerzo y el análisis de criticidad realizado a la misma, ya que puede ser aplicable al mantenimiento de los buses eléctricos objeto de este trabajo.

5.1.1.7 Propuesta De Un Modelo De Mantenimiento Mediante Herramientas De La Metodología RCM Para Impresora Flexo Folder Gluer.

En el año 2020, en la Universidad ECCI, el Ingeniero Oscar Alejandro Martínez Rodríguez, con su trabajo de grado *“Propuesta De Un Modelo De Mantenimiento Mediante Herramientas De La Metodología RCM Para Impresora Flexo Folder Gluer.”*, La propuesta de grado trata sobre la propuesta de un plan de mantenimiento a la impresora Flexo Folder Gluer, la cual es el activo de mayor impacto dentro de la línea de producción, por esta razón es de vital importancia asegurar la disponibilidad y su correcto funcionamiento, el autor realiza un contexto operacional en su trabajo, este contexto es importante para el desarrollo de nuestra propuesta, ya que el plan de mantenimiento debe tener en cuenta los distintos factores involucrados en la zona donde operan los buses eléctricos (estado de las vías, altura de andenes, desniveles, entre otros).

5.1.1.8 Propuesta de un plan de mantenimiento para las máquinas probadoras de inyectores de la empresa Diésel de Occidente.

En el año 2016, en la Universidad ECCI, los Ingenieros David Fernando Ortiz Ayala y Mauricio Leonardo Fonseca Guerrero, con su trabajo de grado “*Propuesta de un plan de mantenimiento para las máquinas probadoras de inyectores de la empresa Diésel de Occidente.*” Los autores plantean un plan de mantenimiento a las maquinas que realizan los ensayos a los inyectores de combustible de diferentes tipos de motores, en el trabajo se pudo evidenciar la recurrencia de fallas en cada una de las maquinas, así como el componente afectado y su posterior reparación. Por otra parte, se pudo concluir que estas máquinas no requieren de un mantenimiento especializado, por lo que se pueden realizar capacitaciones al personal técnico de la compañía Diesel de occidente, sobre el correcto uso, cuidados y mantenimientos requeridos por las maquinas probadoras de inyectores.

5.1.1.9 Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para las instalaciones de producción de la estación Cohembi en el activo suroriente.

En el año 2014, en la Universidad Industrial de Santander, los Ingenieros René Cerón Chacón y Juan Diego Rojas Mora, con su trabajo de grado “*Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para las instalaciones de producción de la estación Cohembi en el activo suroriente.*”, se plantea la necesidad de identificar los modos de fallo de los equipos críticos de la planta Cohembi, identificar las consecuencias de las fallas y los efectos de estas en el proceso de producción, en donde los autores realizan la caracterización de los activos críticos de la empresa y proceden a la jerarquización y el análisis de criticidad, para así determinar la necesidad de mantenimiento de cada uno de ellos y evaluar su posible falla y los efectos de esta.

5.1.2 Estado del arte internacional

5.1.2.1 Mejora del Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Disponibilidad de los Buses de la Empresa de Transporte Allin Group Javier Prado S.A. Concesionaria de los Corredores Complementarios de la Municipalidad de Lima.

En el año 2018, en la Universidad Tecnológica del Perú, el estudiante Marco Antonio Espinoza Tejada, con su trabajo de grado *“Mejora del Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Disponibilidad de los Buses de la Empresa de Transporte Allin Group Javier Prado S.A. Concesionaria de los Corredores Complementarios de la Municipalidad de Lima.”* En la investigación el autor se propone analizar las fallas presentadas en la flota de buses de la empresa Allin Group Javier Prado por medio de herramientas de análisis como el diagrama causa-efecto o diagrama de Ishikawa, análisis DOFA y el diagrama de Pareto, plantea una serie de pasos para mejorar el plan de mantenimiento teniendo en cuenta las fallas más recurrentes e inspecciones preoperacionales para detectar posibles fallas.

5.1.2.2 Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para reducir las fallas de los buses golden dragon de la UNALM, en la ciudad de Lima 2017.

En el año 2017, en la Universidad Tecnológica del Perú, el estudiante Raúl Antonio Gave Barja, con su trabajo de grado *“Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para reducir las fallas de los buses golden dragon de la UNALM, en la ciudad de Lima 2017.”* El autor propone un plan de mantenimiento para los 8 buses que hacen parte de la Universidad Agraria de la Molina, en donde plantea una serie de actividades, basado en el análisis realizado de causa y efecto, los manuales de los fabricantes y la capacitación de los operadores para lograr aumentar la disponibilidad de los buses.

5.1.2.3 Desarrollo de RCM en un equipo crítico planta CAP acero.

En el año 2015, en la Universidad Andres Bello de Concepción, Chile, el estudiante Raúl Edgardo González Valenzuela, con su trabajo de grado “*Desarrollo de RCM en un equipo crítico planta CAP acero.*”, en donde el autor se centra en la guillotina de corte comercial como principal objeto de análisis para su estudio, debido a que encontró en el estudio realizado por medio del diagrama de Pareto, que este activo es el que representa mayor criticidad en la empresa CAP acero, de igual forma se encontró que representa el mayor tiempo de detención para reparaciones no programadas causadas por fallas imprevistas. El autor procede con la verificación de la hoja de vida e histórico de fallas y la identificación de cada uno de los sistemas y componentes de la máquina, para así determinar en qué medida se aplicará la metodología RCM en el activo. A medida de conclusión el autor plantea que se pudo mejorar la disponibilidad de la maquina asignando tareas rutinarias con una frecuencia definida con el fin de disminuir las fallas repentinas.

5.1.2.4 Propuesta de gestión de mantenimiento RCM en plantas de energía a gas natural.

En el año 2018, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, el estudiante Orlando Belli Hesse, con su trabajo de grado “*Propuesta de gestión de mantenimiento RCM en plantas de energía a gas natural.*”, un aporte importante para resaltar en este trabajo de grado, es la definición del contexto operacional dentro del análisis de RCM, el autor realizo una investigación del contexto operacional de la empresa para determinar los diferentes aspectos a tener en cuenta como, que maquinas operan, que potencia generan, su importancia en el proceso productivo de la empresa, todo esto para tenerlo en cuenta en la implementación del RCM,

adicional a esto la realización del AMEF es un factor importante a la hora de implementar RCM en los activos de cualquier empresa.

5.1.2.5 Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos.

En la Universidad Politécnica De Valencia, el ingeniero Marc Gardella González, con su tesis doctoral “*Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos.*”, concluye que para lograr la reducción de novedades y el costo elevado de mantenimiento, se centra en encontrar la combinación adecuada de tecnología y economía para que la interacción entre estos procesos de el máximo rendimiento, adicional también encontró que las bases de datos detalladas con las frecuencias de falla, repuestos y demás son de vital importancia a la hora de realizar un AMEF y posteriormente el RCM.

5.1.2.6 Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Mantoverde

En 2018, en la Universidad Técnica Federico Santa María de Valparaíso, Chile, el estudiante Cristóbal Andrés Zavala Medina, con su trabajo de grado “*Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Mantoverde*”, el autor utiliza varias herramientas como diagrama de bloques, arboles de falla, AMEF, con el objeto de entender el funcionamiento del equipo en análisis y las causas y modos de falla, adicionalmente busco información en el manual del fabricante, experiencias de los operarios y usuarios, una vez determinado el componente con mayor criticidad procedió con la implementación del RCM, para lograr mejorar la disponibilidad de la maquina y a su vez la productividad, como logro

importante el autor dejó un documento con eventos de falla y su potencial origen a modo de consulta posterior.

5.1.2.7 Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW en GYM S.A

En 2016, en la Universidad Nacional Del Centro Del Perú, el estudiante JeanPierre Fitzgerald Soto Baltazar, con su trabajo de grado “*Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW en GYM S.A*”, luego de la investigación realizada a la maquinaria objeto de la aplicación de RCM, el autor pudo concluir que la principal razón de las fallas era representada por el regulador del alternador, estas fallas se pudieron reducir al aplicar una serie de inspecciones diarias a los vehículos, con el fin de detectar fallas y prevenirlas en la operación de estos.

5.2 Marco Teórico

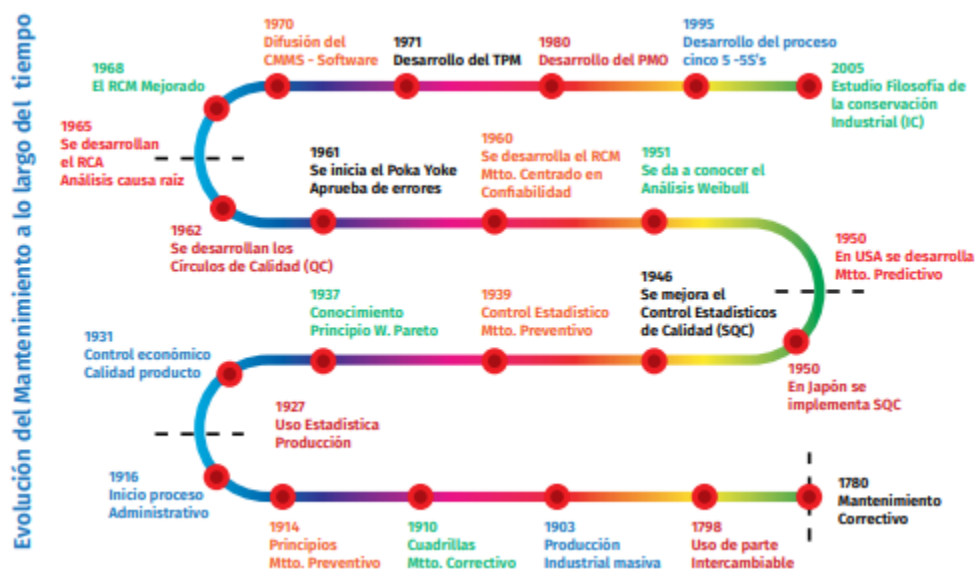
Como soporte para este trabajo de grado es necesario identificar y analizar algunos conceptos importantes y relacionados directamente con el objetivo de la propuesta, esto con el fin de mantener un lineamiento adecuado y una idea mucho más clara sobre la propuesta.

5.2.1 Mantenimiento

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento (Garrido, 2012). En cada rama de la ingeniería cambian los objetos que se han de cuidar para que funcionen correctamente, pero la función de mantener prima sobre la ingeniería en general (Gutierrez, 2009).

A través de la historia y con el avance de las nuevas tecnologías, metodologías y métodos de análisis, el mantenimiento ha tenido múltiples cambios los cuales ya no se enfocan en realizar solamente acciones correctivas si no que adicional se debe enfocar en mantener en buen estado óptimo y funcional el activo, para poder tener una mayor disponibilidad o vida útil.

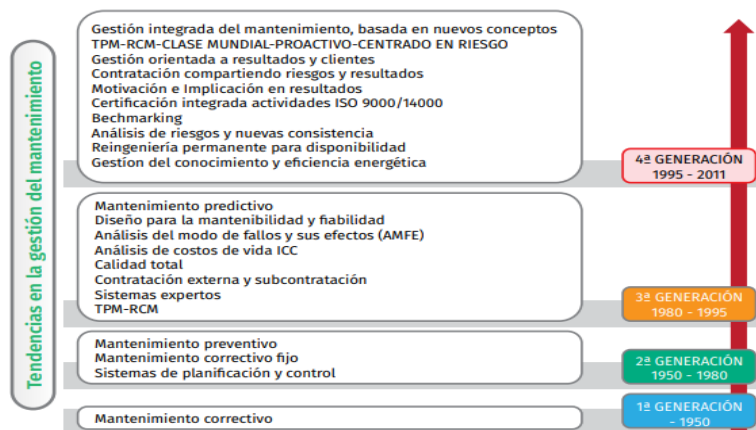
Figura 2
Evolución histórica del mantenimiento



Nota. La figura demuestra la evolución que ha tenido el mantenimiento a través de la historia Tomado de (Perez Rondon, 2021).

En las últimas décadas las normas y la presión competitiva han obligado a que el mantenimiento y la operación en las empresas se creen técnicas las cuales ayuden a mejorar la confiabilidad de estas, con el paso del tiempo y la implementación de nuevas tecnologías se han ido creando nuevas herramientas que permiten un mejor uso de los recursos del mantenimiento.

Figura 3
Tendencias en la gestión del mantenimiento



Nota. Implementación de tendencias del mantenimiento a través de la historia. Tomado de (Cárcel Carrasco, 2014).

5.2.2 Objetivos del Mantenimiento

Las tareas de mantenimiento se aplican sobre las instalaciones fijas y móviles, sobre equipos y maquinarias, sobre edificios industriales, comerciales o de servicios específicos, sobre las mejoras introducidas al terreno y sobre cualquier otro tipo de bien productivo. El objetivo final del mantenimiento se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, los fallos sobre los bienes
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir costes.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

En resumen, un mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallos (Abella, 2008).

5.2.3 Tipos de Mantenimiento

5.2.3.1 Mantenimiento Correctivo

Al mantenimiento correctivo también se le denomina mantenimiento reactivo, que, a nivel industrial en nuestro país, Latinoamérica y muchos países subdesarrollados es utilizado en un alto porcentaje (Perez Rondon, 2021).

Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de estos (Garcia, 2003).

Se pueden encontrar dos tipos de mantenimiento correctivo durante la gestión de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo no programado:** se activa, cuando aparece la falla en el equipo o máquina, generando la respectiva parada, de manera que se debe quitar lo averiado y reponer el componente, ya sea nuevo o usado (Perez Rondon, 2021).
- **Mantenimiento correctivo programado:** se realiza cuando se detecta que algún componente de una máquina está próximo a fallar, por lo tanto, se programa el mantenimiento para corregir esta posible falla (Perez Rondon, 2021).

Tabla 1
Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Prolongar la vida útil de los equipos por medio de reparaciones de componentes o piezas y corregir las fallas.	La avería o falla puede aparecer en el momento más inoportuno.
Es imposible determinar la falla.	Las averías o fallas no detectadas a tiempo pueden ocasionar daños más complejos e irreparables en los equipos.
No genera gastos fijos.	Alto inventario de repuestos.
Sin programar ni prever ninguna actividad.	La producción se vuelve impredecible y poco fiable.
Solo se gasta dinero, cuando está claro que se necesita hacerlo.	Se asumen inseguridades económicas, que pueden ser muy relevantes.
A menor plazo se ofrece un buen resultado económico.	Se disminuye la vida útil de los equipos. No hay un diagnóstico confiable de las causas que provocan las fallas, pues se desconoce por qué falló. Por ello, la falla se puede repetir una y otra vez.
Hay sistemas, máquinas y equipos en los que el mantenimiento preventivo no tiene ningún efecto, como los dispositivos electrónicos.	Hay tareas o actividades que siempre son rentables, como la limpieza, lubricación, revisión. Determinados equipos necesitan continuamente ajustes y seguimiento.
Estos son los argumentos para que muchas industrias se decanten por el mantenimiento correctivo.	Las averías o fallos y los comportamientos anormales de los componentes, equipos o máquinas no solo ponen en peligro la buena producción, sino la seguridad de las personas, el medio ambiente y los activos de las compañías. Apoyarse solamente en el mantenimiento correctivo –reparar cuando solo se presenta la avería–, se debe contar con técnicos muy especializados y cualificados, tener un alto inventario o stock de repuestos (lucro cesante) y también contar con medios técnicos muy variados.

Nota. La tabla nos muestra los pro y contras de aplicar solamente el mantenimiento correctivo en la gestión de mantenimiento. Tomado de (Perez Rondon, 2021).

5.2.3.2 Mantenimiento Preventivo

Serie de intervenciones que se le realizan a la máquina de forma periódica con el fin de optimizar su funcionamiento y evitar paros de la maquinaria, firma que el mantenimiento preventivo se aplica fundamentalmente para impedir, mediante la adecuada planificación y programación de las intervenciones periódicas que se harán, las fallas previstas en equipos,

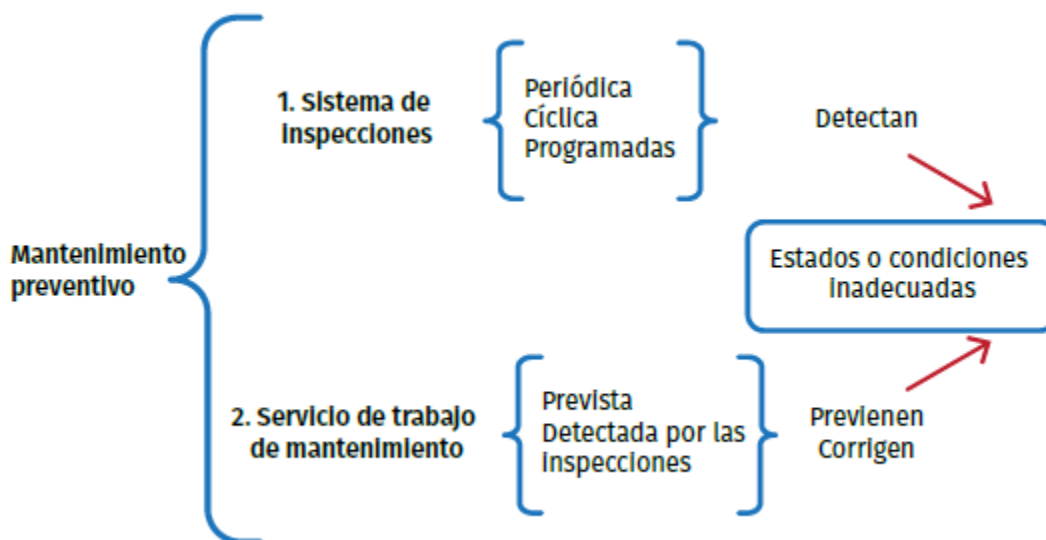
sistemas e instalaciones, que transforman ya sea el proceso productivo o el desempeño normal del elemento dañado (Sanchez Gomez, 2017).

Los objetivos más relevantes del mantenimiento preventivo pueden ser:

- Disponibilidad: puede definirse como la probabilidad de que una máquina sea capaz de trabajar cada vez que se le requiera (Perez Rondon, 2021).
- Confiabilidad: es la probabilidad de que la máquina esté operando en todo el momento que necesite el usuario (Perez Rondon, 2021).
- Incrementar: al máximo la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas o equipos llevando a cabo un mantenimiento planeado (Perez Rondon, 2021).

Figura 4

Implementación del mantenimiento preventivo



Nota. La figura muestra lo que se debe tener en cuenta para implementar un MP. Tomado de (Perez Rondon, 2021).

5.2.3.3 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta. A

través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas (Olarte C., Botero Arbelaez, & Cañon Zabaleta, 2010).

Figura 5
Técnicas predictivas



Nota. La figura muestra las técnicas más habituales en el mantenimiento predictivo. Tomado de (Perez Rondon, 2021).

5.2.3.4 Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo (García, 2003). Algunas de las ventajas del mantenimiento a cero horas son:

- Disminución de paradas imprevistas
- Mejor conservación de los equipos

- Reducción de horas extras personal de mantenimiento
- Mejoras en condiciones de seguridad
- Disminución de costo de mantenimiento correctivo

5.2.3.5 Mantenimiento Conductivo (En Uso)

Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios de este. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total) (Garcia, 2003).

5.2.4 Metodologías de Mantenimiento

La importancia de las técnicas de mantenimiento ha crecido constantemente en los últimos años, ya que el mundo empresarial es consciente de que para ser competitivos es necesario no sólo introducir mejoras e innovaciones en sus productos, servicios y procesos productivos, sino que también, la disponibilidad de los equipos ha de ser óptima y esto sólo se consigue mediante un mantenimiento adecuado (Cárcel Carrasco, 2014).

5.2.4.1 TPM (Total Productive Maintenance)

El Mantenimiento Preventivo Total se caracteriza hoy en día por ser una de las herramientas fundamentales que alcanzan eficiencia y competitividad en los procesos de producción, se tiene como propósito cumplir con estándares de calidad, mejorar tiempos de actividades o procesos y controlar los costos de producción. El TPM es utilizado en las empresas que cuentan con automatización en sus procesos donde por medio de un conjunto de actividades y mejoramiento de técnicas designadas buscan mejorar la capacidad de producción explotando al máximo los activos e instalaciones disponibles; esta idea constituye el siguiente paso de

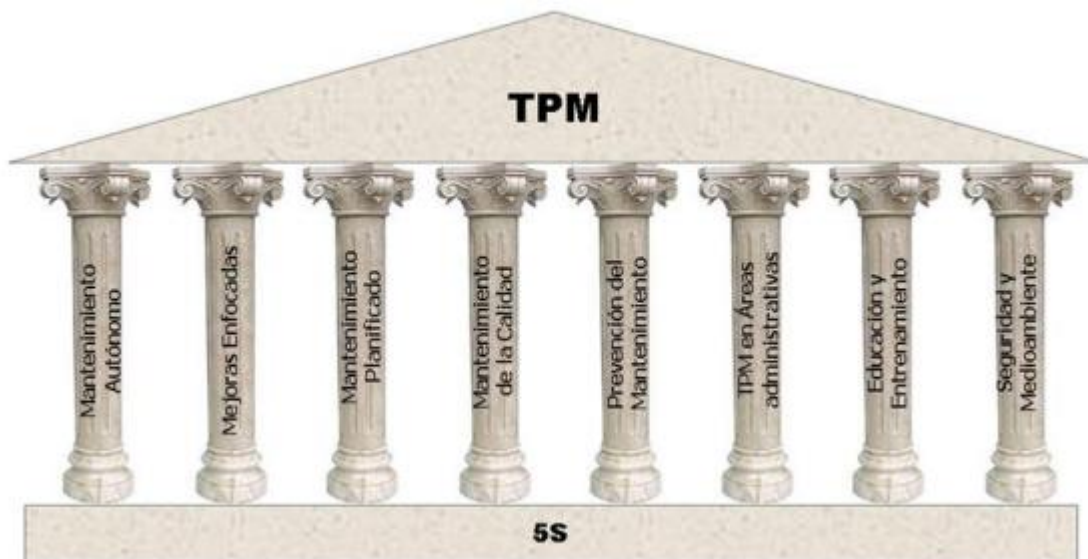
evolución de las buenas prácticas de mantenimiento donde se destaca por ser una estrategia eficaz en mejorar la función y el diseño de la producción que implica la participación de varios actores como el gerente , los mecánicos de producción y proveedores. El mantener el activo en nivel óptimo de servicio, reducir el costo de ciclo de vida y reducir las intervenciones de trabajos operacionales en mantenimiento son los propósitos de la implementación de este tipo de estrategias en las industrias (Espinel Ballesteros, Ramos Franco, & Rodríguez Aguilar, 2020) .

Dentro de la filosofía del TPM se busca eliminar 6 tipos de pérdidas que disminuyen la eficiencia o productividad ya sea de un activo o de una empresa, estas pérdidas son:

1. Paros no programados por fallos del equipo.
2. Cambios de producto, puesta a punto y ajustes de la maquina (o tiempos muertos).
3. Detenciones o esperas pequeñas, marchas en vacío o averías menores.
4. Velocidad de operación reducida (el equipo no funciona a su capacidad máxima).
5. Defectos de producción, proceso y calidad (reprocesos).
6. Puesta en marcha en un proceso nuevo, marcha en vacío o periodo de prueba.

La metodología del TPM se puede observar que está sustentada en 8 pilares fundamentales, cada uno de ellos traza una ruta a seguir para lograr objetivos de eliminación de perdidas, así mismo, sirven para la construcción de un sistema de producción ordenado.

Figura 6
Pilares del TPM



Nota. Tomado de Ing. María Gabriela Mago.

Tabla 2
Pilares del TPM

PILAR	Descripción
Mantenimiento Autónomo	Se busca que el operario cuide del mantenimiento básico del activo y mejora posible del activo.
Mejoras Enfocadas	Encontrar oportunidad de mejora dentro de la empresa, con el objetivo de maximizar la efectividad de los equipos y/o procesos.
Mantenimiento Planificado	Tener un buen mantenimiento preventivo sistematizando sus tareas para alcanzar un estado óptimo y mejoras continuas del activo.
Mantenimiento de Calidad	Hacer productos de calidad “cero defectos” controlando sus tolerancias e identificando las causas de defectos posibles.
Prevención del Mantenimiento	Se centra en las actividades de mejora que se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos Su objetivo es lograr que las mejoras lleguen a la gerencia de los departamentos administrativos y actividades de soporte y que no solo sean actividades en la planta de producción

Educación y Entrenamiento	Capacitar al personal para realizar el mantenimiento de forma adecuada.
Seguridad y Medio Ambiente	Realizar estudios de prevención de accidentes y análisis de riesgos de seguridad y medio ambiente

Nota. La tabla nos da la descripción de cada pilar del TPM. Fuente propia.

El TPM cuenta varias técnicas para el desarrollo de los ocho pilares anteriormente mencionados, estas técnicas son el Kaizen, las 5S y la metodología de just at time, dentro de las organizaciones la más aplicada es la metodología de las 5S que es una técnica de gestión japonesa que aplicada en áreas de trabajo, crea espacios más organizados, despejados, seguros y limpios.

Figura 7
Metodología de las 5s



Nota. Fases de la metodología de las 5S para implementar el orden dentro de las organizaciones. Tomado de Ing. María Gabriela Mago

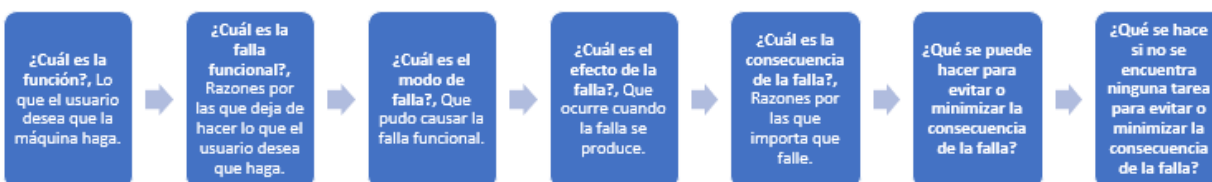
5.2.4.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas,

etc.). El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos. El RCM se define como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional. En la actualidad, es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de estos (Campos Lopez, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019).

De acuerdo con la norma SAEJA 1011 establece 7 preguntas básicas del proceso de RCM las cuales son:

Figura 8
Siete preguntas del RCM



Nota. cualquier proceso de RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente en secuencia las preguntas que se muestran. Fuente propia.

5.2.4.3 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Los análisis de modo y efecto de falla permiten identificar fallas en procesos, sistemas y productos para así determinar los efectos y causas que generan la falla y así tomar las acciones y mecanismos de control para prevenirlas.

Al momento de implementar una AMEF se logra:

- Identifica fallas o defectos antes de que estos ocurran.

- Reducción de costos.
- Incrementar la confiabilidad de los productos o servicios.
- Documenta los conocimientos sobre los procesos.
- Incrementa la satisfacción del cliente.

El método AMEF cuantifica un número de prioridad de riesgo (NPR), como indicador de diversas posibilidades de errores y resulta de multiplicar los grados de severidad (S), el grado de ocurrencia (O) y el grado de detección (D), para así determinar la prioridad con la que se debe atacar cada modo de falla identificado.

$$NPR = S * O * D$$

Los pasos para realizar un AMEF son los siguientes:

1. Identificar el producto o proceso a analizar.
2. Realizar el listado de los proceso o partes que componen el producto a analizar.
3. Describir la función del componente.
4. Determinar los posibles modos de falla de cada proceso o componente.
5. Asignar el grado de severidad de la falla en el proceso o producto.

Tabla 3
Criterios de Severidad

Criterio de Severidad	Puntuación
Muy alto grado de severidad cuando el modo de la falla involucra problemas potenciales de seguridad y/o incumplimiento con reglamentos gubernamentales.	9 a 10
Alto grado de insatisfacción del cliente puede ocasionar problemas a los procesos subsecuentes o una falla al producto, el cual resultará una queja y rechazo del producto. La falla puede ser detectada durante las pruebas finales del producto antes de ser entregada al cliente	7 a 8
Falla moderada que causa alguna insatisfacción del cliente, y puede necesitar hacer modificaciones o ajustes a los procesos El problema puede ser detectado como una parte de inspección en recibo	4 a 6

Bajo grado de severidad, debido a la naturaleza menor de la falla, causará únicamente una ligera molestia al cliente.	2 a 3
Ilógico, exagerado el esperar que la naturaleza de esta falla menor causaría algún efecto notable. El cliente probablemente nunca note la falla	1

Nota. La tabla nos muestra puntuación que se le da cada efecto de falla. Tomado de Ing. María Gabriela Mago.

6. Asignar el grado de ocurrencia para cada modo de falla.

Tabla 4
Criterios de Ocurrencia

Criterio de Ocurrencia	Puntuación
Muy alta probabilidad de ocurrencia, la causa es casi inevitable	9 a 10
Alta probabilidad de ocurrencia, procesos similares tienen experiencias de fallas repetidas, el proceso no está dentro de control estadístico	7 a 8
Moderada probabilidad de ocurrencia, procesos similares tienen experiencias de fallas repetidas, pero no en mayores proporciones, el proceso está dentro de control estadístico	4 a 6
Baja probabilidad de ocurrencia. Muy baja, procesos casi idénticos han tenido únicamente fallas aisladas	3 a 2
Remota probabilidad de ocurrencia, ninguna falla ha sido asociada con procesos idénticos. El proceso está dentro de control estadístico	1

Nota. La tabla nos muestra que tan frecuente ocurre la falla. Tomado de Ing. María Gabriela Mago.

7. Describir el control correspondiente para cada causa de falla.

8. Asignar el grado de detección para identificar que tan efectivo es el control de cada causa de falla.

Tabla 5
Criterios de Detección

Criterio de Detección	Puntuación
Certeza absoluta de no detección, los controles no podrán detectar la existencia del defecto	10
Detección muy baja, los controles de la organización probablemente no detecten la existencia del defecto, pero este puede ser detectado por el cliente	9

Baja, los controles pueden detectar la existencia del defecto, pero la detección no puede ocurrir hasta que el embarque está en camino.	7 a 8
Moderada, los controles probablemente encuentren la existencia de la falla, pero no se puede aceptar hasta que las pruebas hayan sido completadas.	5 a 6
Alta, los controles tienen una buena oportunidad de detectar la existencia de la falla antes de que el proceso de manufactura haya sido completado (monitoreo con pruebas en proceso)	3 a 4
Muy alta, los controles detectarán la existencia del defecto antes de que el producto pase a la siguiente etapa del proceso. Es importante el control de las materias primas de acuerdo con las especificaciones de la organización	1

Nota. La tabla nos muestra la puntuación para cada control asignado a cada causa de falla. Tomado de Ing. María Gabriela Mago.

9. Calcular el número prioritario de riesgo (NPR).
10. Priorizar los modos de falla de mayor a menor
11. Registrar las acciones recomendadas para corregir la falla potencial desde raíz.
12. Una vez realizadas las acciones con el proceso o producto, se vuelve a registrar los valores de Severidad, Ocurrencia, Detección y obtener un nuevo NPR.

Figura 9
Formato AMEF

AMEF DE PROCESO - ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

EQUIPO BASE: _____
 CALIDAD: _____
 INGENIERIA: _____
 VENTAS: _____
 REVISION: _____

NOMBRE DEL DIBUJO / SISTEMA: _____
 DUEÑO DEL PROCESO: _____
 OTROS INVOLUCRADOS: _____

NOMBRE DE PARTE / ENSAMBLAJE: _____
 PREPARADO POR: _____
 PROVEEDORES AFECTADOS: _____
 MODELO AÑO: _____

NO. DE AMEF: _____
 CLIENTE: _____
 FECHA INICIAL: _____
 FECHA ÚLT REV: _____

Item	Operación	Modo de Falla Potencial	Efecto(s) Potencial(es) de la Falla	Severidad	Causa(s) Potencial(es) de la Falla	Ocurrencia	Condiciones Existentes			Acciones Recomendadas	Responsable y Fecha Objetivo	Resultados de la Acción					
							Control Actual	Diferencia	RPN (SEV + OCU + DET)			Acciones Implementadas	SEV	OCU	DET	RPN	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					

4 Efectos potenciales de la falla: Se definen como los efectos del modo de falla hacia el cliente. El cliente en este contexto puede ser la siguiente operación, operaciones posteriores o el usuario. Todos deben ser considerados cuando se evalúa el efecto potencial de la falla.

5 Severidad es una evaluación de la criticidad del efecto, en una escala de 1 a 10. Referirse al documento "Criterios AMEF"

6 Causas potenciales de la falla describen como el modo de falla puede llegar a ocurrir en términos de un aspecto del proceso que se puede corregir o controlar.

7 Ocurrencia denota la frecuencia en que se espera se puede dar un modo de falla, en una escala de 1 a 10, según los "Criterios AMEF".

8 Esta es una descripción de los controles actuales que evitan en lo posible la ocurrencia del modo de falla o de detectar el mismo. Se debe tener en cuenta 3 tipos de controles, en orden de importancia: (1) Previene la causa o modo de falla/ efecto; (2) Detecta la causa y deriva en acciones correctivas, y (3) Detecta el modo de falla.

9 Probabilidad de Detección según "Criterios AMEF"

10 RPN es el Número de Prioridad de Riesgo. Permite priorizar las operaciones requiriendo atención. Se debe poner especial atención a niveles de severidad altos, y a la reducción del RPN por medio de acciones correctivas.

11 Acciones recomendadas para reducción del nivel de severidad y del RPN

12 Responsable(s) y fecha objetivo

13 Acciones de mejora implementadas con una reevaluación de Severidad, Ocurrencia y detección junto con el nuevo RPN resultante

Nota. La figura muestra el formato y los pasos para realizar la AMEF. Tomado de Ing. María Gabriela Mago.

5.3 Marco Legal

Para el desarrollo de este proyecto se tendrán en cuenta las siguientes normas, contratos, manuales, entre otros, que tienen relación con el mantenimiento ejecutado sobre los vehículos y el ciclo de vida de los buses.

Tabla 6
Marco legal para la gestión del mantenimiento

Norma, Ley, Decreto, Manual, Contrato	Numeral que aplica	Descripción
---------------------------------------	--------------------	-------------

SAE JA1011	Todo	Establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM.
SAE JA1012	Todo	Amplifica y clarifica cada uno de los criterios basados en el RCM y resume problemas adicionales que deben ser aplicados para un correcto desempeño del RCM.
	3.181	“Plan de mantenimiento”
Contrato de operación de flota	7.2.32	"Elaborar y entregar, dentro de los 30 Días antes de la suscripción del Acta de Inicio de la Etapa de Operación y Mantenimiento, el Plan de Mantenimiento a TMSA, el cual debe estar estructurado en cuatro ejes así: (i) Planeación, (ii) Programación, (iii) Ejecución, y (iv) Control. Una vez aprobado el Plan de Mantenimiento por parte de TMSA y/o quien este designe, el mismo será un Anexo del Contrato y será de obligatorio cumplimiento por parte del Concesionario de Operación"
	7.3.6	"Revisar el Plan de Mantenimiento y efectuar los comentarios que considere pertinentes."
Manual de operaciones del sistema Transmilenio S.A.	3.6	"Mantenimiento de la flota del concesionario"
	1.1.1	"Acreditación de documentos"
Anexo 1 Especificaciones Técnicas Vehículos Eléctricos componente zonal	2.	"Tipología de buses del componente zonal del sistema"
	2.1.1	"Características técnicas generales"
	2.1.2	"Características técnicas específicas 1"
	2.1.2.2	"Requerimientos para el chasis"

2.1.2.3.		"Requerimientos de la carrocería"
Manual del fabricante	Todo	Frecuencias, rutinas, actividades establecidas por el fabricante para realizar el mantenimiento preventivo a los buses
Familia de normas NTC 55000, 55001, 55002	Todo	Gestión de activos
Sentencia sensores de peso y accesibilidad 2002-01685 Y 2006-00376	Todo	Buses accesibles y con sensores de peso instalados y funcionales

Nota. La tabla nos muestra los manuales, normas técnicas y cláusulas del contrato que se tendrán en cuenta para la gestión del mantenimiento sobre los vehículos. Fuente propia.

6. Marco Metodológico

6.1 Recolección de la Información

6.1.1 Tipo de investigación

El paradigma de investigación para esta propuesta es mixto, ya que la información es de carácter cuantitativa, en cuanto al uso de herramientas como consultas bibliográficas de diferentes artículos, trabajos de grado, planes de mantenimiento actuales, entre otros y cualitativa en cuanto al análisis de los históricos de fallas, lecciones aprendidas en los años de operación del sistema, varados por temas asociados al mantenimiento.

6.1.2 Fuentes de obtención de la información

6.1.2.1 Primarias

Las fuentes primarias de información están ligadas con los manuales de mantenimiento del fabricante de los buses eléctricos, lo dispuesto en los manuales de especificaciones técnicas para mantener las condiciones originales de los buses, indicadores de mantenimiento, el contexto operacional donde operan los buses y la experiencia del sistema Transmilenio en sus años de operación.

6.1.2.2 Secundarias

Estas fuentes de información son las relacionadas a casos de estudio, como libros, revistas especializadas, trabajos de grado o investigaciones relacionadas a planes de mantenimiento de vehículos, también lo relacionado con metodologías de mantenimiento y planes de mantenimiento acordes con buses eléctricos.

6.1.3 Herramientas

Las herramientas usadas para el desarrollo de este trabajo corresponden a:

- Análisis de modo de falla
- Histórico de varados
- Plan de mantenimiento del fabricante
- Contexto operacional

6.1.4 Metodología

A continuación, se detalla la metodología a utilizar para cumplir con los objetivos específicos propuestos

6.1.4.1 Desarrollo de objetivo específico 1

Para el desarrollo del objetivo específico número 1 que cita “evaluar el contexto operacional de las zonas de influencia para la operación de los buses eléctricos BYD de referencia B13S01 del componente de Alimentación”, el contexto operacional se define como el entorno físico, ambiental y organizacional de un activo (flota BYD B13S01), es decir, las condiciones que se encuentran alrededor de esta tipología de bus, para poder desempeñar la función que se le solicita (Prestación del servicio público masivo de pasajeros), para el caso objeto de estudio, se debe analizar el contexto operacional como todas aquellas condiciones que giran alrededor de la operación de la flota BYD B13S01, por ejemplo, el trazado de la ruta que

comporta entre otras cosas, radios de giro, pendientes, estado de la vía y condiciones socioculturales de la ruta (zonas susceptibles de vandalismo, seguridad, sentido de pertenecía sobre el activo o el bus, respeto de las normas, entre otros), asimismo, dentro del entorno del contexto operacional, debe hacerse un análisis de la demanda y la oferta para atender cada ruta, dado que, esto representa el nivel de esfuerzo que realiza cada uno de los vehículos de acuerdo con la ruta, situación tal, que obliga a hacer los ajustes pertinentes a los planes de mantenimiento según la ruta operada.

Asimismo, se debe tener en cuenta dentro del contexto operacional, los tiempos de operación, comoquiera que, de dichos tiempos se desprenden también los tiempos de mantenimiento, que se traducen en los tiempos de para de los vehículos y una relación directa en la disponibilidad y confiabilidad de la flota.

Para efectos de la presente investigación, a continuación, se describe los criterios para tener en cuenta:

- Trazado de rutas.
- Oferta y demanda del servicio.
- Tiempos de ciclo de rutas.
- Topografía (Radios de giro, pendientes).
- Estado de las vías.
- Condiciones socioculturales (vandalismo, seguridad, sentido de pertenecía sobre el activo o el bus, respeto de las normas).
- Condiciones contractuales (Contratos de provisión y operación de flota).

6.1.4.2 Desarrollo de objetivo específico 2

Para el desarrollo del objetivo específico número 2 que cita “Identificar las metodologías adecuadas para establecer las oportunidades”, se utilizará el análisis de modo y efecto de falla AMEF, para identificar de una forma clara los sistemas que necesitan mayor atención en la operación del Sistema y de esta manera, determinar la ocurrencia de falla para poder tomar medidas preventivas.

Adicionalmente se analizará el plan de mantenimiento del fabricante, con el fin de estimar la severidad y la ocurrencia de las fallas en los autobuses y con esto, poder estimar los sistemas de detención de cada modo de falla crítico. Asimismo, poder determinar fallas, oportunidades de mejora, inconsistencias, entre otros y poder ajustar las actividades, rutinas y frecuencias en el nuevo plan de mantenimiento.

6.1.4.3 Desarrollo de objetivo específico 3

Para el desarrollo del objetivo específico número 3 “Establecer las nuevas rutinas necesarias para la ejecución del plan mantenimiento, junto con sus actividades a desarrollar”, se tomará como base inicial el análisis del contexto operacional, posteriormente se revisará el análisis AMEF realizado, y finalmente se incluirá lo contemplado en el marco legal (mantener el vehículo en sus condiciones originales de vinculación al sistema), y de esta manera incluir las rutinas, actividades y frecuencias que no están en el plan de mantenimiento inicial propuesto por el fabricante.

6.1.5 Recopilación de la información

Los vehículos objeto del análisis que nos ocupa (flota BYD B13S01) designada para la prestación del servicio público de pasajeros en el componente alimentador, operan

exclusivamente en las zonas Usme, Fontibón y Suba en virtud de los contratos de provisión y operación asignados de la siguiente manera:

Zona Usme: Provisión 770 de 2019 - Operación 762 de 2019

Zona Dorado: Provisión 118 de 2021 - Operación 760 de 2019

Zona Suba: 01 de 2010

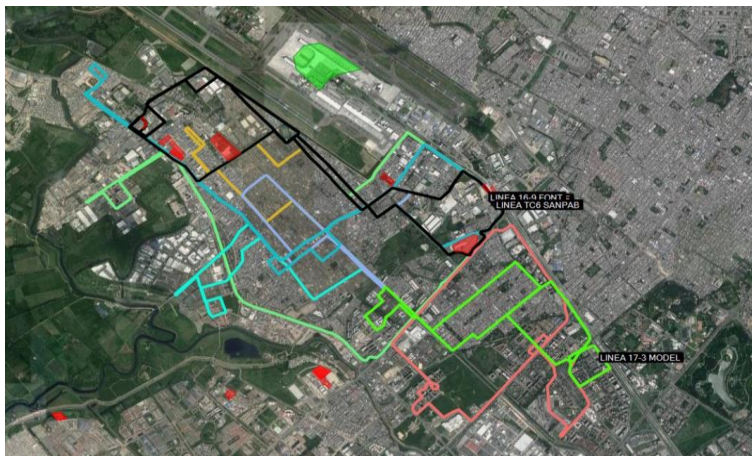
Por tal motivo, el análisis de evaluación del contexto operacional se realiza únicamente sobre estas zonas, además, con base al desarrollo de este proyecto, se tiene el plan de mantenimiento del fabricante de los buses BYD, que da la recomendación de algunas rutinas preventivas, incluyendo los sistemas de lubricación, puertas, sistema de frenos, refrigeración, electricidad de alta, sistema de tracción, dirección, suspensión, circuito de alto y bajo voltaje y carrocería, ver anexo 1 Manual de mantenimiento B13S01 BYD (Ver Anexo 1).

- **Trazado de rutas**

Zona Fontibón

La zona de influencia de operación esta designada en la parte occidental de la ciudad de Bogotá, tiene asignada un tamaño de flota de 60 buses de marca BYD B13S01, con 10 rutas en operación que se integran al sistema troncal en el Portal el Dorado.

A continuación, se muestra el trazado y el nombre de las rutas asignadas junto con su nomenclatura con integración en el Portal el Dorado:

Figura 10*Rutas alimentadoras zona Fontibón*

Nota. La figura muestra el recorrido de los buses eléctricos en la zona de Fontibón. Fuente propia.

Tabla 7*Rutas alimentadoras zona Fontibón*

CUENCA	RUTA	IDENTIFICACIÓN
Fontibón	Villemar	16-10
	Belén	16-12
	Av. Cali - Hayuelos	16-13
	La estancia	16-7
	Zona franca	16-8
	Fontibón centro	16-9
	Modelia	17-3
	Puente Grande	K300
	La Felicidad	K301
	San Pablo Jericó	TC6

Nota. La tabla indica las rutas que operan los buses eléctricos en la zona de Fontibón. Fuente propia.

Zona Suba

La zona de influencia de operación esta designada en la parte Noroccidental de la ciudad de Bogotá, tiene asignada un tamaño de flota de 91 buses de marca BYD B13S01, con 11 rutas en operación que se integran al sistema troncal en el Portal Suba.

A continuación, se muestra el trazado y el nombre de las rutas asignadas junto con su nomenclatura con integración en el Portal Suba:

Figura 11

Rutas alimentadoras zona Suba



Nota. La figura muestra el recorrido de los buses eléctricos en la zona de Suba. Fuente propia.

Tabla 8

Rutas alimentadoras zona Suba

CUENCA	RUTA	IDENTIFICACIÓN
Suba	Compartir	C104
	Av. suba	11_1
	Bilbao	11_10
	San Andrés	11_2
	Villa María	11_3
	Circular Aures	11_4
	Avenida Cali	11_5
	Las Mercedes	11_6
	Pinar	11_7
	La Gaitana	11_8
Lisboa	11_9	

Nota. La tabla indica las rutas que operan los buses eléctricos en la zona de Suba. Fuente propia.

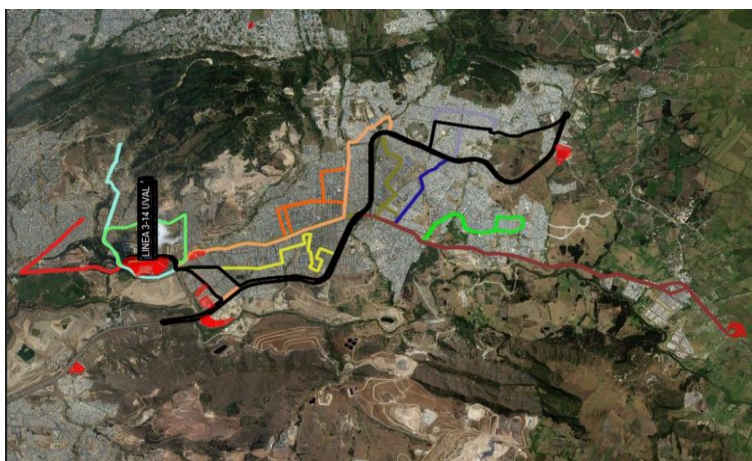
Zona Usme

La zona de influencia de operación esta designada en la parte sur oriental de la ciudad de Bogotá, tiene asignada un tamaño de flota de 120 buses de marca BYD B13S01, con 14 rutas en operación que se integran al sistema troncal en el Portal Usme.

A continuación, se muestra el trazado y el nombre de las rutas asignadas junto con su nomenclatura con integración en el Portal Usme:

Figura 12

Rutas alimentadoras zona Suba



Nota. La figura muestra el recorrido de los buses eléctricos en la zona de Usme. Fuente propia.

Tabla 9

Rutas alimentadoras zona Usme

CUENCA	RUTA	IDENTIFICACIÓN
Usme	La aurora	3-1
	Usme centro	3-10
	La fiscalá	3-11
	Compostela	3-12
	Nebraska	3-13
	El uval	3-14
	Santa librada	3-2
	Chuniza	3-3
	Alfonso López	3-4
	Usminia	3-5
	Danubio	3-6
	Avenida caracas	3-7
	Virrey	3-8

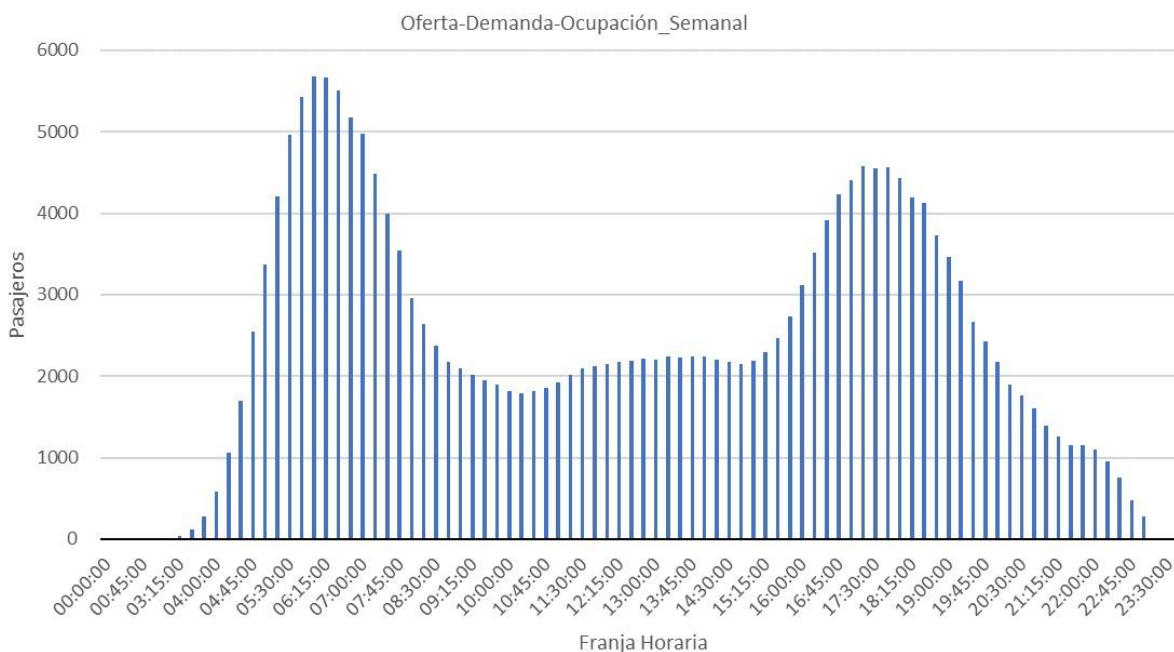
Nota. La tabla indica las rutas que operan los buses eléctricos en la zona de Usme. Fuente propia.

- **Oferta y demanda del servicio.**

La oferta y demanda de cada uno de los servicios está sujeta a estudios directamente del área Técnica de la entidad, en la cual, se evalúa capacidad de ocupación por vehículo, cantidad de rutas asignadas en un área de influencia, horas pico en día hábil, no hábil y festivo, nuevas construcciones en la zona, malla vial, entre otros, y de esta manera se puede estimar la cantidad de buses, rutas y tablas a ofertar, con el fin de que el sistema sea eficiente en todo su entorno.

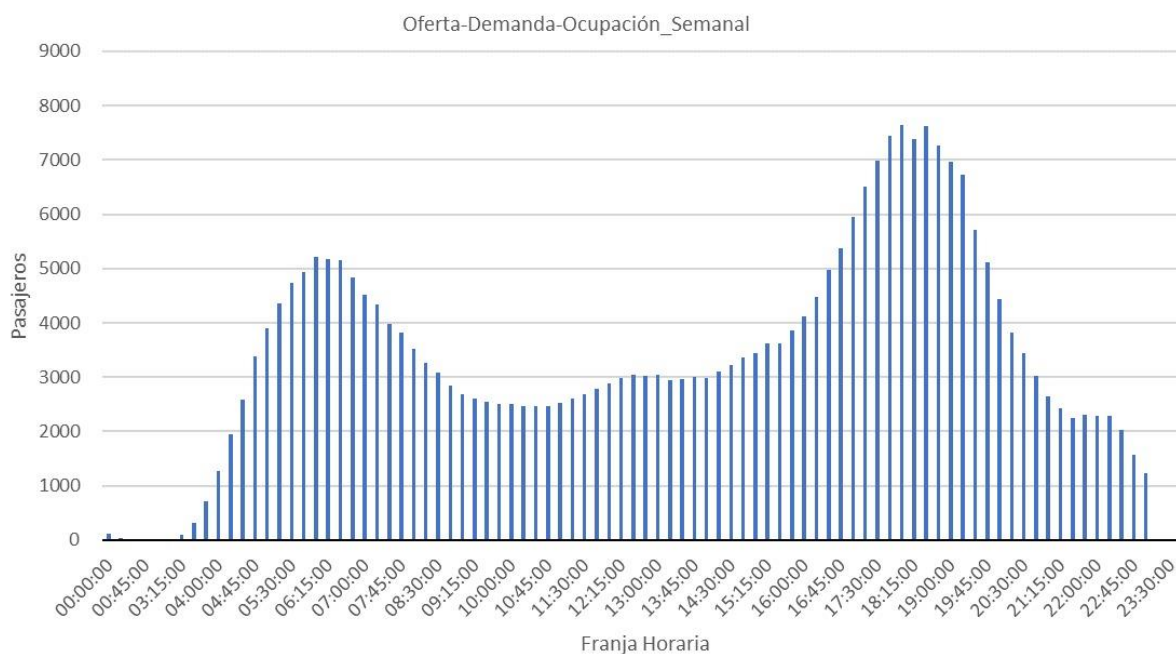
A continuación, se muestra gráficamente la oferta y demanda para las tres zonas de influencia:

Figura 13
Oferta y demanda zona Usme



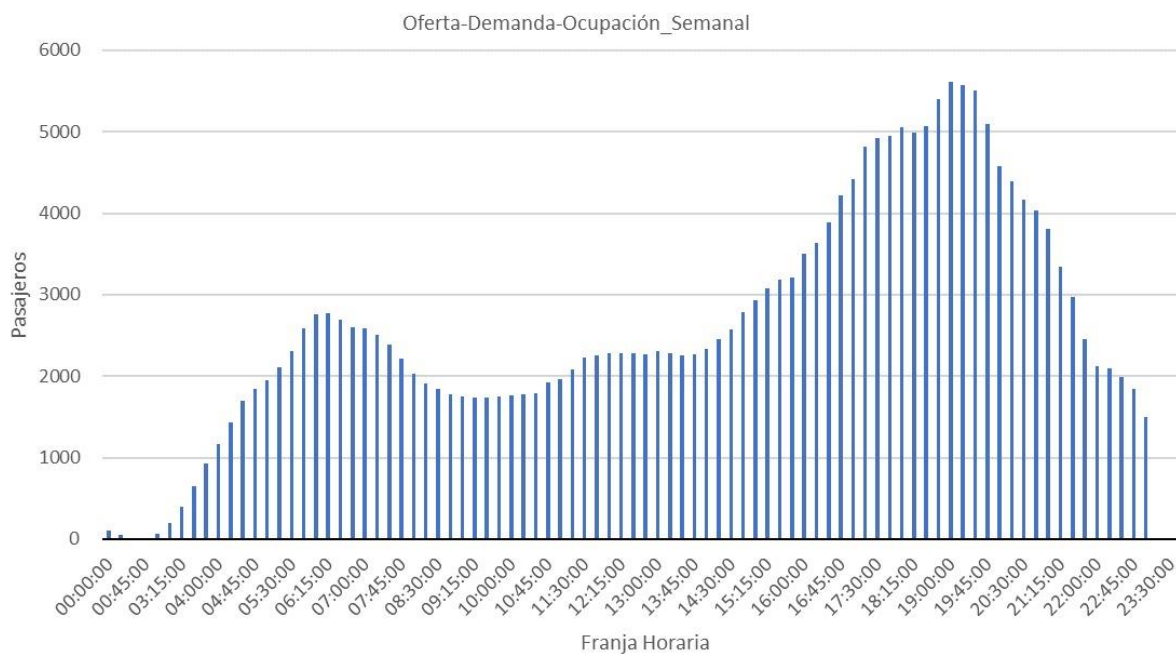
Nota. La figura indica la cantidad de oferta de pasajeros en la zona Usme por hora. Fuente Transmilenio S.A.

Figura 14
Oferta y demanda zona Suba



Nota. La figura indica la cantidad de oferta de pasajeros en la zona Suba por hora. Fuente Transmilenio S.A.

Figura 15
Oferta y demanda zona Fontibón



Nota. La figura indica la cantidad de oferta de pasajeros en la zona Fontibón por hora. Fuente Transmilenio S.A.

- **Tiempos de ciclo de rutas.**

Los ciclos de ruta están sujetos a la duración del servicio en cada momento del día, por lo que se evalúa tiempo de recorrido máximo en cada ruta en la franja AM, PM y valle, a continuación, se muestra los tiempos de operación en cada zona, junto con la cantidad de buses asignados.

Tabla 10

Tiempo de ciclo rutas zona Fontibón

RUTAS ALIMENTADORAS ZONA FONTIBON								
Ruta	Nombre	Buses Am	Buses Valle	Buses Pm	Km/Vuelta	Ciclo Am	Ciclo Valle	Ciclo Pm
16-7	La Estancia	15	7	15	16,20	00:05:00	00:10:30	00:05:15
16-8	Zona Franca	14	8	14	14,83	00:05:00	00:10:30	00:06:00
16-9	Fontibon Centro	9	6	9	12,09	00:05:30	00:10:15	00:08:00
16-10	Villemar	9	6	9	9,48	00:04:45	00:09:30	00:06:45
16-12	Belén	9	6	9	12,55	00:07:45	00:10:30	00:08:00
K300	Puente Grande	10	8	10	16,67	00:08:00	00:12:00	00:10:30
TC6	San Pablo Jericó	15	7	15	14,19	00:04:00	00:09:30	00:04:30

Nota. La tabla indica la cantidad de flota programada, el kilometraje y el tiempo de ciclo de cada ruta alimentadora correspondiente a la zona de Fontibón. Fuente Transmilenio S.A.

Tabla 11

Tiempo de ciclo rutas zona Suba

RUTAS ALIMENTADORAS ZONA SUBA								
Ruta	Nombre	Buses Am	Buses Valle	Buses Pm	Km/Vuelta	Ciclo Am	Ciclo Valle	Ciclo Pm
11-10	Bilbao Pico	11	0	11	8,45	00:38:30	00:00:00	00:57:45
11-10	Bilbao Valle	0	9	0	8,89	00:00:00	00:54:00	00:00:00
11-2	San Andrés	6	0	6	5,82	00:34:30	00:00:00	00:34:30
11-3	Villamaría	10	9	10	6,52	00:37:30	00:33:45	00:40:00
11-4	Aures	6	4	6	8,19	00:43:30	00:49:00	00:49:30
11-5	Av Cali	4	3	4	5,49	00:34:00	00:39:00	00:36:00
11-6	Las Mercedes	10	8	10	6,10	00:32:30	00:30:00	00:32:30
11-7	Pinar	8	6	8	5,12	00:28:00	00:30:00	00:32:00
11-8	La Gaitana	9	0	9	7,40	00:45:00	00:00:00	00:51:45
11-9	Lisboa Pico	12	0	12	9,69	01:12:00	00:00:00	01:06:00
11-9	Lisboa Valle	0	7	0	9,58	00:00:00	01:13:30	00:00:00
C104	Compartir	9	8	9	10,91	00:47:15	00:50:00	00:51:45

Nota. La tabla indica la cantidad de flota programada, el kilometraje y el tiempo de ciclo de cada ruta alimentadora correspondiente a la zona de Suba. Fuente Transmilenio S.A.

Tabla 12*Tiempo de ciclo rutas zona Usme*

RUTAS ALIMENTADORAS ZONA USME								
Ruta	Nombre	Buses Am	Buses Valle	Buses Pm	Km/Vuelta	Ciclo Am	Ciclo Valle	Ciclo Pm
3-10	Usme Centro	11	7	13	19,67	01:17:00	01:17:00	01:24:30
3-11	La Fiscala	5	3	5	5,99	00:31:15	00:36:00	00:35:00
3-12	La Esperanza Sur	4	4	4	9,68	00:44:00	00:48:00	00:54:00
3-13	Nebraska	2	2	2	3,81	00:24:00	00:24:00	00:24:00
3-14	El Uval	7	6	7	17,04	01:11:45	01:30:00	01:17:00
3-2	Santa Librada	13	5	13	7,49	00:39:00	00:42:30	00:45:30
3-3	Chuniza	8	6	8	9,56	00:50:00	00:54:00	00:56:00
3-4	Alfonso López	14	7	17	15,38	00:59:30	01:06:30	01:08:00
3-5	Usminia	11	6	12	14,09	00:55:00	01:00:00	01:06:00
3-6	Danubio	4	2	4	5,41	00:33:00	00:27:30	00:35:00
3-8	Virrey	10	6	10	12,70	00:55:00	01:00:00	00:55:00
3-9	Marichuela	8	4	10	6,88	00:36:00	00:40:00	00:42:30

Nota. La tabla indica la cantidad de flota programada, el kilometraje y el tiempo de ciclo de cada ruta alimentadora correspondiente a la zona de Suba. Fuente Transmilenio S.A.

- **Topografía (Radios de giro, pendientes).**

Los radios de giro, pendientes, zonas críticas de operación, zonas de elevación de suspensión, entre otras, hace parte de la evaluación integral de cada ruta, esto se debe tener presente para poder licitar en cada una de las zonas, con el fin de identificar el tipo de bus requerido para la operación, teniendo en cuenta dimensiones, peso, área de acción en curva, tipo de suspensión, cantidad de pasajeros, entre otros.

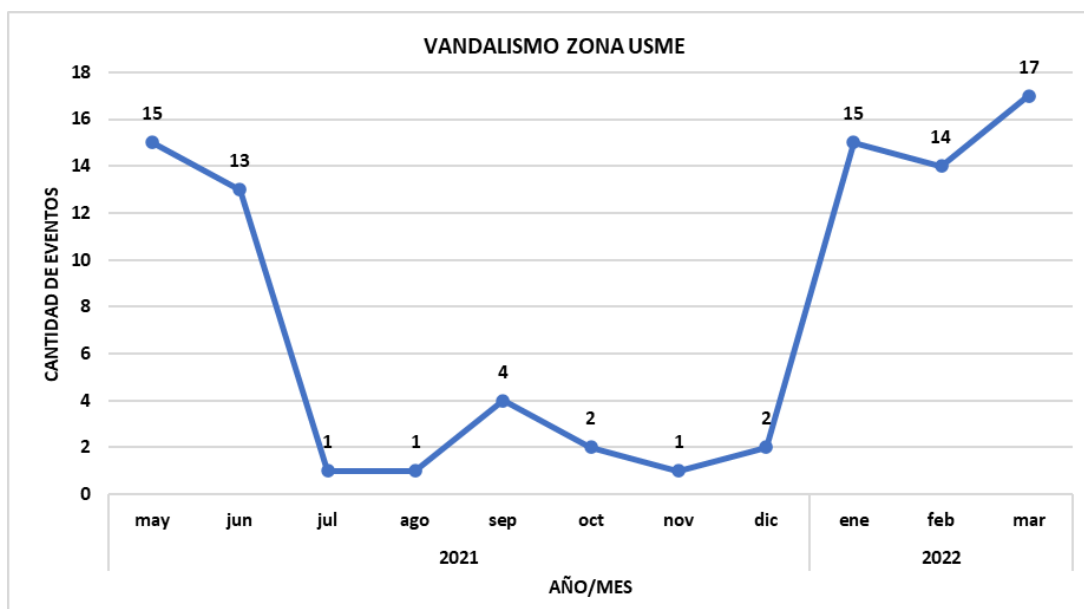
- **Estado de las vías.**

Actualmente , la ciudad de Bogotá no cuenta con una malla vial en perfectas condiciones, lo que hace necesario que la flota asignada para cada operación opere en condiciones inestables, con campos de acción inclinados, pendientes con giros pronunciados, entre otros, por lo que hace necesario que se realicen trabajos de reparaciones temporales o definitivos, involucrando en nuevas alternativas de salidas para cada servicio, es decir, si se realiza una reparación, los vehículos deben tomar desvíos autorizados elaborados con todo el procedimiento de manejo de tráfico, para no saturar las zonas de influencia.

- **Condiciones socioculturales (vandalismo, seguridad, sentido de pertenecía sobre el activo o el bus, respeto de las normas).**

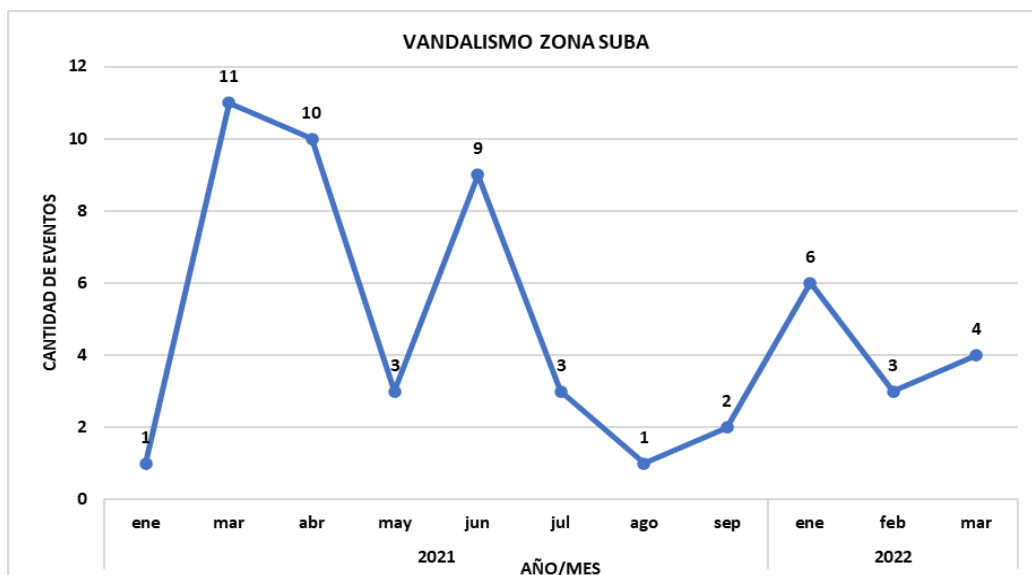
En este aspecto, queremos resaltar los diversos comportamientos que se pueden presentar para alterar cada trazado de las rutas, ya que, los vehículos son susceptibles a estar inmiscuidos en ámbitos sociales dependiendo las situaciones del país y la ciudad, efectos que genera por decisiones gubernamentales, efectos de pandemia, decisiones políticas y con esto la flota queda expuesta a diversas circunstancias, por lo que, a continuación, mostramos el análisis realizado por afectaciones socioculturales en cada zona.

Figura 16
Vandalismo zona Usme



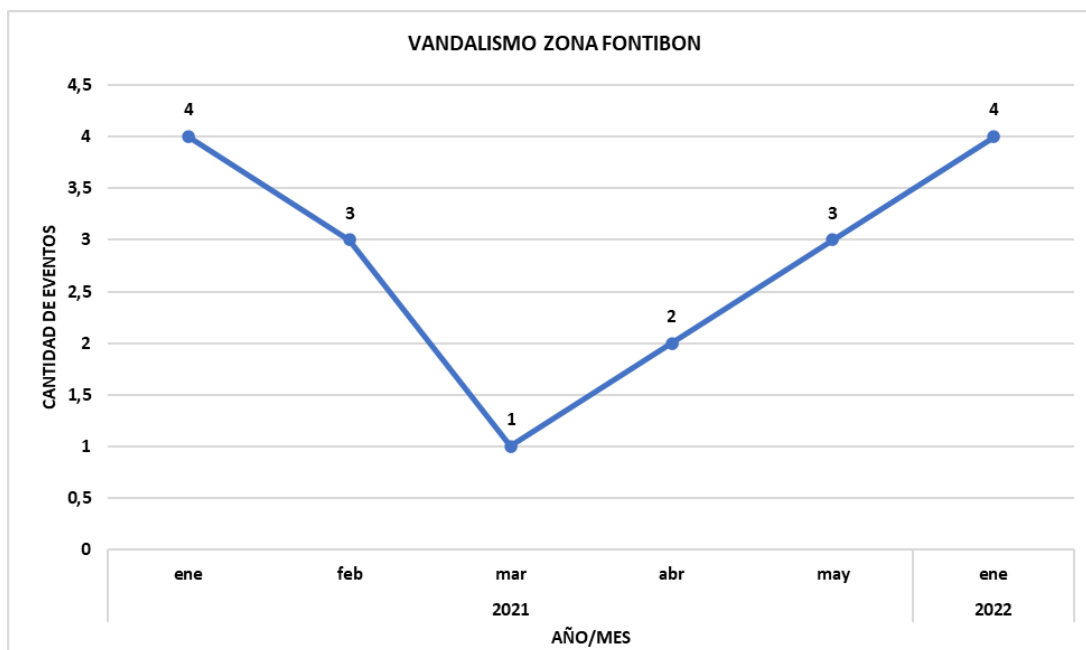
Nota. La figura indica los eventos de vandalismo que ha presentado la flota eléctrica BYD B13S01 adscrita a la zona de Usme. Fuente propia

Figura 17
Vandalismo zona Suba



Nota. La figura indica los eventos de vandalismo que ha presentado la flota eléctrica BYD B13S01 adscrita a la zona de Suba. Fuente propia

Figura 18
Vandalismo zona Fontibón



Nota. La figura indica los eventos de vandalismo que ha presentado la flota eléctrica BYD B13S01 adscrita a la zona de Fontibón. Fuente propia

- **Condiciones contractuales (Contratos de provisión y operación de flota).**

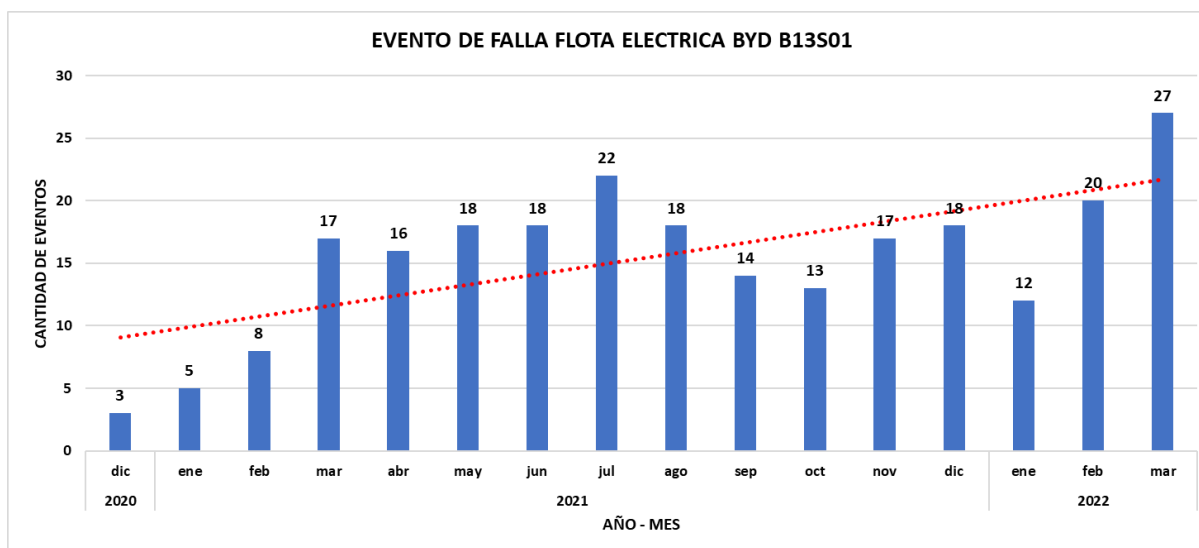
Los contratos de adjudicación de las zonas Fontibón y Usme, prevén las figuras de contrato de provisión y contrato de operación, es decir, dos contratos diferentes en donde para el caso del contrato de provisión, se dispone que la empresa contratante son los dueños de los buses y proveen al contratista de operación para que los opere y mantenga sustrayéndose de estas actividades.

- **Fallas**

Se realizó la cuantificación de fallas presentadas durante la operación de la flota eléctrica BYD B13S01, en el cual se observa el acumulado de fallas mensual, desde el inicio de operación.

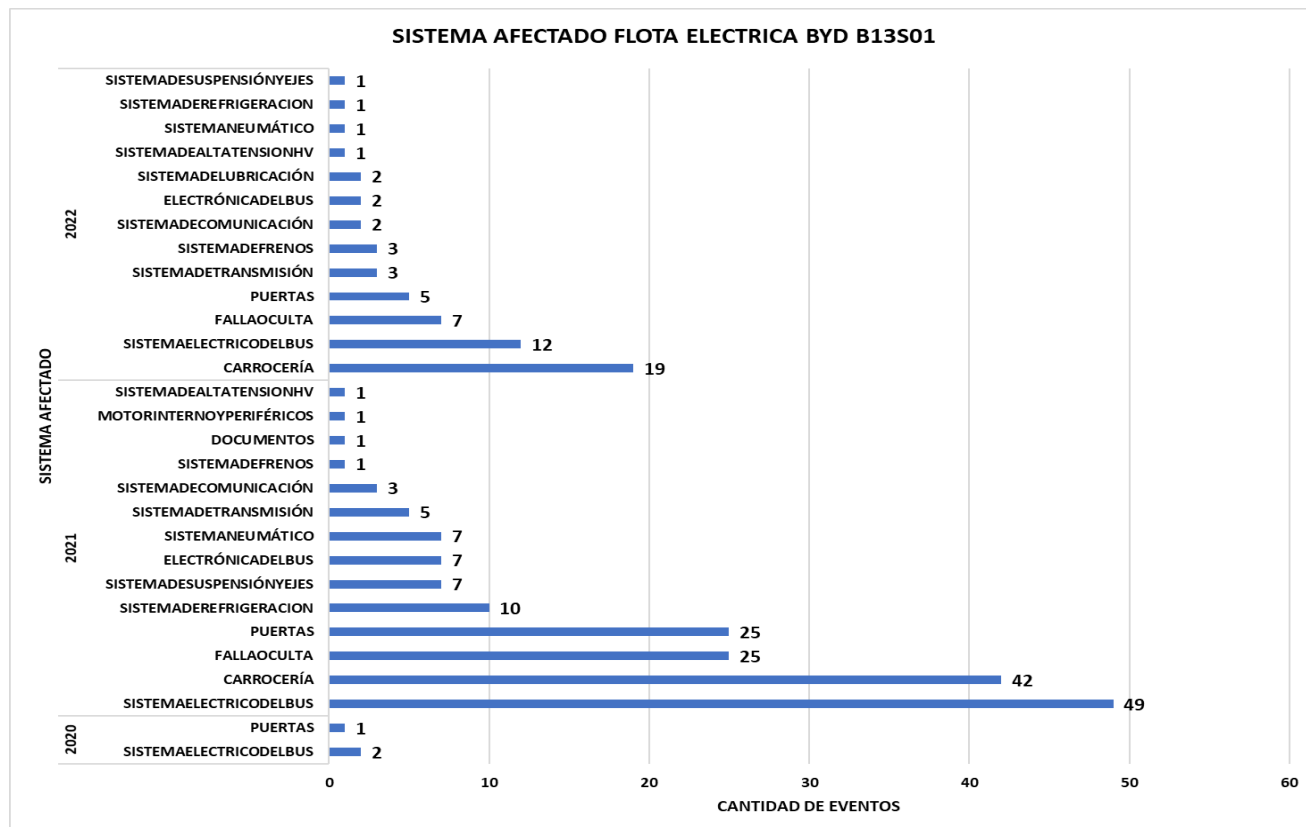
Figura 19

Eventos de falla flota eléctrica



Nota. La figura indica la cantidad de eventos de falla totales de la flota eléctrica BYD B13S01 para el periodo entre 2020 a marzo 2022. Fuente propia.

Asimismo, podemos observar de manera detallada, los sistemas que han realizado el mayor aporte de fallas en operación de los buses eléctricos BYD B13S01, evidenciando que el sistema eléctrico de bajo voltaje y temas asociados a carrocería, son los más susceptibles a fallar.

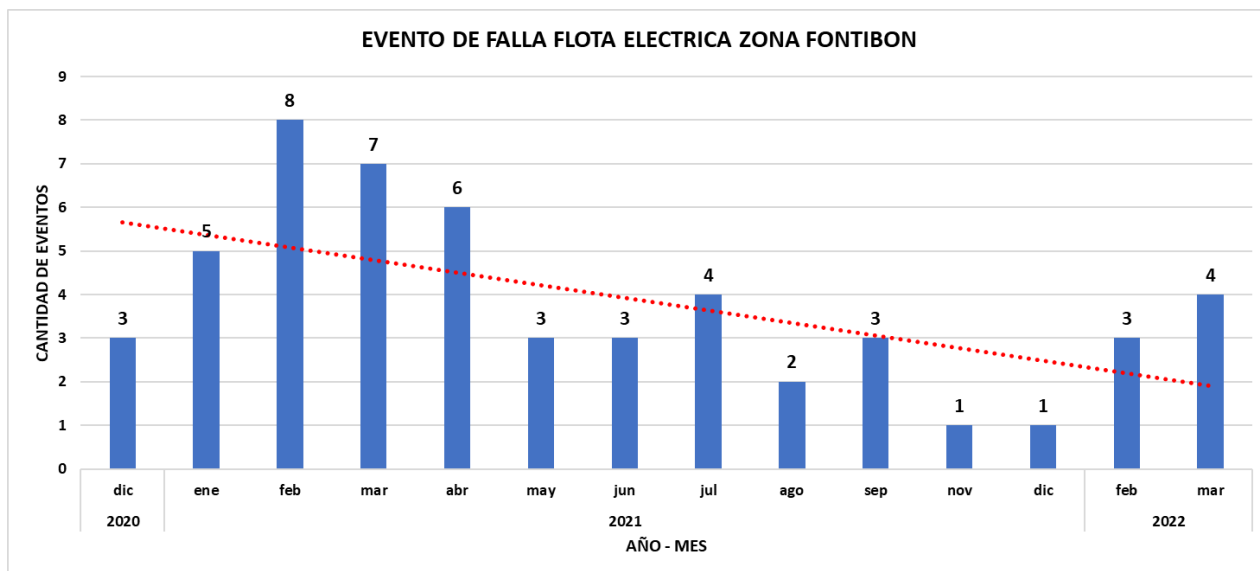
Figura 20*Eventos de falla por sistema flota eléctrica*

Nota. La figura indica la cantidad de eventos de falla por sistema de la flota eléctrica BYD B13S01 para el periodo entre 2020 a marzo 2022. Fuente propia.

A continuación, se realiza el análisis por cada una de las zonas de operación de la flota BYD B13S01, identificando cantidad de fallas en operación, y ubicación geográfica.

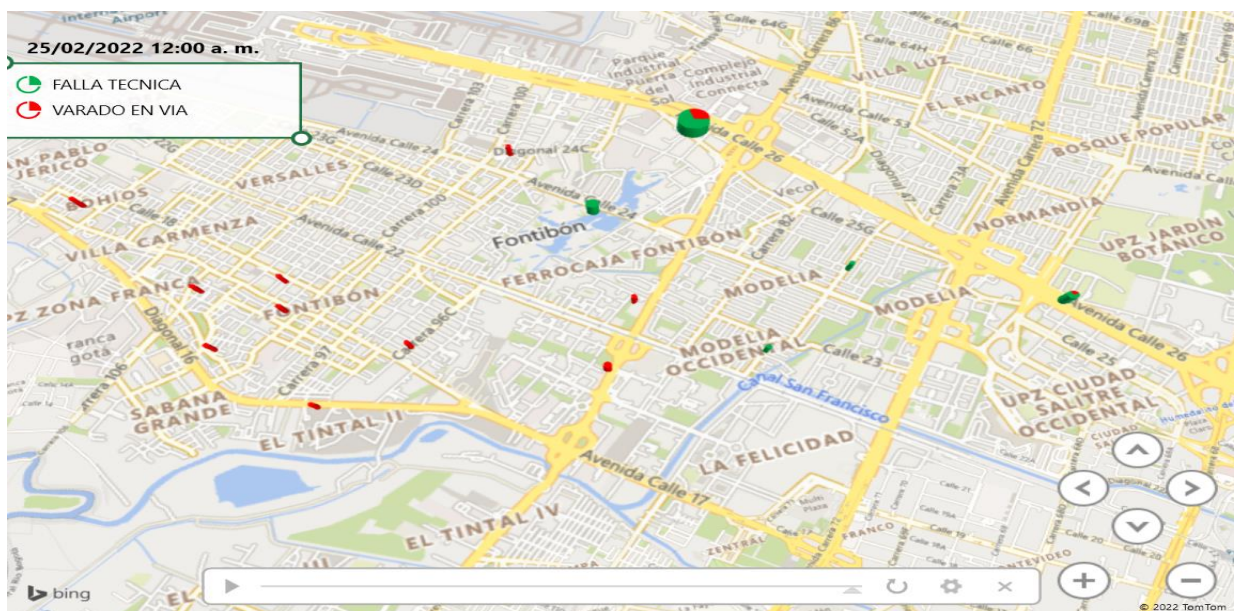
- Fontibón

Figura 21
Eventos de falla zona Fontibón



Nota. La figura indica la cantidad de eventos de falla en la zona de Fontibón para el periodo entre 2020 a marzo 2022. Fuente propia.

Figura 22
Mapa de calor zona Fontibón

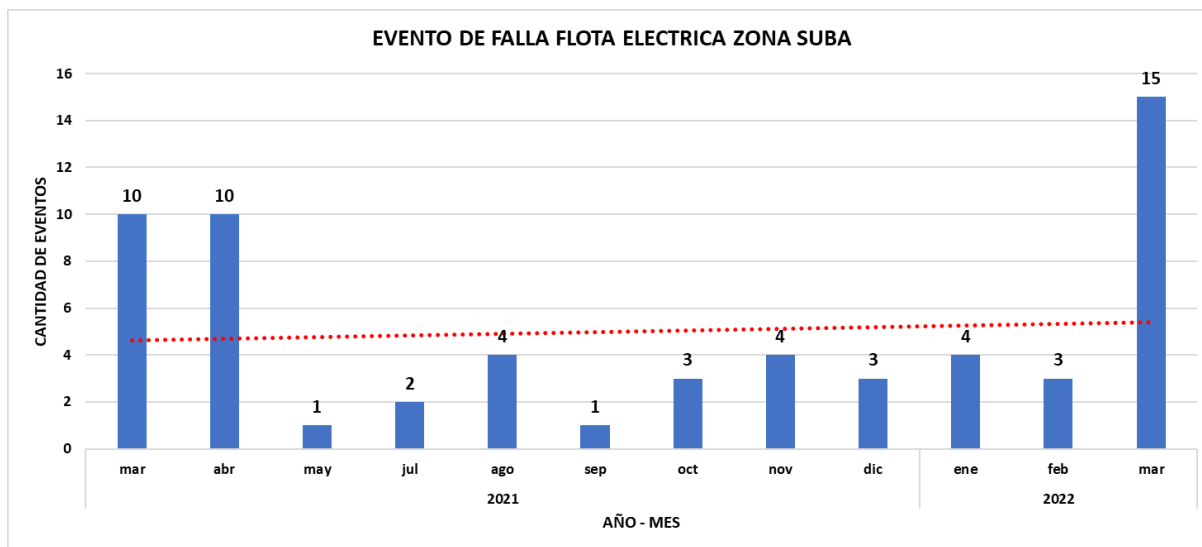


Nota. El mapa indica la ubicación de eventos de falla en la zona de Fontibón. Fuente propia.

- Suba

Figura 23

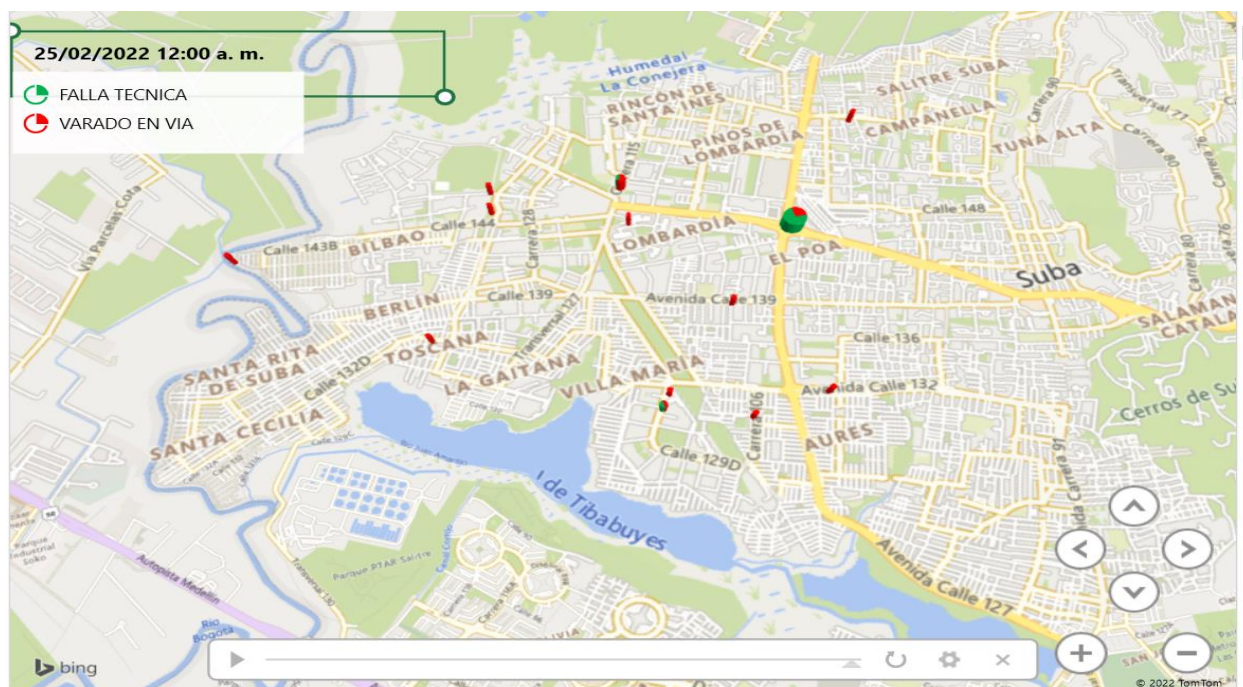
Eventos de falla zona Suba



Nota. La figura indica la cantidad de eventos de falla en la zona de Suba para el periodo entre 2020 a marzo 2022. Fuente propia.

Figura 24

Mapa de calor zona Suba

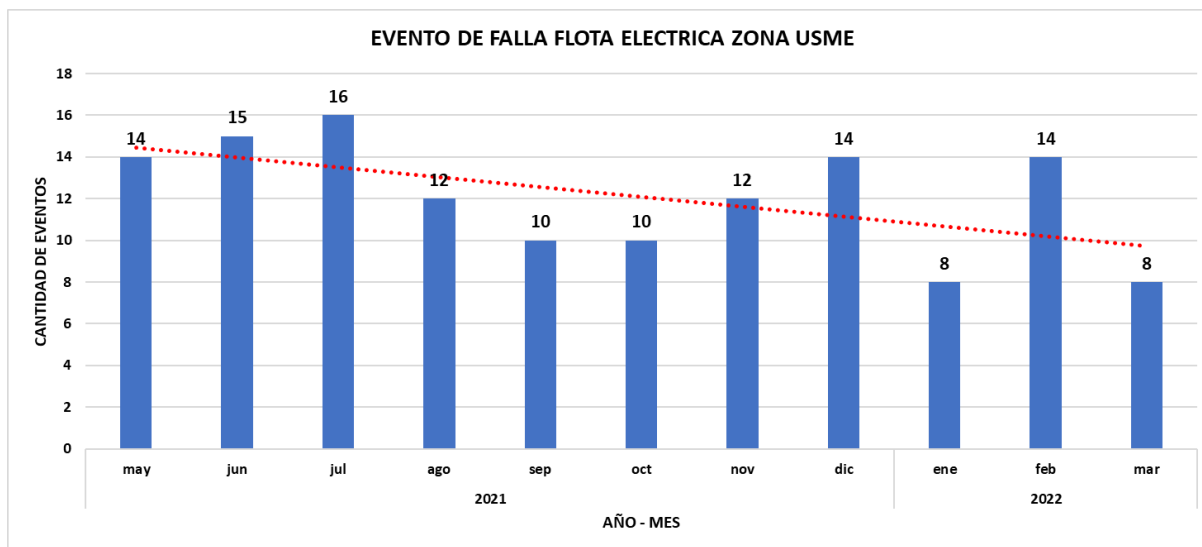


Nota. El mapa indica la ubicación de eventos de falla en la zona de Suba. Fuente propia.

- Usme

Figura 25

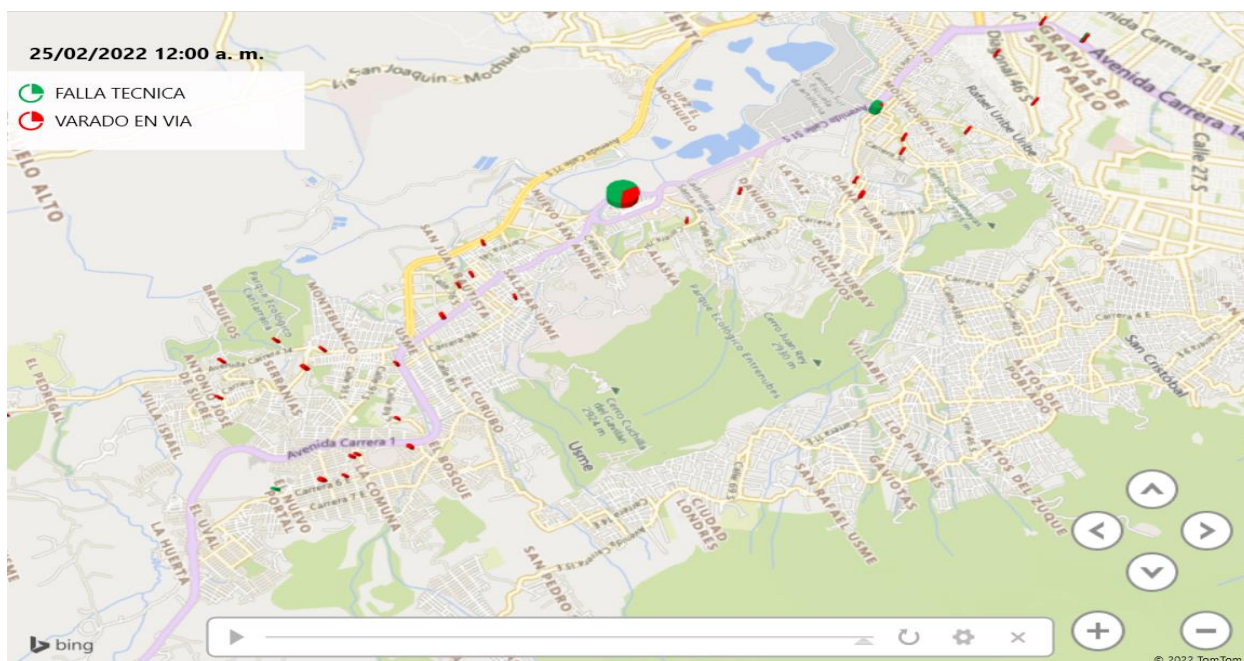
Eventos de falla zona Usme



Nota. La figura indica la cantidad de eventos de falla en la zona de Usme para el periodo entre 2020 a marzo 2022. Fuente propia.

Figura 26

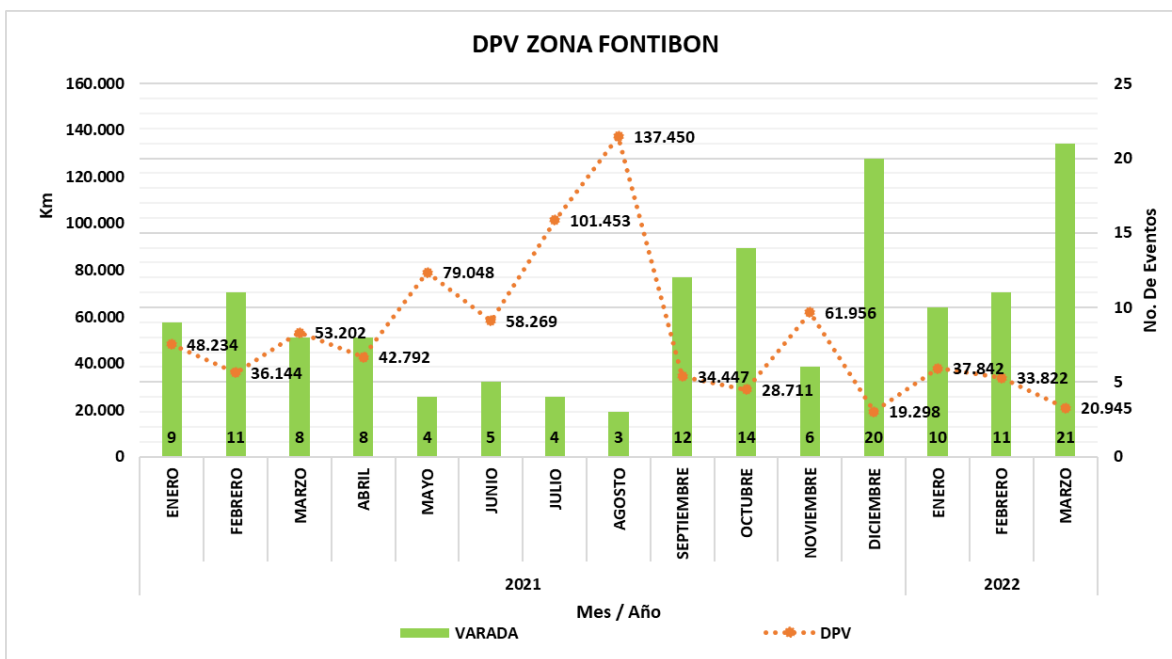
Mapa de calor zona Usme



Nota. El mapa indica la ubicación de eventos de falla en la zona de Suba. Fuente propia.

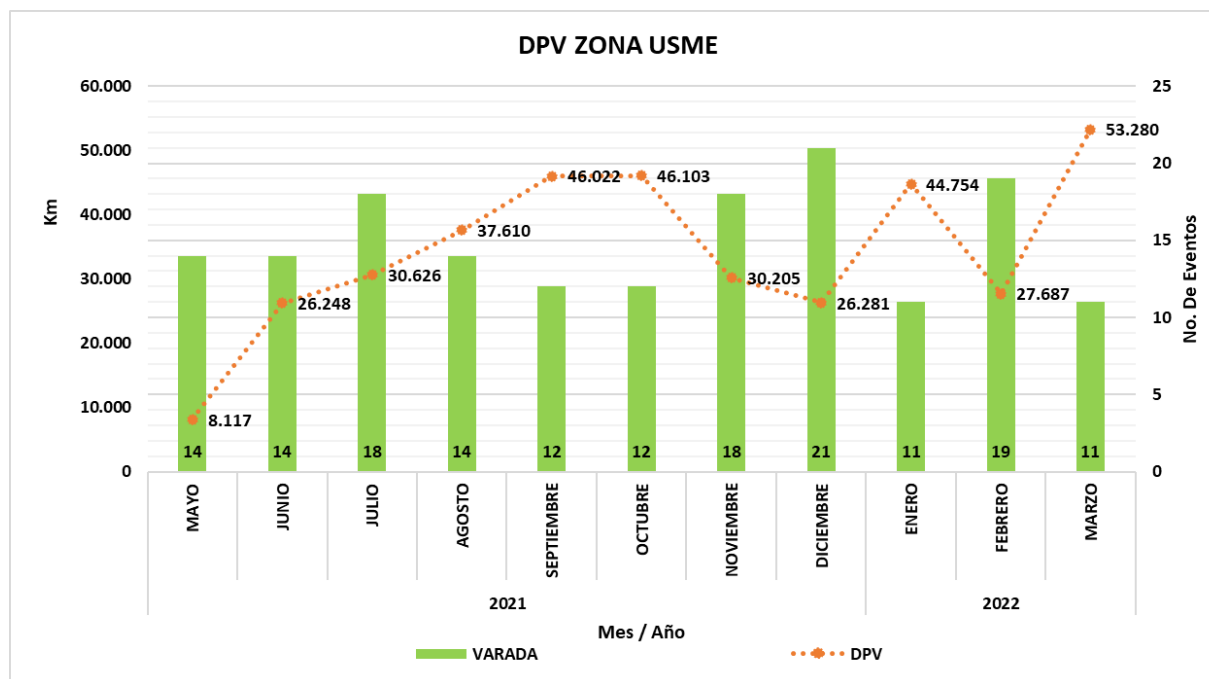
Así las cosas, se establece a continuación la medición del indicador de gestión de mantenimiento que mide la confiabilidad de la flota eléctrica BYD B13S01 en el sistema, dando como resultado lo siguiente:

Figura 27
Dpv zona Fontibón



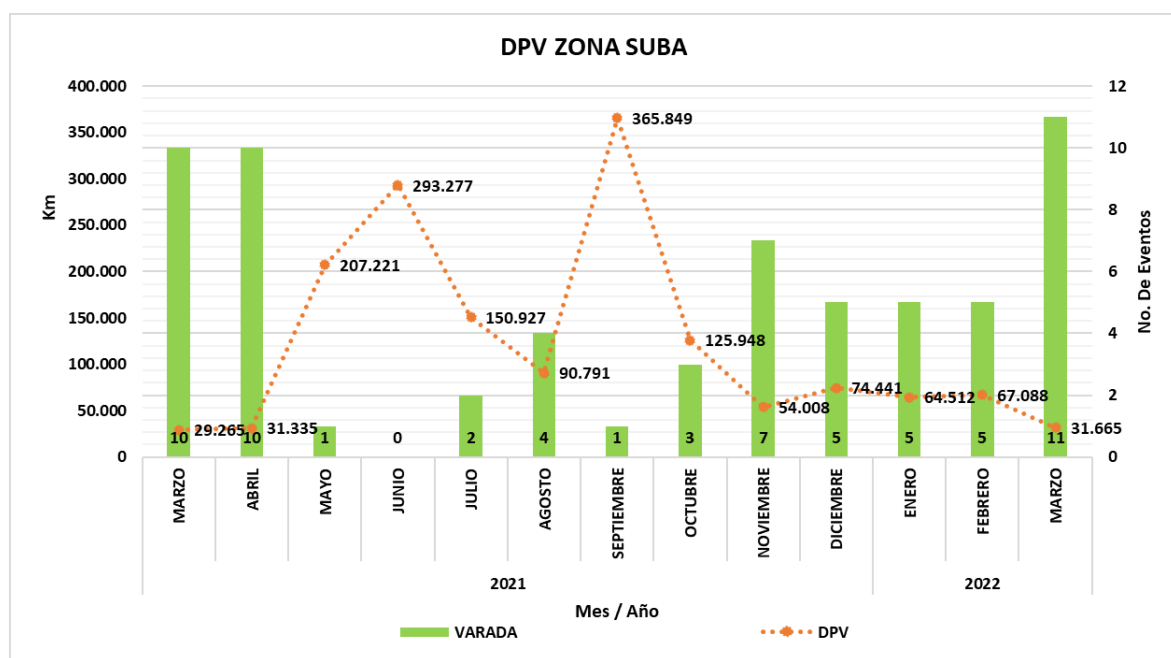
Nota. La figura muestra el comportamiento del indicador de gestión mantenimiento de la flota eléctrica BYD B13S01 adscritos a la zona de Fontibón. Fuente Transmilenio S.A

Figura 28
Dpv zona Usme



Nota. La figura muestra el comportamiento del indicador de gestión mantenimiento de la flota eléctrica BYD B13S01 adscritos a la zona de Usme. Fuente Transmilenio S.A

Figura 29
Dpv zona Suba



Nota. La figura muestra el comportamiento del indicador de gestión mantenimiento de la flota eléctrica BYD B13S01 adscritos a la zona de Suba. Fuente Transmilenio S.A.

De esta manera, realizada el análisis de modo y efecto de falla AMEF, implementado en este trabajo, con el fin de identificar de una forma clara los sistemas que necesitan mayor atención en la operación del sistema. Este se desarrolló con base al manual de fabricante y de allí, estimar la severidad, ocurrencia y sistemas de detención de cada modo de falla, teniendo en cuenta cada uno de los aspectos mencionados en el apéndice de recopilación de información.

Figura 30
Análisis de modo y efecto de falla

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA																											
NOMBRE		AMEF BUSES ELÉCTRICOS BYD B13S01		PREPARADO POR		INGENIEROS MECÁNICOS		No. AMEF		1																	
EQUIPO		ZAMIR TORRES		SEBASTIÁN POBARRAS		JULIAN PARRA		FECHA		1/01/2022																	
Área	Especialidad	Modos de falla	Efecto de falla	SEVERIDAD			TOTAL	CAUSA POTENCIAL			OCURRENCIA			CONTROL ACTUAL	DETECCIÓN			NPR	Acciones recomendadas			Responsable	U	U	NPR		
				A	B	C		A	B	C	A	B	C		A	B	C		A	B	C						
Frenos		Desajuste de alguno de los componentes mecánicos del sistema	Vibración excesiva de los componentes del sistema	9	9	10	9	Falta de ajuste en los sistemas por apriete de los componentes del sistema	3	4	5	4	Calibración de la herramienta- inspección visual	5	6	7	6	224	Socialización del procedimiento y adecuado funcionamiento de la herramienta	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	3	72			
		Desajuste de alguno de los componentes neumáticos del sistema	Pérdida de respuesta de la eficiencia de frenado	9	10	9	9	Falta de ajuste en los sistemas de apriete por los componentes del sistema	3	3	3	3	Calibración de la herramienta- inspección visual	4	5	4	4	121									
		Desgaste irregular del disco o las pastillas	Recalentamiento de los componentes por exceso de rozamiento	9	9	10	9	Desgaste prematuro de alguno de los elementos por exceso de temperatura	7	7	4	6	No existen	7	3	7	6	317	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	3	72			
			Generación de ruido por fricción	7	7	8	7	Desgaste anormal de los elementos por mala operación	7	5	4	5	Mantenimiento preventivo	4	4	5	4	169									
		Baja presión de aire en el sistema neumático	Bloqueo del sistema de frenos	10	10	10	10	Fugas en algún elemento del sistema neumático	8	8	5	7	No existen	6	6	3	5	350	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	5	3	120			
		Deficiente lubricación en mecanismos internos de caliper	Recalentamiento de los componentes por exceso de rozamiento	9	7	10	9	Fuga de lubricante por mangueras o conexiones del sistema	6	6	6	6	No existen	7	7	7	7	364	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	5	3	120			
			Generación de ruido por fricción	5	6	7	6	Ingreso de impurezas en el guillotaje	5	7	6	6	No existen	5	5	6	5	192									
		Testigo en tablero de instrumentos	Alerta de testigo desgaste de pastillas	9	8	8	8	Desgaste prematuro de pastillas	5	7	5	6	Check list operador	2	3	3	3	128									
			No hay regeneración al frenar	3	5	4	4	Falla eléctrica o mecánica del sistema	5	7	4	5	Check list operador	6	7	7	7	142									
		Neumático		Alta presión de aire en el sistema	La presión del sistema neumático aumenta fuera de parámetros	9	5	7	7	Falla en válvulas reguladoras de presión	5	3	5	4	Alistamiento	3	3	3	3	91							
Baja presión de aire en el sistema	La presión del sistema neumático disminuye fuera de parámetros			8	6	10	8	Fuga de aire por sistema neumático frenos, suspensión o puertas	5	4	5	5	Alistamiento	7	4	5	5	199									
Fuga de aire por tuberías, mangueras o componentes	Desajuste de alguno de los componentes del sistema			6	4	6	5	Vibración excesiva del sistema o falta de apriete	5	3	5	4	Calibración de la herramienta- inspección visual	3	4	4	4	85									
Ruido extraño en el compresor al momento de la carga	Falta de lubricación internamente en el compresor			7	6	7	7	Fuga de aceite por mangueras o acoples del sistema	3	3	7	4	Mantenimiento preventivo	2	3	7	4	116									
Testigo de tablero de instrumentos	El indicador no muestra la presión de aire en el sistema			9	3	7	6	Fricción excesiva de elementos	3	3	4	3	Alistamiento	7	6	7	7	96									
Alto nivel de aceite hidráulico	Derrame de aceite en el depósito			5	5	8	6	Inadecuada forma de llenado en el depósito	3	2	5	3	No existen	2	2	5	3	60									
Bajo nivel de aceite hidráulico	Fuga de aceite por mangueras, depósito o uniones del sistema			9	8	8	8	Rotura de mangueras, depósito o uniones del sistema	7	7	4	6	Alistamiento	2	2	5	3	150									
Dirección	Juego excesivo en la columna de dirección			Desgaste prematuro del volante, barra, caja o terminales	9	5	10	8	Falta de apriete o mala calidad de los componentes	4	2	6	4	Calibración de la herramienta- inspección visual	5	3	7	5	160								
	Vibración en el volante			Baja presión en bomba sistema de dirección	5	4	10	6	Falta de líquido lubricante en la bomba	4	3	6	4	Check list operador	2	3	7	4	110								
Suspensión				Ruido al dar dirección	Falta de ajuste de componentes del sistema	9	5	10	8	Desgaste prematuro de las roldanas, topes, terminales	4	3	5	4	Check list operador	2	2	7	4	117							
		Sistema con medida por debajo de la nominal	Amortiguador con bajo nivel de aceite o fuga de aceite	7	4	7	6	Mala operación del vehículo o mala calidad del amortiguador	4	3	5	4	Mantenimiento preventivo	4	3	2	3	72									
		Sistema con medida por encima de la nominal	Regulación de velocidad por suspensión elevada	5	5	4	5	Falla en la válvula de regulación	4	3	5	4		2	3	2	2	44									
		Fuga de aire por tuberías, mangueras o componentes	Desajuste de alguno de los componentes del sistema	6	4	6	5	Vibración excesiva del sistema o falta de apriete	6	6	4	5	Calibración de la herramienta- inspección visual	2	3	3	3	76									
		Desajuste de algunos componentes del sistema	Suspensión des nivelada	9	9	9	9	Varilla niveladora desacoplada	6	6	3	5	Check list operador	4	3	4	4	165									
		Refrigeración	Desajuste de algunos componentes del sistema	Desajuste tornillería de componentes suspensión (barras, terminales, brazos, amortiguadores) bujes	5	4	5	5	Tornillería no tiene el torque requerido	5	6	5	5	Calibración de la herramienta- inspección visual	5	4	4	4	108								
			Nivel de refrigerante elevado	Sobrepresión del sistema, genera derrame de refrigerante	7	2	7	5	Se ejecuta de forma incorrecta el llenado del depósito	4	2	6	4	No existen	2	2	5	3	64								
		Monte		Nivel de refrigerante bajo	Fuga de refrigerante por mangueras, depósito o uniones del sistema	3	4	4	4	Bomba de agua en mal estado	4	4	3	4	Alistamiento	4	4	5	4	58							
				Recalentamiento del sistema	Rotura del enfriador o ventilador	9	5	7	7	Falta de material por fatiga	4	3	5	4	Alistamiento	2	3	4	3	84							
				Testigo de tablero de instrumentos	Alerta de testigo por alta temperatura	10	10	10	10	Falla eléctrica en el sensor	6	6	5	6	Check list operador	4	4	4	4	227	Capacitación al operador para detección de fallas de forma preventiva	EQUIPO DE TRABAJO	7	3	5	105	
Nivel de aceite elevado	Derrame de aceite en los reductores			7	4	5	5	Se ejecuta de forma incorrecta el llenado de los reductores	4	2	2	3	No existen	8	3	6	6	81									
Nivel de aceite bajo	Fuga de aceite por mangueras, depósito o uniones del sistema	4	5	4	4	Rotura de mangueras, depósito o uniones del sistema	4	2	5	4	No existen	5	5	5	5	79											

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA																								
NOMBRE		AMF BUSES ELÉCTRICOS BYD B13501										PREPARADO POR		INGENIEROS MECANICOS				No. AMEF		1				
EQUIPO		ZAMIR TORRES SERGIO PORRAS JULIAN PARRA										ENTIDAD		TRANSMILENIO S.A.				FECHA		1/01/2022				
Area	Especialidad	Modos de falla	Efecto de falla	SEVERIDAD				Causa potencial	OCURRENCIA			CONDICIONES EXISTENTES				RESULTADO DE LAS ACCIONES								
				A	B	C	TOTAL		A	B	C	TOTAL	Control actual	DETECCION			NPR	Acciones recomendadas		Responsable	C	U	NPR	
Baterías	Desajuste en soportes baterías	Oscilación del pack de baterías	6	3	6	5	Vibración excesiva de los componentes del sistema	3	3	5	4	No existen	7	2	8	6	104							
		Desgaste irregular entre pack de baterías	7	4	7	6	Desgaste de batería	3	3	7	4	Mantenimiento preventivo	3	6	6	5	130							
		Desajuste baterías de 12V	7	7	6	7	Falta de balance entre los pack de baterías del bus	3	2	2	2	Mantenimiento preventivo	7	8	8	8	119							
		Carga deficiente de baterías	7	6	7	7	Falta de mantenimiento, sulfatación de bornes o falta de electrolito	6	5	6	6	No existen	8	7	7	7	277	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	6	3	144	
		Desgaste en instalación de comunicación entre BIC, BCM y BMS	7	8	8	8	Temperatura inferior/mayor al rango de trabajo nominal	4	3	3	3	No existen	8	8	7	8	196							
	Sistema de Alto voltaje	Desajuste en instalación de alta	Falta de señal de comunicaciones	8	6	7	7	Ruido de cables con estructura, diagnóstico incorrecto y tensión excesiva en cable	3	2	3	3	No existen	8	7	7	7	137						
			Daño es pack de baterías por accidente	8	6	10	8	Daño físico en baterías HVS por accidente	3	4	8	5	No existen	3	3	2	3	107						
			Testigo activo en tablero de instrumentos	7	6	7	7	Daños en baterías o instalación de LVS	3	3	5	4	Check list operador	2	3	2	2	57						
			Salto en SOC	7	6	7	7	No es estable el estado de carga de las baterías	7	6	7	7	Falta balance de baterías	3	4	5	4	Check list operador	2	3	2	2	62	
			Desajuste instalación de alta	10	4	7	7	Cables y protecciones en malas condiciones por roce con chasis o estructura	4	2	7	4	Instalación sin sujeción correcta	3	4	10	6	172						
		Desajuste en conector de mantenimiento	El sistema HVS no tiene una alimentación constante, eleva temperatura en los cables y componentes	10	7	7	8	Falta de ajuste en el conector de mantenimiento	2	3	7	4	Alistamiento	2	3	7	4	128						
			Falla en sistema de compresor, carga de aire de sistema de frenos, suspensión y puertas	6	5	8	6	Falta de conexión entre 6 en 1 y compresor de aire	4	3	5	4	Mantenimiento preventivo	6	3	9	6	152						
			Desajuste conexiones entre equipos de HVS	7	8	8	8	Falta de conexión entre 6 en 1 y bomba de dirección	3	3	3	3	Mantenimiento preventivo	6	7	7	7	153						
			Falla en sistema de dirección	6	7	6	6	Falta de conexión entre 6 en 1 y desarmadores	4	3	4	4	Mantenimiento preventivo	7	8	7	7	170						
			Falla en motores de tren motriz	8	8	8	8	Falta de conexión entre 6 en 1 y motores del tren motriz	4	4	4	4	Mantenimiento preventivo	8	7	7	7	235	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de alto voltaje	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	5	195
Sistema de Bajo voltaje	Rotura instalación de alta	Falla en carga inteligente	7	8	8	8	Falta de conexión entre 6 en 1 y DC-DC	3	3	2	3	Mantenimiento preventivo	7	8	7	7	150							
		Perdida de alimentación entre componentes de HVS por rotura en instalación	7	4	8	6	Instalación sin sujeción correcta	6	3	5	5	Mantenimiento preventivo	7	7	8	7	217	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de alto voltaje	EQUIPO DE TRABAJO	8	2	4	72	
		Testigo en tablero por falla en instalación de alta	6	2	8	5	Perdida de señales y presencia de testigos en tablero de operador	2	4	5	4	Check list operador	3	3	4	3	65							
		Desajuste instalación de bajo tensión	6	4	7	6	Cables y protecciones en malas condiciones por roce con chasis o estructura	6	3	7	5	Mantenimiento preventivo	6	3	10	6	170							
		Desajuste en master de bajo tensión	6	3	7	5	Uso de fuerza desmedida para armado desdiciado	3	4	7	5	No existen	3	3	7	4	108							
	Rotura instalación de baja tensión	Desajuste conexiones entre unidades de mando	6	4	7	6	Falla en conexiones en los enlaces de datos	7	3	5	5	No existen	7	3	3	4	123							
		Rotura instalación de baja tensión	8	8	8	8	Instalación sin sujeción correcta	4	3	5	4	No existen	7	7	8	7	235	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de bajo voltaje	EQUIPO DE TRABAJO	8	2	4	72	
		No encienden los accesorios de baja tensión	9	4	8	7	Perdida de alimentación en componentes de carrocería o chasis a baja tensión	6	2	5	4	Mantenimiento preventivo	1	5	5	4	103							
		Testigo en tablero por falla en instalación del sistema de LVS	9	7	8	8	Perdida de señales y presencia de testigos en tablero de operador	5	2	5	4	Check list operador	5	2	5	4	128							
		No encienden rúters	9	5	9	8	No hay comunicación entre el enlace de datos del sistema de rúters	5	4	6	5	Mantenimiento preventivo	3	3	8	5	179							
Comunicaciones	No enciende el sistema de comunicaciones	No encienden pantalla cámaras de vigilancia	5	5	4	5	No hay comunicación entre el enlace de datos del sistema de cámaras	4	2	3	3	Mantenimiento preventivo	5	4	4	4	61							
		No enciende cámara de vigilancia	4	4	3	4	No hay comunicación entre el enlace de datos del sistema de cámaras	3	4	3	3	Mantenimiento preventivo	4	5	4	4	53							
		No enciende UL	3	4	5	4	No hay comunicación entre el enlace de datos del sistema de UL	4	3	3	3	Mantenimiento preventivo	4	5	5	5	62							
		No enciende informador interno	4	5	4	4	No hay comunicación entre el enlace de datos del sistema de información interna	3	2	4	3	Mantenimiento preventivo	4	5	5	5	61							
		No enciende equipos de voz	5	3	4	4	No hay comunicación entre el enlace de datos del sistema de comunicación de voz	4	2	4	3	Mantenimiento preventivo	4	4	4	4	53							
		Alto nivel de aceite en la unidad de mantenimiento	3	4	5	4	Se ejecuta de forma incorrecta el llenado del depósito	4	3	4	4	No existen	3	3	7	4	64							
Carrocería	Puestas	Bajo nivel de aceite en la unidad de mantenimiento	7	7	6	7	Falta de apriete en el tornillo de ajuste	4	5	4	4	Calibración de la herramienta-inspección visual	3	2	7	4	116							
		Fisuras en el dispositivo de paso de aceite	4	5	5	5	Mala calidad del material	4	3	4	4	Mantenimiento preventivo	5	5	5	5	86							
		Movimiento excesivo en las hojas de las puertas	7	7	7	7	Falla en las rotulas y rodamientos de las puertas	6	8	5	7	Alistamiento	6	6	5	6	278	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de carrocería	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	3	72	
	Desajuste del sistema de apertura y cierre de puertas	Desajuste tornillos soporte hoja puerta de servicio. (tornillos que ajustan el mastil y la hoja)	6	6	7	6	No se aplica el torque requerido en fabrica	3	3	3	3	Calibración de la herramienta-inspección visual	4	4	5	4	82							
		Desajuste de correa fuerza hoquilla booster	7	4	6	6	No se aplica el torque requerido en fabrica	4	2	4	3	Calibración de la herramienta-inspección visual	3	2	3	3	50							
		Empaques puerta de servicio	7	3	9	6	Desajuste por funcionamiento normal	4	2	9	5	Alistamiento	3	2	9	5	148							
		Desajuste en lefion patin	7	4	5	5	Desajuste por funcionamiento normal	4	2	3	3	Mantenimiento preventivo	3	2	5	3	53							
		Desajuste estrías mastil	7	4	6	6	Falta de ajuste en tornillo prisionero	4	2	4	3	Mantenimiento preventivo	5	3	4	4	76							
		Desajuste escobillas puertas	7	2	3	4	Desajuste por funcionamiento normal	4	2	6	4	Mantenimiento preventivo	2	2	5	3	48							
		Desajuste bueje puerta de servicio (bueje pasador entre hoquilla y bala puerta)	7	5	6	6	Desajuste por funcionamiento normal	4	3	5	4	Mantenimiento preventivo	6	2	4	4	83							
		Desajuste rodamientos mastil	7	4	5	5	Desajuste por funcionamiento normal	4	2	5	4	Mantenimiento preventivo	5	3	6	5	91							
		Fuga de aire por sistema neumático de apertura y cierre	8	8	8	8	El sistema no sostiene la carga , permitiendo un inadecuado funcionamiento de apertura y cierre	5	5	4	5	Alistamiento	2	2	7	4	137							
	Llantas	Llantas	Testigo en el tablero	9	9	8	9	Falta calibración de finales de carrera cilindro puertas	7	7	4	6	Check list operador	2	2	4	3	139						
			Desajuste de Pernos en llantas	9	9	10	9	Después de intervención no se aplica el torque que indica fabricante	4	2	5	4	Calibración de la herramienta-inspección visual	6	5	10	7	240	Socialización del procedimiento y adecuado funcionamiento de la herramienta	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	3	81
			Desajuste de Pernos en llantas	6	6	5	6	No se realiza alineación en los km establecidos por fabrica	5	6	5	5	Alistamiento	6	6	5	6	171						
Llantas con desgaste irregular			6	6	6	6	Componentes sistema de dirección desgastados	5	4	5	5	Mantenimiento preventivo	6	5	6	6	159							
		10	10	10	10	Baja presión de aire	4	3	5	4	Mantenimiento preventivo	2	2	3	2	93								

Nota. Formato AMEF realizado a la flota de buses eléctricos BYD B13S01. Fuente propia

6.2 Análisis de la información

De acuerdo con el análisis AMEF realizado para los buses eléctricos de marca BYD B13S01 se busca definir los sistemas más críticos con el NPR más alto, los cuales, teniendo en cuenta el análisis, entran a verificación y ajuste en el plan de mantenimiento, basado en la siguiente clasificación.

Tabla 13
Número prioritario de riesgo

NUMERO PRIORITARIO DE RIESGO	
Prioridad	Riesgo
500 - 1000	Alto riesgo de falla
125 - 499	Riesgo de falla medio
2 - 124	Riesgo de falla bajo
0 - 1	No existe riesgo de falla

Nota. La tabla muestra la calificación del NPR para la AMEF. Fuente propia

Luego de realizar el análisis AMEF, podemos observar que el NPR más alto es de 364, lo que nos muestra que no existe ningún sistema con un riesgo alto de falla, no obstante, se seleccionan aquellos componentes que superan el NPR con valor de 200 (Ver Anexo 2).

Tabla 14
Resultado AMEF

NOMBRE		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA																					
EQUIPO		PREPARADO POR		INGENIEROS MECANICOS						No. AMEF		1											
		JAMIR TORRES		TRANSCHILENO S.A.						FECHA		10/02/2022											
		SERGIO POBOS																					
		JULIAN PARRA																					
Área	Especialidad	Medio de falla	Efecto de falla	SEVERIDAD				OCURRENCIA				CONDICIONES EXISTENTES				NPR	Riesgo de la falla						
				1	2	3	4	1	2	3	4	Control actual	DETECCION		Acciones recomendadas		Preparado	NI					
Mecánica	Frenos	Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Vibración excesiva de los componentes del sistema	9	9	10	9	Falta de ajuste en la rótula por ajuste de los componentes del sistema	3	4	5	4	Calibración de la herramienta de inspección visual	5	6	7	6	124	Sozialización del procedimiento y adecuada funcionamiento de la herramienta	EQUIPO DE TRABAJO	9	3	72
		Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Recalentamiento de los componentes por ajuste de la presión	9	9	10	9	Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	7	7	4	6	No existen	7	3	7	6	317	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	72
		El ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Blqueo del sistema de frenos	10	10	10	10	Fuera de especificación del sistema de frenos	0	0	5	7	No existen	6	6	3	5	350	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	120
	Refrigeración	Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Recalentamiento de los componentes por ajuste de la presión	9	7	10	9	Fuera de especificación del sistema de frenos	6	6	6	6	No existen	7	7	7	7	364	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	120
		Alerta de temperatura alta	Alerta de temperatura alta	10	10	10	10	Falla eléctrica en el sensor	6	6	5	6	Checklist operador	4	4	4	4	227	Capacitación al operador para detección de fallas de forma preventiva	EQUIPO DE TRABAJO	7	3	105
		Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Falta de ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	7	6	7	7	Falta de mantenimiento, pulido de la barra o falta de lubricación	6	5	6	6	No existen	0	7	7	7	277	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema frenos	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	144
Electricidad	Sistema de Alta Voltaje	Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Falla en el motor de tracción	0	0	0	0	Falla de conexión entre los cables de alta tensión	4	4	4	4	Mantenimiento preventivo	0	7	7	7	235	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de alta voltaje	EQUIPO DE TRABAJO	9	3	135
		Falta de instalación de alta tensión	Falta de instalación de alta tensión	7	4	0	6	Instalación incorrecta de los cables de alta tensión	6	3	5	5	Mantenimiento preventivo	7	7	0	7	217	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de alta voltaje	EQUIPO DE TRABAJO	9	2	72
	Sistema de Baja Voltaje	Falta de ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Falta de ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	0	0	0	0	Instalación incorrecta de los cables de alta tensión	4	3	5	4	No existen	7	7	0	7	235	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de alta voltaje	EQUIPO DE TRABAJO	9	2	72
Carrocera	Puente	Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Maximización de la vida útil de los componentes	7	7	7	7	Falla en la regulación de los sensores de la carrocera	0	0	5	7	Ajustamiento	6	6	5	6	270	Incluir en rutina de mantenimiento del sistema de alta voltaje	EQUIPO DE TRABAJO	8	3	72
	Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	Maximización de la vida útil de los componentes	9	9	10	9	Durante el ajuste de la presión de los componentes mecánicos del sistema	4	2	5	4	Calibración de la herramienta de inspección visual	6	5	10	7	240	Sozialización del procedimiento y adecuada funcionamiento de la herramienta	EQUIPO DE TRABAJO	9	3	91	

Por lo cual, para el cumplimiento del objetivo 3 “Establecer las nuevas rutinas necesarias para la ejecución del plan mantenimiento, junto con sus actividades a desarrollar” se logró

identificar sistemas que requieren ajuste de acuerdo con el análisis AMEF realizado previamente, asimismo, se logra identificar varios requerimientos que están establecidos por el manual de especificaciones técnicas de Transmilenio S.A., así como, observaciones netamente de la experiencia de la operación, por lo que, las solicitudes deben ser incluidas en la nueva propuesta, de acuerdo con lo dispuesto en los contratos de concesión, y que no fueron incluidos en la etapa inicial.

A continuación, se listan los ítems a incluir en la propuesta:

- Se debe incluir actividades de revisión con una rutina frecuente del sistema de puertas, el plan inicial indica una frecuencia de 100.000 km, y de acuerdo con la experiencia del sistema, es muy alto para la cantidad de ciclos de apertura y cierre que realiza cada bus.
- Se debe generar una revisión del sistema de frenos, carga del sistema de aire, estado de mangueras hidráulicas, estado de pastillas de freno, mordazas y discos.
- Se debe generar una revisión del sistema de dirección, verificar fugas de aceite, estado de mangueras, estado de bomba eléctrica, estado de brazo pitman y estado de columna de dirección.
- Se debe incluir alineación y balanceo de llantas.
- Se debe generar una revisión al sistema de suspensión, líneas neumáticas, fuelles, barras, carga de aire del sistema.
- Se debe generar una revisión de carrocería interna (pasamanos, sillas, cinturones de seguridad, cantoneras, tableros laterales).
- Se debe incluir revisión de sistemas de accesibilidad (plataformas de acceso).
- Se debe incluir los sistemas de sensores de peso.

- Se debe incluir actividades de calibración de dispositivos de sensores de peso con una frecuencia anual, según se indica en el anexo 1 del contrato.
- Se debe incluir la calibración de tacógrafo.
- Se debe incluir rutinas de desmanche, fumigación y brillo pintura, según lo especificado en el Anexo 1 del contrato, el cual indica las frecuencias de 90, 120 y 180 días respectivamente.

6.3 Propuesta de solución

Una vez realizado el análisis AMEF, la recopilación de fallas, seguimiento de recomendaciones de la operación y los contratos, se logró establecer el nuevo plan de mantenimiento para la flota eléctrica de referencia B13S01, de la siguiente manera (Ver Anexo 3).

De la propuesta podemos definir un total de nueve (9) rutinas de mantenimiento, discriminadas por sistemas, subsistemas, actividades y cantidad de horas de trabajo para realizar en cada una, como se muestra a continuación:

Para facilitar la lectura de los diferentes sistemas a intervenir, se utilizaron las siguientes convenciones:

Tabla 15

Listado de convenciones

Sistema	Abreviatura
Alineación	ALI
Baterías	BAT
Carrocería	CAR
Chasis	CHA
Comunicación	COM
Dirección	DIR
Eléctrico	ELE
Frenos	FRE
Habitáculo	HAB
Imagen	IMG
Lavado	LAV
Llantas	LLA

Lubricación	LUB
Mecánica	MEC
Neumático	NEU
Pintura	PIN
Puertas	PUE
Refrigeración	REF
Rodaje	ROD
Sistema de Alto Voltaje	SHV
Sistema de Bajo Voltaje	SLV
Suspensión	SUS

Tabla 16*Cantidad de actividades por sistema*

Cantidad De Actividades Por Sistema / Km							
SISTEMA / KM	CAR	ELE	IMG	LLA	LUB	MEC	Total
5.000	4	6			1	6	17
15.000		20	1	2		13	36
30.000	40	26	1		10	5	82
45.000			10			5	15
60.000	7	7				20	34
70.000					3		3
120.000	4				3	4	11
240.000	1	1				10	12
400.000		2					2
Total	56	62	12	2	17	63	212

En la tabla anterior, se muestra un resumen del nuevo plan de mantenimiento, discriminado por rutinas y sistemas a ejecutar cada actividad, en el, se puede evidenciar que la rutina con más número de actividades es la de 30.000 km , con un total de 82 actividades, es importante mencionar, que en el momento de realizar la rutina de 30.000 km de debe incluir la rutina de 15.000 km y 5.000 km , es decir, que al momento de realizar la rutina de 30.000 se suman las actividades de 15.000 km y 5.000 km para su correcta realización.

Tabla 17*Cantidad de actividades por especialidad y componente*

Cantidad De Actividades Por Especialidad Y Componente	
5.000	17
COM	5
REF	4

Cantidad De Actividades Por Especialidad Y Componente	
PUE	3
FRE	2
SLV	1
HAB	1
LUB	1
15.000	36
SLV	20
SUS	7
DIR	6
LLA	1
ALI	1
LAV	1
30.000	82
HAB	23
COM	18
PUE	17
LUB	10
SHV	8
FRE	5
PIN	1
45.000	15
PIN	10
REF	5
60.000	34
FRE	11
CHA	6
NEU	6
SLV	5
ROD	3
BAT	1
PUE	1
SHV	1
70.000	3
LUB	3
120.000	11
ROD	4
PUE	4
LUB	3
240.000	12
FRE	4

Cantidad De Actividades Por Especialidad Y Componente	
DIR	3
NEU	2
REF	1
SLV	1
HAB	1
400.000	2
SLV	2
Total	212

A continuación, se realiza un resumen del nuevo plan de mantenimiento discriminado por cantidad de actividades a realizar por especialidad (212 actividades), observando que en su gran mayoría se presta atención a los sistemas de bajo voltaje, puertas y habitáculo, que en esencia son sistemas de sensores de peso, sistema eléctrico (encendido, limpia parabrisa, tacógrafo, códigos de falla, etc.) y actividades de inspección y verificación del funcionamiento del conjunto de puertas.

Tabla 18

Cantidad de actividades por especialidad nuevo plan de mantenimiento

Cantidad De Actividades Por Especialidad	
SLV	29
PUE	25
HAB	25
COM	23
FRE	22
LUB	17
PIN	11
REF	10
DIR	9
SHV	9
NEU	8
ROD	7
SUS	7
CHA	6
BAT	1
LAV	1
ALI	1
LLA	1
Total	212

En este sentido, se muestra en las siguientes tablas, la cantidad de horas de trabajo que se requieren para realizar cada una de las rutinas, evidenciando que las que requieren más tiempo de trabajo son las rutinas de 60.000 km y 240.000 km, por lo que se requieren hacer intervenciones de sistemas importantes como grupo frenos, alto voltaje, bajo voltaje, neumático, entre otros.

Tabla 19

Cantidad tiempo por kilometraje

Cantidad Tiempo Por Km	
5.000	6,4
15.000	11,9
30.000	23,0
45.000	3,6
60.000	53,6
70.000	1,0
120.000	14,2
240.000	53,5
400.000	4,0
Total	171,1

Asimismo, se realiza un resumen de cantidad de horas de trabajo por especialidad, el cual nos muestra que el sistema de frenos, bajo voltaje y dirección, son los sistemas que consumen el mayor tiempo de reparación, inspección y verificación, en total sumando todas las actividades a realizar, nos da un tiempo de 171,1 horas de trabajo, es importante aclarar que varias de las actividades se pueden realizar de manera conjunta.

Tabla 20

Cantidad tiempo por especialidad

Cantidad Tiempo Por Especialidad	
FRE	33,5
SLV	20,8
DIR	17,3
NEU	17,1
PUE	16,0
REF	9,8
ROD	9,4

BAT	8,0
LUB	7,4
HAB	6,3
PIN	5,5
SHV	5,5
CHA	4,5
LAV	3,0
COM	2,3
LLA	2,0
SUS	1,7
ALI	1,0
Total	171,1

7. Resultados

7.1 Resultados alcanzados

- Se realizó la taxonomía e identificación de las necesidades del proceso.
- Se realizó el proceso de la AMEF, el cual a partir del desarrollo del NPR se identificaron los sistemas más críticos.
- Se identificaron actividades de mantenimiento que no estaban contempladas por el fabricante y que de acuerdo con el contexto operacional del sistema se incluyeron dentro del plan de mantenimiento.
- Se realizó la nueva propuesta del plan de mantenimiento a realizar

7.2 Resultados esperados

Se espera que a partir de haber realizado la AMEF y de la implementación de las nuevas actividades en el plan de mantenimiento, los sistemas críticos identificados, tengan una disminución del número prioritario de riesgo, lo cual llevara a tener una mayor confiabilidad y disponibilidad de la flota, y asimismo con la disminución de las novedades presentadas en vía.

8. Análisis financiero

De acuerdo con las rutinas de mantenimiento planteadas para el ajuste del plan de mantenimiento, se presenta un análisis financiero de las inversiones que se van a realizar con relación a las posibles disminuciones de los costos de mantenimiento.

Para este análisis se toma en cuenta lo plasmado en el manual de niveles de servicio del sistema, el cual contempla el cálculo de la gestión de mantenimiento del concesionario por temas relacionados al mantenimiento de los buses, tales como, presentar novedad al momento de estar operando, perder el servicio a causa de la varada del vehículo, el no cumplimiento de indicadores de mantenimiento y adicional se tienen en cuenta otros costos relacionados con la atención en vía (grúa, carro taller).

Para medir la gestión de mantenimiento del concesionario se utiliza el indicador distancia promedio de varadas (DPV), el cual mide la distancia promedio entre las fallas que presentan los buses, es decir, entre mayor sea este indicador, mayor será la confiabilidad de la flota, a continuación, se muestran los valores de referencia para el cálculo del indicador DPV, el cual se obtiene dividiendo el kilometraje recorrido por la totalidad de la flota del concesionario entre la cantidad de buses varados en el mes.

Tabla 21

Valores de referencia calculo indicador DPV

Indicador	Valor estándar	Valor crítico
Alimentación	35.000 km	22.000 km

Nota. La tabla nos muestra los límites del indicador DPV. Fuente Transmilenio S.A.

Para el caso de que algún bus requiera asistencia técnica, ya sea por medio de grúa o carro taller, se requiere por parte del concesionario asumir los costos de estos servicios y el desplazamiento del personal técnico al punto de la varada.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente relación de costos y reducciones asociados a una varada de un bus y que pueden afectar el proceso de mantenimiento.

Tabla 22

Costos varada en vía

Descripción	Costo
Multa TMSA por perdida servicio	\$460.000
Multa TMSA Bus varado	\$460.000
Multa TMSA Problemas mecánicos (se supera el tiempo máximo definido para levantar el vehículo del sitio en el que presenta el problema)	\$460.000
Servicio de Grúa	\$1.000.000
Total	\$2.880.000

Nota. La tabla nos muestra los costos en que incurre un concesionario cuando un vehículo presenta una falla en operación. Fuente propia

Como se observa en la tabla anterior el costo por bus causado por una varada en vía asciende hasta los \$2.880.000, teniendo en cuenta que, en un año el promedio de casos de varadas presentados es de 125 eventos, el costo de estas varadas seria de \$359.040.000.

Con base en la propuesta de solución, los sistemas con mayor afectación identificados en el AMEF y las rutinas faltantes que se hacen necesarias implementar en el plan de mantenimiento, se requiere una inversión para llevar a cabo estas mejoras, a continuación, se muestra la inversión necesaria para la puesta en marcha del plan de mantenimiento.

Tabla 23

Costos de inversión

Descripción	Inversión
Investigadores	\$10.000.000
Capacitación al personal	\$6.000.000
Actualización o compra de equipos	\$10.000.000
Total inversión	\$26.000.000

Nota. La tabla nos muestra los costos de inversión necesarios para la puesta en marcha del plan de mantenimiento. Fuente propia

Para la implementación del plan de mantenimiento se debe tener en cuenta la capacitación del personal involucrado en todo el proceso de mantenimiento, así como la compra de herramienta especializada necesaria para realizar las nuevas rutinas a implementar.

Con la implementación del plan de mantenimiento se espera la disminución de un 30% de las varadas, lo que llevaría al descenso de los costos asociados a varadas de \$107.712.000, de tal manera que para determinar el retorno de la inversión se utiliza la siguiente formula:

$$ROI = \frac{BENEFICIO - INVERSIÓN}{INVERSIÓN}$$

$$ROI = 3,14 \%$$

De esta manera se obtiene un retorno a la inversión durante el primer año, con un beneficio de \$107.712.000 y una inversión de 26.000.000 de 3,14%, aunado a este retorno, la disponibilidad de la flota aumentará, así como, el indicador distancia promedio de varadas al presentar menos novedades en vía.

9. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

- Teniendo en cuenta el análisis del contexto operacional, se logra identificar cada uno de los puntos críticos en operación que tienen los vehículos, con la clasificación de fallas y tiempos en operación.
- Con el análisis AMEF se pudo establecer de forma clara los NPR de los sistemas con mayor afectación, con el fin de poder realizar la corrección dentro del plan de mantenimiento.
- Dentro del análisis documental del plan de mantenimiento inicial, se logra evidenciar aquellos sistemas y componentes que no están contemplados por el fabricante y que hacen parte de los requerimientos de Transmilenio S.A

- Por medio de la implementación del plan de mantenimiento se espera que las fallas de los buses disminuyan y con esto el costo de las reparaciones, tal y como se observó en el análisis financiero se tendría un retorno a la inversión de 3.14% durante el primer año.

9.2 Recomendaciones

- Realizar constante capacitación a los conductores de los vehículos sobre conocimiento básico del vehículo para disminuir índice de varadas por desconocimiento del conductor.
- Se insta a los concesionarios de operación, hacer uso adecuado del nuevo plan de mantenimiento de la flota BYD B13S01, con el fin de mejorar las condiciones operacionales de los vehículos vinculados al sistema, cumpliendo con los requerimientos establecidos por Transmilenio S.A.
- Se recomienda a los concesionarios de operación, a realizar el debido proceso de desmanche, aseo y fumigación, con el fin de conservar los vehículos de acuerdo con los lineamientos de Transmilenio S.A.
- Una vez realizados los análisis documentales, se solicita a los concesionarios ejecutar las rutinas en los nuevos tiempos establecidos, incluyendo aquellos que no estaban contenidas en el plan inicial.

10. Bibliografía

Abella, M. B. (2008). Mantenimiento Industrial. *Universidad Carlos III de Madrid*, 48.

Alvarez Romero, Y., & Hurtado Avella, S. (2021). Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema. Bogotá, Colombia.

BELLI HESSE, O. (2018). Propuesta de gestión de mantenimiento rcm en plantas de energía a gas natural. Lima, Perú.

- CALDERÓN, A., & LARA, E. (Abril de 2015). DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA . Bogotá, Colombia.
- Campos Lopez, O., Tolentino Eslava, G., Toledo Velázquez, M., & Tolentino Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 51-59.
- Cárcel Carrasco, F. J. (2014). *La Gestion del Conocimiento en la Ingenieria del Mantenimiento Industrial*. Valencia: Omnia Publisher SL.
- Cerón Chacón, R., & Rojas Mora, J. D. (2014). Propuesta De Un Modelo De Mantenimiento Mediante Herramientas De La Metodología. Bucaramanga, Colombia.
- Espinel Ballesteros, A. D., Ramos Franco, A. J., & Rodríguez Aguilar, J. D. (2020). *Propuesta de Optimización del Plan de Mantenimiento para Disminuir los Varados en Via de la flota de Buses de la Empresa ETIB SAS*. Bogota.
- Espinoza Tejada, M. A. (2018). Mejora del Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Disponibilidad de los Buses de la Empresa de Transporte Allin Group Javier Prado S.A. Concesionaria de los Corredores Complementarios de la Municipalidad de Lima. Lima, Colombia.
- García, G. S. (2003). *Organización y Gestion Integral de Mantenimeinto*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Gardella González, M. (2020). MEJORA DE METODOLOGÍA RCM A PARTIR DEL AMFEC E IMPLANTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN PLANTAS DE PROCESOS. Valencia, España.
- Garrido, S. G. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento Manual Practico para la Gestion Eficaz del Mantenimiento*. Renovetec.

GAVE BARJA, R. A. (2017). IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA REDUCIR LAS FALLAS DE LOS BUSES GOLDEN DRAGON DE LA UNALM, EN LA CIUDAD DE LIMA 2017. Lima, Perú.

GONZÁLEZ VALENZUELA, R. E. (2015). DESARROLLO DE RCM EN UN EQUIPO CRÍTICO. Concepción, Chile.

Gutierrez, A. M. (2009). *Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Martínez Rodríguez, O. A. (2020). Propuesta De Un Modelo De Mantenimiento Mediante Herramientas De La Metodología. Bogotá, Colombia.

Meza Manco, S. Y., & Galarza Pira, F. (2020). Propuesta para la Aplicación de PMO al Plan de Mantenimiento de la Turbina de gas de la. Bogotá, Colombia.

Olarte C., W., Botero Arbelaez, M., & Cañon Zabaleta, B. (2010). Técnicas de Mantenimiento Predictivo Utilizadas en la Industria. *Scientia Et Technia*, 223-226.

Ortiz Ayala, D. F., & Fonseca Guerrero, M. L. (2016). Propuesta de un plan de mantenimiento para las máquinas probadoras de inyectores. Bogotá, Colombia.

Perez Rondon, F. A. (2021). *Conceptos Generales en la Gestion del Mantenimiento Industrial*. Bucaramanga: Ediciones USTA.

Sanchez Gomez, A. M. (2017). Tecnicas de Mantenimeinto Predictivo. Metodologia de Aplicacion en las Organizaciones. *Universidad Catolica de Colombia*, 72.

Soto Baltazar, J. F. (2016). MANTENIMIENTO BASADO EN LA . Huancayo, Perú.

TORRES CORREDOR, G. W. (2016). PROPUESTA INICIAL DE UN MODELO DE GESTIÓN DE . Bogotá, Colombia.

Transmilenio. (24 de 03 de 2021). *Transmilenio S.A.* Obtenido de Transmilenio S.A.:

https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/146269/mapa_del_sitp/

Valle Barraza, C. E., Espitia Rodríguez, D. A., & Daza , L. D. (2020). Propuesta de Mejora en plan de Mantenimiento de la Máquina Granalladora Bajo. Bogotá, Colombia.

ZAVALA MEDINA, C. A. (2018). PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN RCM PARA EL CHANCADOR PRIMARIO FULLER, OPERACIÓN MANTOVERDE. Valparaiso, Chile.