



Universidad Católica Andrés Bello

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Industrial

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO AL  
SUBSISTEMA TRACCIÓN-FRENADO DE LOS TRENES CAF EN LA C.A. METRO  
DE CARACAS”**

**TRABAJO DE GRADO**

**Presentado ante la**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

**Como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

REALIZADO POR: León Caballero, José Fernando

PROFESOR GUÍA: Ing. Sebastián Ribis

Fecha: Octubre, 2019

Universidad Católica Andrés Bello

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Industrial

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO AL  
SUBSISTEMA TRACCIÓN-FRENADO DE LOS TRENES CAF EN LA C.A. METRO  
DE CARACAS”**

Este jurado, una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su  
contenido con el resultado: \_\_\_\_\_

**JURADO EXAMINADOR**

**Firma:**

**Firma:**

**Firma:**

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Nombre:** \_\_\_\_\_ **Nombre:** \_\_\_\_\_

REALIZADO POR: León Caballero, José Fernando

PROFESOR GUÍA: Ing. Sebastián Ribis

Fecha: Octubre, 2019

## SINOPSIS

El presente trabajo de grado tiene como objetivo fundamentar y definir acciones preventivas para formular propuestas, que permitan diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado al Subsistema Tracción-Frenado de los trenes CAF en la C.A Metro de Caracas.

Desde su fundación en 1977, la C.A Metro de Caracas ha partido de la premisa de brindar un servicio de calidad a la población caraqueña, orientado al servicio de transporte más utilizado en la ciudad, trasladando aproximadamente a 3 millones de personas diariamente.

En el Patio de Mantenimiento de la estación terminal Propatria, lugar donde son estacionados los trenes al finalizar el horario comercial y previo a su salida diaria a la vía férrea, se encuentran 25 trenes CAF con 1275 equipos que participan directamente en el funcionamiento de los mismos, tales como Motores, Convertidores y Manipuladores de Tracción, Resistencias de Freno, Baterías, Disyuntores, entre otros.

Debido a la adquisición de los trenes del fabricante CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles) en 2008, siendo la única generación tecnológica de trenes distinta al fabricante Alstom, nunca se documentó un plan de mantenimiento preventivo que conservase la operatividad de las equipos y máquinas que se encuentran dentro de sus instalaciones.

A fin de diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento, se aplicaron dos técnicas de exploración de problemas. La primera fue la aplicación de la norma COVENIN 2500-93, que consiste en la evaluación de una serie de criterios mediante la observación directa y entrevista al personal gerencial del departamento, obteniendo así las áreas de oportunidad de mejora del departamento son las que hacen referencia a la planificación, programación y ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo, y una efectividad global del 58%.

De igual forma, en aras de conocer las causas que generan los problemas más relevantes se aplicó una encuesta que evalúa las 10 mejores prácticas de la gestión de mantenimiento en las organizaciones, resultando crítica las siguientes tres prácticas:

planificación y programación proactiva, mejoramiento continuo junto con apoyo y visión gerencial.

Debido a las deficiencias de mantenimiento claramente encontradas, se propuso el diseño de un plan de mantenimiento preventivo que cubra las deficiencias y mejore las fortalezas actuales, proporcionando métodos que permitan la mejora continua del servicio.

El modelo planteado contempla la elaboración de documentos que nutren de información al sistema de mantenimiento, facilitando la ubicación de los equipos y sus características mediante un inventario técnico, así como también la estandarización de las actividades siguiendo los Procedimientos Operativos Estándar (POE) generados durante la elaboración de este trabajo. Se anexa también la programación de las rutinas de mantenimiento preventivo con el fin de generar el calendario anual de mantenimiento de los equipos seleccionados (Carta Gantt), y un estudio económico determinar la factibilidad de la programación de mantenimiento preventivo planteada.

Los cambios propuestos en este trabajo de grado son las bases para obtener en la C.A Metro de Caracas, un sistema de mantenimiento capaz de responder ante las necesidades de los equipos y máquinas, garantizando así su buen funcionamiento y una alta disponibilidad.

**Palabras claves:** Mantenimiento, Preventivo, Tracción, Equipos, Sistema, CAF, Programación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

SINOPSIS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I: SECCIÓN INTRODUCTORIA.....	13
1.1 Reseña histórica de la empresa.....	13
1.1.1 Misión.....	14
1.1.2 Visión.....	14
1.2 Antecedentes de la Investigación.....	15
1.3 Planteamiento del Problema.....	16
1.4 Objetivos del Estudio.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 Alcances.....	20
1.6 Limitaciones.....	21
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Conceptos Básicos.....	23
2.1.1 Mantenimiento.....	23
2.1.2 Tipos de Mantenimiento.....	23
2.1.2.1 Mantenimiento correctivo o por falla.....	23
2.1.2.2 Mantenimiento preventivo.....	23
2.1.2.2.1 Mantenimiento preventivo con base en el tiempo o en el uso.....	24
2.1.2.2.2 Mantenimiento preventivo con base en las condiciones.....	24
2.1.3 Planificación del mantenimiento preventivo.....	24
2.1.4 Formatos de control.....	25
2.1.4.1 Orden de trabajo (O/T).....	25
2.1.4.2 Solicitud de servicio (SS).....	25
2.1.4.3 Informe de trabajo realizado (ITR).....	25
2.1.4.4 Hoja de Vida.....	26
2.1.5 Programación de mantenimiento preventivo.....	26
2.1.6 Diagrama de Gantt.....	27

2.1.7 Indicadores de la gestión de mantenimiento .....	27
2.1.8 Análisis de criticidad .....	27
2.2 Trenes CAF .....	28
2.3 Niveles de mantenimiento según la norma X60-010 .....	30
2.4 Subsistema Tracción-Frenado .....	31
2.4.1 Propulsión Eléctrica .....	31
2.4.1.1 Convertidor de Tracción .....	31
2.4.1.2 Manipulador de Tracción .....	33
2.4.1.3 Resistencia de Freno.....	36
2.4.1.4 Motor de Tracción .....	39
2.4.2 Equipos Eléctricos .....	41
2.4.2.1 Convertidor auxiliar .....	41
2.4.2.2 Batería .....	43
2.4.2.3 Disyuntor .....	45
2.4.2.4 Seccionador Principal.....	47
2.5 Diagrama Causa-Efecto .....	50
2.6 Diagrama de Pareto .....	50
2.7 Depreciación .....	50
2.8 Método de línea recta .....	50
2.9 Técnicas de valoración económica .....	51
2.9.1 Valor Actual Neto (VAN) .....	51
2.9.2 Método de Regresión: Regresión Exponencial .....	52
2.9.3 Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) .....	53
2.9.4 Flujo Actual Neto y Proyectado (FANP) .....	54
2.10 Validación de Encuestas .....	54
2.11 Validez de Contenido .....	54
CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO .....	55
3.1 Nivel de la Investigación .....	55
3.2 Tipo de Investigación .....	55
3.3 Población y Muestra .....	56
3.4 Métodos usados para la recolección de la información .....	56
3.4.1 Métodos empíricos.....	56
3.4.2 Métodos Estadísticos .....	57

3.4.3 Métodos Teóricos .....	57
3.5 Fases de la investigación .....	57
CAPÍTULO IV: SITUACIÓN ACTUAL .....	59
4.1 Descripción del procedimiento de mantenimiento actual.....	59
4.1.1 Mantenimiento con el personal interno de la organización .....	59
4.2 Diagnóstico y Evaluación de la Situación Actual .....	60
4.2.1 Aplicación de la Norma de Mantenimiento COVENIN 2500-93.....	60
4.2.1.1 Resultados de la aplicación de la norma COVENIN 2500-93 .....	61
4.2.2 Evaluación de la gestión de mantenimiento con la aplicación de las 10 mejores prácticas .....	63
4.2.2.1 Resultados de la encuesta de las 10 mejores prácticas de mantenimiento. ....	64
CAPÍTULO V: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	70
5.1 Listado de equipos que forman parte de la C.A. Metro de Caracas .....	70
5.2 Matriz de decisión para establecer el orden de criticidad de las máquinas y equipos .....	70
5.3 Selección de equipos .....	73
5.4 Planificación del mantenimiento preventivo propuesto .....	73
5.4.1 Zonificación de equipos .....	73
5.4.2 Inventario Técnico .....	74
5.4.2.1 Ficha Técnica .....	75
5.4.3 Clasificación de Equipos .....	75
5.4.4 Tipo de mantenimiento seleccionado .....	75
5.4.5 Codificación de equipos .....	75
5.4.6 Orden de trabajo .....	76
5.4.7 Informe de trabajo realizado (ITR) .....	76
5.5 Programación de Mantenimiento Preventivo .....	77
5.5.1 Programación de las rutinas de Mantenimiento Preventivo.....	77
5.5.1.1 Codificación de las rutinas de mantenimiento preventivo .....	77
5.5.2 Procedimiento Operativo Estándar (POE).....	77
5.5.3 Repuestos, insumos y herramientas necesarios para el plan de mantenimiento preventivo propuesto .....	79
5.5.4 Recursos Humanos .....	79
5.5.4.1 Horas-Hombre disponibles .....	80

5.5.4.2 Horas-Hombre requeridas .....	80
5.5.5 Elaboración de la carta Gantt.....	82
5.6 Propuesta de diseño de indicadores de la gestión de mantenimiento .....	83
5.7 Estudio Económico .....	85
5.7.1 Costos del mantenimiento propuesto.....	85
5.7.1.1 Costos de Herramientas .....	86
5.7.1.2 Costos de Materiales requeridos .....	86
5.7.1.3 Costos de Repuestos requeridos .....	86
5.7.1.4 Costos de Mano de Obra .....	86
5.7.2 Estudio de factibilidad económica .....	88
5.7.2.1 Tasa Inflacionaria .....	88
5.7.2.2 Estimación de la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) .....	90
5.7.2.3 Flujo actual neto y proyectado.....	90
5.7.2.4 Valor actual neto .....	90
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	92
6.1 Conclusiones .....	92
6.2 Recomendaciones .....	94
BIBLIOGRAFIA.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos a seguir en la programación del mantenimiento preventivo.....	26
Figura 2. Composición del tren CAF.....	28
Figura 3. Vista lateral del tren CAF, vagón M.....	28
Figura 4. Vista lateral del tren CAF, vagón N.....	29
Figura 5. Vista lateral del tren CAF, vagón R.....	29
Figura 6. Distribución de equipos bajo chasis en los trenes CAF.....	29
Figura 7. Cofre Convertidor de Tracción.....	32
Figura 8. Localización del Cofre Convertidor de Tracción en vagones N y M.....	33
Figura 9. Disposición del Manipulador de Tracción.....	34
Figura 10. Pupitre de Conducción.....	35
Figura 11. Manipulador de Tracción.....	35
Figura 12. Localización de las resistencias de freno en vagones M y N.....	37
Figura 13. Vista frontal de la Resistencia de Freno.....	38
Figura 14. Vista trasera de la Resistencia de Freno.....	38
Figura 15. Imagen superior del Motor de Tracción.....	39
Figura 16. Imagen inferior del Motor de Tracción.....	40
Figura 17. Convertidor Auxiliar.....	41
Figura 18. Localización del convertidor auxiliar en vagones M y R.....	42
Figura 19. Localización del convertidor auxiliar en vagones.....	43
Figura 20. Batería MRX230 x55.....	44
Figura 21. Localización de disyuntores.....	45
Figura 22. Disyuntor UR 15.....	46
Figura 23. Localización del Seccionador Principal.....	48
Figura 24. Seccionador Principal.....	49
Figura 25. Resultados de la Aplicación de las normas COVENIN 2500-93.....	62
Figura 26. Diagrama de Malla.....	64
Figura 27. Diagrama Ishikawa. Ausencia de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los trenes CAF.....	66
Figura 28. Diagrama de Pareto. Ausencia de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los trenes CAF.....	66
Figura 29. Diagrama Ishikawa. Ausencia de un Sistema de Mejora Continua relacionado con la Gestión de Mantenimiento.....	67

Figura 30. Diagrama de Pareto. Ausencia de un Sistema de Mejora Continua relacionado con la Gestión de Mantenimiento.....	67
Figura 31. Diagrama Ishikawa. Deficiente Gestión Gerencial.....	68
Figura 32. Diagrama de Pareto. Deficiente Gestión Gerencial.....	68
Figura 33. Formato del Procedimiento Operativo Estándar (POE).....	78
Figura 34. Proyección de la inflación del 2020 a través del método de regresión no lineal.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Turnos de Trabajo Diarios en la C.A. Metro de Caracas.....	59
Tabla 2. Áreas con menor puntaje en la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93.....	62
Tabla 3: Resultados de la entrevista realizada para emitir la ponderación correspondiente de los criterios a evaluar en el análisis de criticidad.....	72
Tabla 4. Rangos de criticidad establecidos para cada nivel.....	73
Tabla 5. Estado de Operación de las máquinas y equipos del Subsistema Tracción-Frenado.....	74
Tabla 6. Codificación de Equipos y Máquinas.....	76
Tabla 7. Tiempo de mano de obra disponible por los técnicos de guardia.....	80
Tabla 8. Tiempo requerido por equipo/máquina de mantenimiento.....	81
Tabla 9. Formato de Carta Gantt aplicado.....	82
Tabla 10. Costos de la mano de obra.....	87
Tabla 11. Costos totales del plan de mantenimiento propuesto.....	87
Tabla 12. Costo de mantenimiento actual de la C.A Metro de Caracas.....	88
Tabla 13. Tasas de Inflación del 2017 al 2019.....	88
Tabla 14. Flujo Actual Neto y proyectado.....	90

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es reconocido como un elemento fundamental que contribuye junto con las otras funciones empresariales, al logro y a la superación de los objetivos de la empresa y ha emergido como una sofisticada disciplina que combina técnica de gestión, organización y planeación.

Actualmente, las empresas desean conservar sus activos con eficiencia y eficacia, para que sean operados y mantenidos de manera satisfactoria en cuanto a calidad, cantidad y confiabilidad del servicio durante un período de tiempo determinado.

Mantenimiento es un concepto que implica conservar el equipo en los niveles específico para su buen funcionamiento y tiene como prioridad el prevenir fallas reduciendo los riesgos de paradas imprevistas, contribuyendo así a la optimización de los recursos disminuyendo los costos.

Para la C.A Metro de Caracas, el concepto de mantenimiento puede ser aplicado sin ningún inconveniente, ya que necesita diseñar un sistema de mantenimiento para así conservar el servicio en condiciones óptimas. En la actualidad, la empresa no posee una planificación de mantenimiento estructurado y documentado, sino se basa en trabajos según las necesidades diarias, lo cual dificulta el control de los costos y el registro de información necesario para el mantenimiento de los equipos y máquinas, en especial del Subsistema Tracción-Frenado, el cual es el que presenta más fallas en el servicio ferroviario. Por lo tanto, se realizará el Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo con el propósito de asegurar el buen funcionamiento de los equipos y así garantizar la calidad del servicio.

Es importante destacar que la implementación del plan de mantenimiento propuesto busca la correcta operatividad de los equipos del Subsistema mencionado mediante el estudio de la criticidad, para así mejorar la calidad ofrecida y mejorar el servicio de transporte.

## **CAPÍTULO I: SECCIÓN INTRODUCTORIA**

### **1.1 Reseña histórica de la empresa**

La historia del Metro de Caracas inicia desde hace casi 50 años. La primera vez que se habló de un transporte rápido masivo para la ciudad capital fue en 1947, cuando dos empresas francesas presentaron proposiciones para estudios, proyectos, construcción y explotación de un sistema Metro, durante un número de años con garantía de interés sobre el capital invertido. Entre 1965 y 1967 se realizaron nuevamente investigaciones que demostraron que el problema de transporte en la ciudad no podía ser resuelto sin la incorporación de un nuevo sistema de transporte masivo. En 1968 se comenzó a preparar el proyecto del Metro de Caracas, seleccionándose para ello al consorcio internacional formado por las empresas estadounidenses Parsons, Brinckerhoff, Quade & Douglas de Nueva York y Alan Voorhees, iniciándose los planes para la construcción de la Línea Catia - Petare.

Las actividades del proyecto abarcaron todo el año de 1969 y los primeros seis meses de 1970. Durante 1972 y 1973 se avanzó en el anteproyecto de la primera línea, abriéndose a finales de 1973, la licitación internacional para las obras civiles de la estación Agua Salud.

El 12 de marzo de 1975 el presidente Carlos Andrés Pérez ante el Congreso Nacional anuncia la construcción de línea Propatria - Palo Verde del Metro de Caracas, comenzando por el extremo oeste de la ciudad. Luego, la Oficina de Proyectos y Obras del Metro de Caracas inicia sus actividades en 1976, a través de la apertura de la licitación pública internacional de los equipos para la línea Propatria - Palo Verde. En abril de 1977 pasa a depender del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), y cuatro meses más tarde, el 8 de agosto, se funda la Compañía Anónima Metro de Caracas, para luego finalizar con la construcción de la Línea 1 (Propatria - Palo Verde), en la cual se establece como objeto principal de la compañía la construcción e instalación de las obras y equipos, tanto de infraestructura como de superestructura del Metro de Caracas, el mantenimiento de sus equipos, instalaciones y la operación, administración y explotación de dicho sistema de transporte, así como la construcción, dotación, operación y explotación de otras instalaciones y sistemas complementarios y auxiliares

del subterráneo, tales como estacionamientos, sistemas superficiales, elevados, subterráneos de transporte urbano y suburbano.

La puesta en operación de la Línea 1 comenzó el 2 de enero de 1983, con una primera etapa desde Propatria hasta La Hoyada. A partir de noviembre de 1999 se inician los trabajos para la ampliación de la línea tres del subterráneo por parte de la contratista Odebrecht. Para el 2006, con la puesta en servicio de una nueva red férrea de 5,8 kilómetros de longitud, y una inversión de 860 millones de dólares, se agrega al sistema el tramo Capuchinos - Zona Rental, conformado por las estaciones Capuchinos, Teatros, Nuevo Circo, Parque Central y Zona Rental. En octubre de ese mismo año, se pone en funcionamiento el tramo El Valle - La Rinconada, lo que permitió conectar el sistema de metro con el Sistema Ferroviario Nacional, específicamente en la estación Caracas (Libertador Simón Bolívar) del Ferrocarril que desde ese mismo día conecta la Capital con las poblaciones de Charallave y Cúa, siguiendo el objetivo de la empresa de crear sistemas complementarios del metro para mejorar la calidad de vida de los caraqueños.

Para el año 2018, el Metro de Caracas movilizaba diariamente cerca de dos millones y medio de pasajeros, con sus cuatro líneas en funcionamiento, gracias a un equipo humano altamente calificado, que día a día trasladan a gran parte de la ciudad capital. El organigrama de la empresa se muestra en el anexo A.1.

### **1.1.1 Misión**

Transportar ciudadanos y ciudadanas, a través de un Sistema Metropolitano de Transporte conformado por los Sistemas Ferroviario Metropolitano (Metro), Transporte Superficial (Metrobús), Teleférico (Metrocable) y Cabletren Bolivariano, con una organización apegada a los principios de la nueva sociedad socialista, prestando un servicio integrado, solidario y de calidad, que considere el respeto a la dignidad del ser humano y contribuya a elevar la calidad de vida de los habitantes de la Gran Caracas.

### **1.1.2 Visión**

Ser la empresa socialista de transporte público ejemplar en el país, a través de la prestación de un servicio integrado en la Gran Caracas, solidario y de calidad, con un alto grado de sensibilidad social.

## **1.2 Antecedentes de la Investigación**

Como base para el diseño del plan de mantenimiento propuesto se tomaron en cuenta los siguientes trabajos de investigación.

El primer trabajo de investigación que fue tomado como guía para la realización del presente trabajo de grado, fue llevado a cabo por los autores Susan B. Delgado M. y Ygna E. Estrada P. (Julio 2009), cuyo objetivo general fue el de diseñar un sistema de gestión de mantenimiento aplicado a máquinas y equipos utilizados en los procesos de producción y de servicio de una empresa manufacturera.

Dicho trabajo de investigación inicio con la evaluación de la situación actual de la empresa mediante una auditoría interna. Posteriormente, se aplicó un análisis estructural para priorizar la criticidad de las deficiencias. Luego se estudiaron los principios básicos del Mantenimiento Productivo Total para su aplicación dentro de la empresa; y finalmente, se propuso un sistema de mantenimiento enfocado en la conservación planificada de los equipos y/o máquinas, según las indicaciones de los fabricantes, así como los conocimientos y experiencia del personal técnico. Este trabajo de investigación contribuyó con el presente trabajo de grado en el manejo y aplicación de la norma COVENIN 2500-93, al permitir la evaluación del sistema de mantenimiento, y así diagnosticar con mayor eficacia la efectividad de la gestión actual de la Gerencia de Mantenimiento.

El segundo trabajo de investigación tomado como referencia es el realizado por la autora María Alexandra Ferreira y María Fernanda Rodríguez C. (Marzo 2011), con el objetivo de proponer un plan de mantenimiento para los equipos que integran los sistemas de una institución hotelera ubicada en Caracas.

Para cumplir el objetivo general en este trabajo de investigación, fue compilada la información de la gestión de mantenimiento actual que presentaba el hotel. Posteriormente se diseñó el plan de mantenimiento para los equipos seleccionados, a través de la planificación y programación de cada una de las actividades que se ajustarían a las necesidades de la empresa. Luego, se establecieron los formatos de control necesarios para monitorear la ejecución de cada una de las rutinas diseñadas, de tal modo que pueda evaluarse así la gestión del mantenimiento del plan propuesto.

Además, se recopilaron los recursos materiales necesarios para ejecutar cada una de las actividades y para concluir se diseñaron los indicadores de gestión que permitieran evaluar de forma periódica la gestión de mantenimiento, y mantener en constante mejora el sistema de gestión del mismo.

Este trabajo de investigación proporcionó la metodología al presente trabajo de grado, gracias a que su estructura sirvió de guía para la aplicación de cada una de las fases de la investigación.

### **1.3 Planteamiento del Problema**

El Metro de Caracas es el sistema de transporte que sirve a la ciudad de Caracas (Venezuela) y a su área metropolitana. Está conformado por un sistema de ferrocarril metropolitano (el Metro propiamente dicho), un sistema de transporte superficial (Metrobús), un sistema teleférico (Metrocable), un movilizador automático de personas (Cabletren) y una red de autobús de tránsito rápido (BusCaracas). El servicio ferroviario tiene como finalidad contribuir al desarrollo del transporte colectivo en la ciudad de Caracas y su área inmediata, mediante la construcción, planificación y explotación comercial de un sistema integrado de transporte.

La compañía requiere de una amplia y apropiada infraestructura para realizar el mantenimiento integral necesario para la óptima prestación del servicio comercial. En este orden de ideas, se tienen dos grandes patios, el de la estación Propatria y el de la estación Las Adjuntas. Hoy en día, el Patio de Propatria, de aproximadamente 145 km, es donde se realiza el mantenimiento de los trenes que prestan servicio comercial en Línea 1, el cual es el espacio donde se desarrolla el trabajo de grado.

La C.A. Metro de Caracas emplea, desde inicios del 2009, trenes de fabricación española contruidos por la empresa CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles), para la prestación del servicio comercial exclusivamente en la Línea 1, los cuales recorren la ciudad de oeste a este, desde Propatria hasta Palo Verde. Estos trenes están contruidos por diversos subsistemas (Tracción Frenado, Auxiliares, Aire Acondicionado, Puertas, Neumática, Bogui, Constituyente, Pilotaje Automático, Común,

Cosmos) en función de la naturaleza de sus componentes (mecánica, eléctrica, electrónica y neumática, principalmente), y precisan de equipos y maquinarias de apoyo para su correcto funcionamiento.

La Gerencia de Mantenimiento de Trenes, utiliza actualmente cinco niveles de mantenimiento, basados en la Norma Ferroviaria Francesa X60-010, válida desde los primeros trenes que se encontraban en el sistema, construidos por la empresa francesa Alstom. Sin embargo, desde el arribo de los trenes CAF no se ha logrado documentar un Plan de Mantenimiento Preventivo correspondiente a los nuevos equipos y maquinarias que vienen con dichos trenes, y a las especificaciones técnicas de los mismos. Esta situación se presenta desde que los trenes CAF se utilizan en la Línea 1, proporcionando resultados aceptables pero que, conforme pasa el tiempo, no preserva ni mantiene las máquinas y equipos de dichos trenes.

Sumado a estos factores, el aumento en la afluencia de usuarios que utilizan el medio de transporte, no ha permitido la correcta elaboración un Plan de Mantenimiento Preventivo realmente efectivo para los trenes CAF, debido a la necesidad de resolver de manera rápida las distintas reparaciones con el fin de mantener los trenes operativos y evitar la desincorporación de la unidad. Por ende, el esfuerzo generado por la Gerencia de Mantenimiento de Trenes resulta insuficiente para atender las necesidades de la empresa debido al crecimiento exponencial que ha tenido el sistema en los últimos años. Esta situación se presenta cuando la GMT sólo se dedica a atender trabajos de emergencia o correctivos, puesto que no tiene la capacidad de planificar su trabajo para ofrecer un mantenimiento de índole preventivo.

Al presente, el subsistema Tracción Frenado tiene la incidencia más alta de fallas en los trenes CAF con un 34% (1386 fallas contabilizadas en total para el corte del segundo semestre del año 2018) y posee en su composición componentes como zapatas flotadoras y pastillas de frenos, las cuales, de encontrarse en buenas condiciones, permiten el normal movimiento del tren en la vía férrea. Desde hace varios años, este subsistema viene presentando fallas y averías recurrentes como desgastes de estas piezas, que generan luego de cierto tiempo la desincorporación de esos trenes de la Línea 1, y por ende al reducirse la flota de trenes, se producen retrasos recurrentes en el servicio.

En la actualidad, Cametro presenta un conjunto de problemas que están afectando el rendimiento del Subsistema Tracción Frenado de los trenes CAF que operan en la Línea 1 del sistema:

- El personal con el que cuenta la empresa no es suficiente para atender de manera satisfactoria el mantenimiento a los equipos y máquinas que componen el Subsistema.
- Se observa la carencia de un Plan de Mantenimiento Preventivo aplicado al Subsistema Tracción Frenado, generando como consecuencia que las acciones referentes a la conservación de las piezas y equipos ligados a este subsistema no se realicen con un criterio y orden específicos, evitando que se pueda conocer los avances de las acciones de mantenimiento que se ejecutan.
- No existen las rutinas de Mantenimiento del Subsistema Tracción Frenado que permitan establecer las frecuencias diarias, semanales, mensuales y trimestrales; como consecuencia los equipos de mantenimiento no poseen una organización y actividades fijas que les permita cubrir las necesidades en cuanto a conservación que la empresa demanda.
- Se puede constatar la carencia sistemática y generalizada de repuestos en el almacén de mantenimiento que se encuentra en el patio de trenes de Propatria. Esta situación afecta no sólo a los trenes CAF, si no a la totalidad de las generaciones tecnológicas de trenes y a todos sus subsistemas embarcados. Se comprometen repuestos tan básicos como son zapatas colectoras de corriente, pastillas de freno, ruedas, vidrios de ventanas, elastómeros, filtros diversos, refrigerantes para sistemas de climatización, grasas y aceites, entre otros, que no permiten que el personal de mantenimiento cuente con las herramientas y materiales necesarios para cumplir con las cargas de trabajo asignadas.

Hoy por hoy en Cametro, específicamente en el Patio de Propatria, en donde deberían ejecutarse estos 5 niveles de mantenimiento, las actividades de mantenimiento que se efectúan, se realizan a medida que los equipos se deterioran y se genera como

resultado la inhabilitación de dichos equipos, lo que provoca un aumento en los costos de mantenimiento y reposición de los mismos antes de que cumplan su vida útil.

Por esta razón, la Gerencia de Mantenimiento de Trenes ha considerado realizar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a los trenes CAF, con el firme propósito de que una vez sea implementado, deberá proporcionar todos los procedimientos necesarios que sirvan de dominio colectivo para desarrollar las actividades de mantenimiento del Subsistema Tracción-Frenado.

De acuerdo a todo lo antes expuesto, surge la siguiente interrogante en el presente trabajo de grado:

***¿De qué manera se puede diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado al Subsistema Tracción-Frenado de los trenes CAF en la C.A. Metro de Caracas?***

La respuesta a esta interrogante, constituye la razón de ser del presente trabajo de grado.

## **1.4 Objetivos del Estudio**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado al Subsistema Tracción-Frenado de los trenes CAF en la C.A. Metro de Caracas.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar el funcionamiento del Subsistema Tracción-Frenado y su interrelación con los demás subsistemas que componen al tren CAF.
- Analizar las fallas reportadas del Subsistema Tracción-Frenado.
- Establecer la cantidad de herramientas y materiales requeridos, así como el personal necesario para realizar las actividades de mantenimiento.
- Desarrollar la planificación de las actividades de mantenimiento.
- Elaborar los procedimientos de las actividades de mantenimiento.
- Valorar la relación Costo-Beneficio del Plan de Mantenimiento Preventivo.

## 1.5 Alcances

- La infraestructura que posee Cametro para realizar las actividades de mantenimiento preventivo de los trenes de la Línea 1 se encuentra al oeste de la ciudad, concretamente en los patios y talleres de la estación terminal Propatria, la cual delimitará el ámbito de estudio del trabajo de grado.
- Toda la información general y especificaciones técnicas de los componentes y equipos del Subsistema Tracción-Frenado está dispuesta y clasificada en los manuales dados por el fabricante (CAF) a Cametro al momento de la adquisición de dichos trenes.
- A través de la revisión de los datos existentes, se realizará una matriz de criticidad a fin de identificar potenciales áreas de atención así no hayan presentado fallas al momento. La misma permitirá de igual manera analizar las fallas más recurrentes con la finalidad de jerarquizar las que más generen retrasos al subsistema, de acuerdo a las prioridades y número de ocurrencias.
- Luego de identificarse cada una de las fallas del Subsistema, se utilizará el diagrama causa-efecto, que servirá de ayuda para determinar los distintos factores que originan las diferentes fallas de las máquinas y equipos de estudio.
- Se realizarán entrevistas al personal de la Gerencia de Mantenimiento de Trenes, así como encuestas y la aplicación de la norma COVENIN 2500-93 con la finalidad de recolectar información que pueda ser de utilidad para analizar la gestión actual en la Gerencia frente al Mantenimiento Preventivo aplicado al Subsistema Tracción-Frenado de los trenes CAF.
- Se hará uso de una relación de número de fallas Vs cantidad de materiales y herramientas, con la finalidad de conocer las necesidades de implementos de trabajo que necesita la empresa para llevar a cabo el Mantenimiento Preventivo aplicado al Subsistema Tracción-Frenado de los trenes CAF.
- Se utilizará una relación de carga de trabajo Vs número de empleados necesarios, a fin de conocer la cantidad total de mano de obra que se requiere para cubrir la demanda de Conservación que presenta la empresa en los equipos y máquinas estudiadas.

- Se diseñará un cronograma de Mantenimiento Preventivo con la finalidad de ajustar los procedimientos y actividades de mantenimiento necesarias durante el año, a través de una Carta Gantt, donde se representen las frecuencias con las que se debe ejecutar el mantenimiento a los equipos estudiados para mantenerlos en condiciones ideales.
- Se realizarán o actualizarán formatos que representen las distintas actividades necesarias para la estandarización de las rutinas de mantenimiento preventivo de los equipos de estudio.
- Mediante herramientas de análisis de costos, se evaluarán los impactos económicos que implicaría para la empresa la implementación del plan de mantenimiento, tomando en consideración los índices inflacionarios actuales.

## **1.6 Limitaciones**

- Los procedimientos del mantenimiento preventivo sugerido estarán sujetos a la disponibilidad de los manuales o en su defecto a la experiencia de los trabajadores que prestan servicios a las máquinas y equipos de estudio.
- Se utilizará una relación de carga de trabajo Vs número de empleados necesarios, se hará uso de indicadores que reflejen la cantidad óptima de trabajadores por la cantidad de máquinas y equipos a mantener.
- Se presenta como limitante la calidad y cantidad de reportes diarios de mantenimientos entregados por los operarios de la empresa, dado que la información de las órdenes de trabajo se carga de forma manual y se archivan físicamente, sin un orden que permita un acceso oportuno y confiable.
- El análisis de las fallas existentes en el Subsistema Tracción-Frenado estará sujeto a la trazabilidad elaborada por la Unidad de Ingeniería y Estadística de la Gerencia de Mantenimiento de Trenes, la cual elabora un resumen semestral todas las fallas de cada una de las flotas de trenes de la empresa.
- La pérdida por renuncia o jubilación de parte del personal con experiencia y la no formación del personal de relevo podría limitar la información recopilada.

- La aplicación de las encuestas y entrevistas al personal de la Gerencia de Mantenimiento de Trenes, deben estar sujetas a la aceptación y disponibilidad de horarios de los trabajadores que laboran en dicha gerencia.
- La crítica situación que presenta el país en estos momentos dificulta una estimación de costos de las herramientas y materiales destinados al mantenimiento de los trenes, lo cual dificulta la comparación desde el punto de vista financiero.
- El siguiente trabajo de grado debe ser considerado como un punto de partida para una correcta política de mantenimiento preventivo.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

El siguiente capítulo brinda a la investigación los conceptos fundamentales que permiten abordar el problema de una manera coherente. A continuación, se describe los conocimientos básicos que se deben tener para la realización del diseño de un plan de mantenimiento preventivo.

### **2.1 Conceptos Básicos**

#### **2.1.1 Mantenimiento**

“El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que pueda realizar las funciones designadas”.<sup>1</sup>

#### **2.1.2 Tipos de Mantenimiento**

Existen distintos tipos de mantenimiento que permiten desempeñar con un nivel mínimo de personal, una excelente disponibilidad de los equipos sin comprometer la producción o el servicio prestado, según aplique. Los más comunes, según Duffuaa, Raouf & Dixon (2000) son los siguientes:

##### *2.1.2.1 Mantenimiento correctivo o por falla*

Este tipo de mantenimiento sólo se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando. No hay elemento de planeación para este tipo de mantenimiento. Este tipo de estrategia a veces se conoce como estrategia de operación “hasta que falle”<sup>2</sup>.

##### *2.1.2.2 Mantenimiento preventivo*

El mantenimiento preventivo es cualquier mantenimiento planeado que se lleva a cabo para hacer frente a fallas potenciales. Puede realizarse con base en el uso o las condiciones del equipo.

1. Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control. Duffua, Raouf, Dixo. Año 2000, Pag. 29.

2. Id.1

#### *2.1.2.2.1 Mantenimiento preventivo con base en el tiempo o en el uso*

El mantenimiento preventivo con base en el tiempo o en el uso se lleva a cabo de acuerdo con las horas de funcionamiento o un calendario establecido. Requiere un alto nivel de planeación. Las rutinas específicas que se realizan son conocidas, así como sus frecuencias. En la determinación de la frecuencia generalmente se necesitan conocimientos acerca de la distribución de las fallas o la confiabilidad del equipo.

#### *2.1.2.2.2 Mantenimiento preventivo con base en las condiciones*

Este mantenimiento preventivo se lleva a cabo con base en las condiciones conocidas del equipo. La condición del equipo se determina vigilando los parámetros claves del equipo cuyos valores se ven afectados por la condición de éste. A esta estrategia también se le conoce como mantenimiento predictivo.<sup>2</sup>

### **2.1.3 Planificación del mantenimiento preventivo**

“Es el uso de un método sistemático y organizado de análisis de trabajo y disponerlo de tal manera, que tanto los hombres como las actividades, se utilicen de la forma más racional posible. La planificación de los trabajos de mantenimiento sólo se realiza cuando la instalación está en sus etapas iniciales o cuando no existe una gerencia o departamento específico que maneje las actividades del sistema. Se entiende que la planificación tiene que ver con el mantenimiento preventivo y que sólo los equipos que se consideren importantes para la instalación a mantener, deben ser considerados.” (Gestión de Planes de Mantenimiento. Sebastián Ribis. 2013)

Para realizar una correcta planificación del trabajo de mantenimiento se deben seguir los siguientes pasos que se detallan a continuación<sup>3</sup>:

- Zonificación de la empresa
- Inventario técnico
- Auditoría técnica
- Clasificación de los equipos
- Selección del tipo de mantenimiento

3. Id.2

- Codificación de los equipos
- Implementación de materiales, herramientas y recursos humanos

#### **2.1.4 Formatos de control**

Formatos utilizados para registrar efectivamente las actividades de mantenimiento y ejecutar el proceso iterativo de control del sistema para su mejora y ahorro en tiempos y costos. Los formatos recomendados serán los siguientes:

##### *2.1.4.1 Orden de trabajo (O/T)*

Es el medio donde se ejecuta cada tipo de trabajo de mantenimiento, tanto si su alcance es principal o secundario. Se utilizan como base para emitir órdenes posteriores cuando se tiene el costo estimado del trabajo de mantenimiento a realizar. Las O/T se enumeran previamente para fines de control y se debe realizar una para cada tarea, con un formato original y por lo menos una copia.

##### *2.1.4.2 Solicitud de servicio (SS)*

Constituye la autorización básica para el trabajo de que se trate y es fuente de información de toda reparación de rutina, que pasa a formar parte de los registros históricos del equipo. Se emplea para trabajos de pequeños montos y se tiene un monto tope, generalmente definido por la junta directiva de la empresa, por encima del cuál no podrá usarse. Se entiende como una solicitud expresa que tiene como finalidad realizar actividades tales como toda la gama de los mantenimientos preventivos, especialmente los basados en condición, y los mantenimientos correctivos de menor envergadura.

##### *2.1.4.3 Informe de trabajo realizado (ITR)*

El ITR es un formulario donde debe registrarse el trabajo realizado detallando los materiales, herramientas y mano de obra usada, así como el tiempo empleado en la actividad ejecutada. En él se sugieren las recomendaciones necesarias para mejorar la operación de los sistemas, así como cualquier requerimiento de repuestos, partes o piezas que se requieran prever para futuros trabajos. Debe llevar la firma del responsable de su ejecución y del supervisor respectivo que avale la información entregada. Este informe se usa como base para el control de inventario, costo e inversión.<sup>4</sup>

4. Gestión de Mantenimiento. Planificación. Ribis, Sebastián. Año 2013, Pág. 23

#### 2.1.4.4 Hoja de Vida

La hoja de vida de un equipo es un formato de trabajo propio de cada empresa, donde se registra el nombre, función del equipo, sistema al cual pertenece, ubicación física, marca, modelo, serial, condiciones eléctricas y mecánicas de importancia, y, en general, todas aquellas especificaciones que se consideren relevantes.

#### 2.1.5 Programación de mantenimiento preventivo

La programación del mantenimiento preventivo es el proceso mediante el cual se determinan los elementos necesarios para realizar una actividad, antes del momento en que se inicie el trabajo, así como también la hora en la que debe ser realizada y el establecimiento de fases o etapas de los trabajos planeados junto con las órdenes para efectuar el trabajo.

En la Figura N°1 se muestran los pasos a seguir en la programación del mantenimiento preventivo.



**Figura 1. Pasos a seguir en la programación del mantenimiento preventivo**

**Fuente: Elaboración Propia**

### **2.1.6 Diagrama de Gantt**

La herramienta, también llamada carta Gantt, es una conocida herramienta gráfica de barras que especifica el momento de inicio y fin de cada actividad en una escala de tiempo horizontal. Puede modificarse para mostrar las interdependencias, anotando acontecimientos importantes en cada línea de tiempo de los trabajos. Dichos acontecimientos indican períodos de tiempo claves en la duración de cada trabajo. Las líneas sólidas muestran las interrelaciones entre estos acontecimientos importantes. Así, estos acontecimientos indican las interdependencias entre los trabajos.

### **2.1.7 Indicadores de la gestión de mantenimiento**

Los indicadores en la gestión de mantenimiento son herramientas utilizadas para el análisis y evaluación de factores operacionales como instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes, a través de las cuales se resaltan las principales causas de falla, rendimiento de la mano de obra y/o recursos, frecuencia de ocurrencia de averías con vistas a establecer mejoras en los planes de inspecciones y reparaciones correspondientes para el buen desempeño de la organización.<sup>5</sup>

### **2.1.8 Análisis de criticidad**

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.<sup>6</sup>

5. Índices e Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Pymes del Estado Táchira, Año 2006

6. El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. Reliability Web: A Culture of Reliability, Año 2019

## 2.2 Trenes CAF

La C.A. Metro de Caracas emplea trenes de fabricación española contruidos por la empresa CAF, para la prestación del servicio comercial en la Línea 1, exclusivamente. Cada tren está constituido por 7 vagones: 2 vagones motrices M, idénticos entre sí y en los que se ubica la cabina de conducción del tren, otros 4 vagones N intermedios, también motrices e idénticos entre sí y 1 vagón remolque, llamado así porque carece de motores de tracción en sus bogies. La distribución relativa de los vagones es M-N-N-R-N-N-M, tal como se observa en la Figura 2. La clasificación de M, N y R viene dada por la distribución de los subsistemas bajo sus chasis y que son requeridos para el correcto funcionamiento de los trenes y del sistema integral en general.

En las Figuras 2, 3 y 4 se pueden observar las vistas laterales de los vagones M, N y R respectivamente.

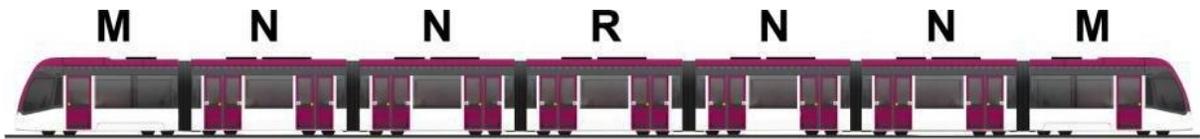


Figura 2. Composición del tren CAF

Fuente: C.A Metro de Caracas

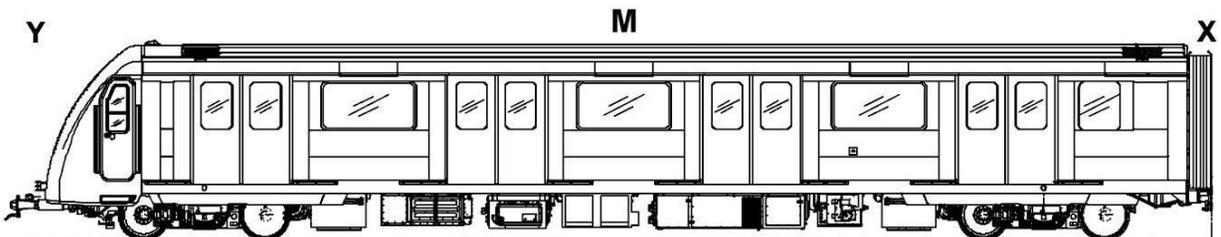


Figura 3. Vista lateral del tren CAF, vagón M

Fuente: C.A Metro de Caracas

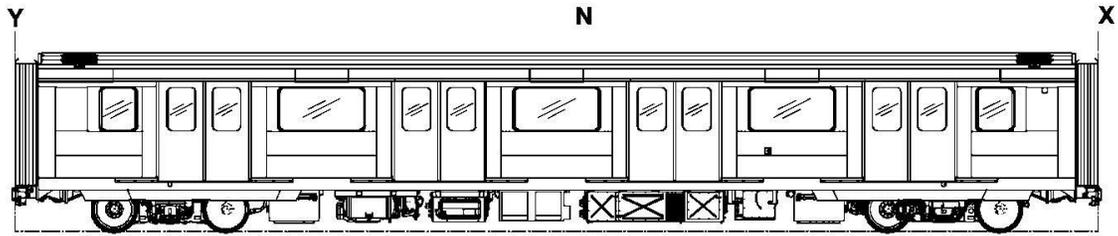


Figura 4. Vista lateral del tren CAF, vagón N

Fuente: C.A Metro de Caracas

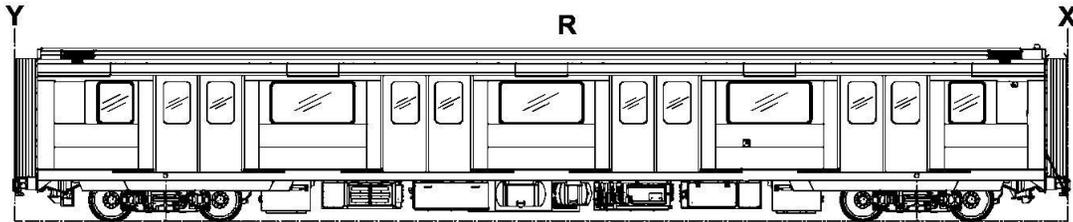


Figura 5. Vista lateral del tren CAF, vagón R

Fuente: C.A Metro de Caracas

Los subsistemas embarcados están ensamblados en cofres en función de la naturaleza de sus componentes, es decir, mecánica, eléctrica, electrónica y neumática, principalmente, e interconectados cuando corresponda mediante tuberías, mangueras y cableado eléctrico.

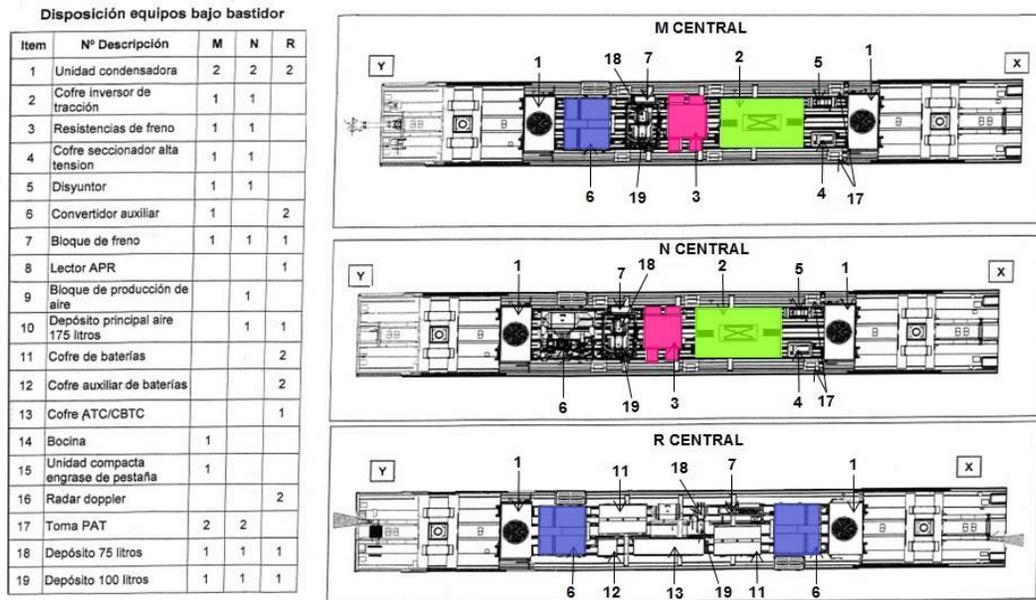


Figura 6. Distribución de equipos bajo chasis en los trenes CAF

Fuente: C.A Metro de Caracas

### 2.3 Niveles de mantenimiento según la norma X60-010

La Gerencia de Mantenimiento de Trenes utiliza cinco niveles de mantenimiento, basados en la Norma Ferroviaria Francesa X60-010 de los trenes Alstom, los cuales se explican a continuación:

- Nivel 1: Corresponde a la actuación del personal operativo de línea desde el mismo momento en que la falla se presenta, su finalidad es aislarla o minimizar sus consecuencias para mantener la disponibilidad del tren tratando de no afectar a los usuarios ni la prestación del servicio comercial. En ningún caso se realiza la reparación de un equipo.
- Nivel 2: Es el mantenimiento denominado Preventivo Ligero que permite asegurar la disponibilidad operacional del material rodante y la calidad del servicio diario. Son actividades que se realizan con una frecuencia corta, es decir, de 10000 km  $\pm$  1000 y corresponden a actividades rutinarias de corta duración como son: inspección, limpieza, cambio de elementos consumibles, engrase y ajustes. Las mismas están documentadas, lo que garantiza la homogeneidad de las intervenciones.
- Nivel 3: Es el mantenimiento denominado "Preventivo Profundo", que permite garantizar la confiabilidad y seguridad técnica de la flota. Son actividades que se realizan para cada tren a los 60000 km  $\pm$  5000. Además de las actividades de mantenimiento preventivo se realizan inspecciones adicionales de las cadenas funcionales de los sistemas embarcados.
- Nivel 4: Es el mantenimiento denominado mantenimiento por órganos, el cual consiste en el desmontaje del tren por familia de subsistemas según un kilometraje recorrido, que inicia en los 300.000 km hasta los 1.140.000 km, con el objetivo de garantizar la vida útil del equipo.
- Nivel 5: Corresponde a la contratación de terceras empresas, nacionales o extranjeras, para la realización de labores de mantenimiento de gran envergadura y que no son realizadas en la C.A. Metro de Caracas por no ser económicamente viables. Se asegura con este nivel, la actualización tecnológica de los subsistemas embarcados.

## **2.4 Subsistema Tracción-Frenado**

Sistema del tren CAF el cual utiliza una fuente de energía eléctrica externa a través de 480 V que posee el tercer riel de la vía férrea, para alimentar mediante convertidores a los motores de tracción eléctricos (utilizando Corriente Alterna), que están acoplados a los ejes para producir el desplazamiento y frenado normal del tren.

Los componentes del Subsistema Tracción-Frenado de los trenes CAF son clasificados por el fabricante en 2 categorías de equipos: Propulsión Eléctrica (PE), conformados por 4 elementos (Convertidor de Tracción, Motor de Tracción, Resistencia de Freno y Manipulador de Tracción) y Equipos Eléctricos (EE) conformados de igual manera por 4 elementos (Convertidor Auxiliar, Batería, Disyuntor y Seccionador Principal)

### **2.4.1 Propulsión Eléctrica**

#### *2.4.1.1 Convertidor de Tracción*

Un convertidor de tracción es un sistema electrónico que se encarga de convertir la energía eléctrica de la línea principal de alta tensión (750 voltios de corriente directa VDC) a una tensión de 380 voltios de corriente alterna VAC, con el objetivo de alimentar los motores de tracción del tren.

En él está integrado un circuito de chopper de freno que, además de disipar la energía procedente de los motores durante el frenado eléctrico en situaciones en las que la línea no es receptiva (valores elevados de tensión), tiene la función de proteger el propio convertidor de tracción contra variaciones repentinas de tensión que puedan producirse durante el servicio.

Todos los elementos de potencia y de control están duplicados de forma que el convertidor de tracción dispone en su interior de dos inversores de tracción completos e independientes. Cada uno de ellos alimenta un bogie motriz, es decir, el bogie que se ubica en los vagones M y N. De esta forma se consigue aumentar la disponibilidad de la unidad puesto que la misma dispone en total de 12 inversores independientes.



**Figura 7. Cofre Convertidor de Tracción**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento de Convertidor de Tracción. Edición 2**

A continuación, se presenta la Figura 8 donde se muestra la ubicación del convertidor en los vagones M. Además, mediante una vista inferior del vagón M, detalle A respectivamente, se logra visualizar la locación específica del cofre inversor de tracción.

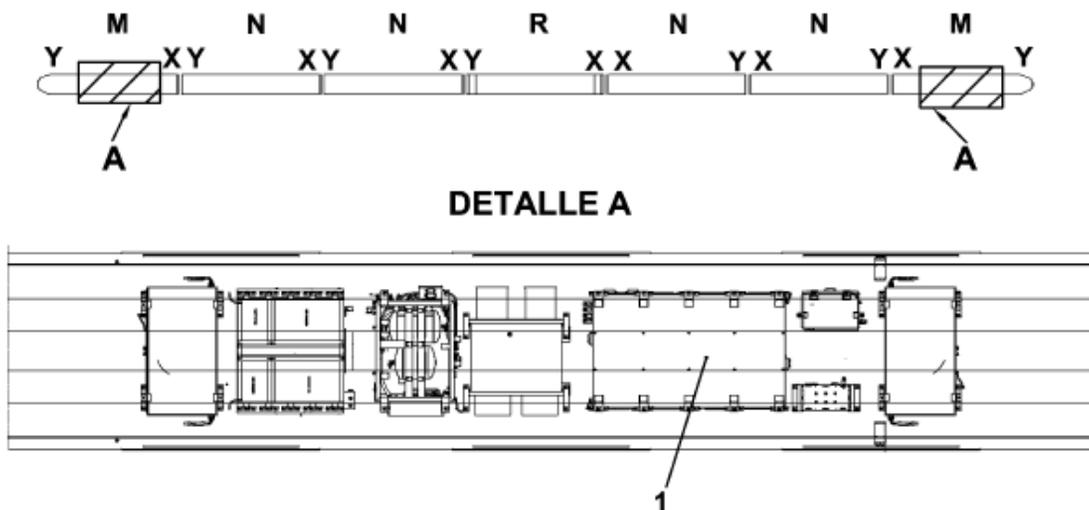


Figura 8. Localización del Cofre Convertidor de Tracción en vagones N y M

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento de Convertidor de Tracción. Edición 2

#### 2.4.1.2 Manipulador de Tracción

El manipulador de tracción se instala en la cabina de conducción de los metros, actuando de interfaz entre hombre y máquina para controlar las operaciones de tracción y freno del vehículo.

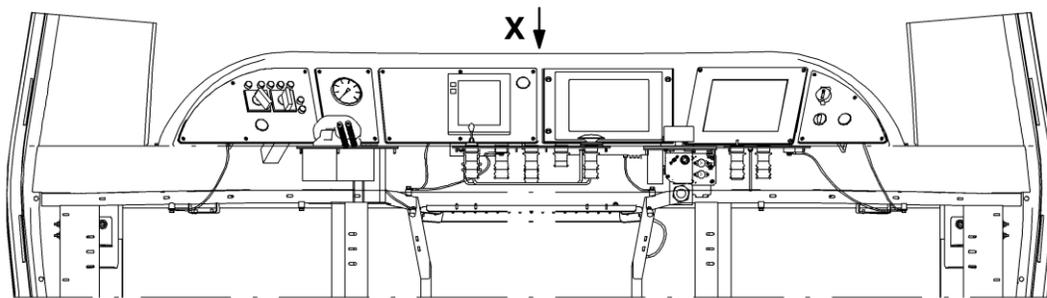
El manipulador de tracción y freno se maneja manualmente con la palanca de control, que puede desplazarse por un recorrido de 220 mm. El desplazamiento se divide en:

- Tracción: 120 mm
- Frenado: 100 mm

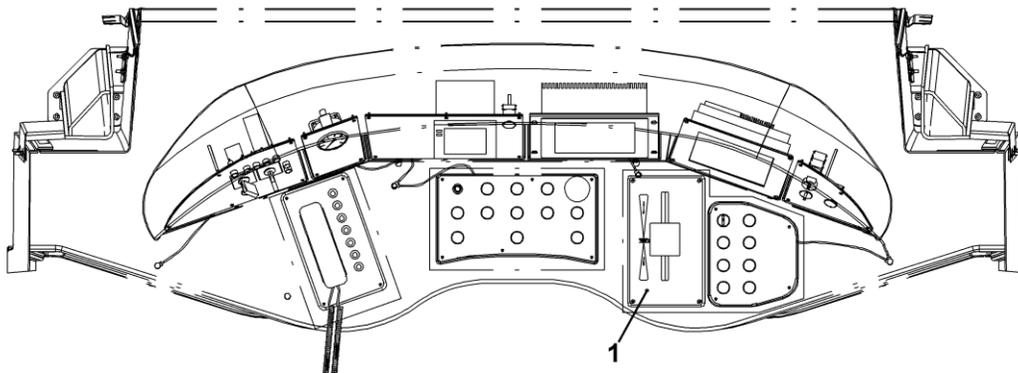
Dentro del rango de tracción y freno hay un mecanismo de retracción por muelle. La única posición estable es la posición freno máxima (F máx.). En la posición 0 hay un elemento de retención sensible pero no estable.



**SECCION A-A**



**VISTA X**



**Figura 9. Disposición del Manipulador de Tracción**

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Manipulador de Tracción. Edición

2.



**Figura 10. Pupitre de Conducción**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Manipulador de Tracción. Edición 2.**



**Figura 11. Manipulador de Tracción**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Manipulador de Tracción. Edición 2.**

#### *2.4.1.3 Resistencia de Freno*

El cofre de la resistencia de freno alberga un arreglo de resistencias encargadas de disipar la energía eléctrica en forma de calor cuando, por condiciones de uso, la misma no puede ser regenerada a la línea de alta tensión para su beneficio en otros trenes en servicio comercial.

Dicho cofre está diseñado para su instalación bajo bastidor y tiene integradas 2 ramas de resistencias. Cada una de estas ramas está conectada al circuito de chopper de un inversor. La carcasa está hecha de acero inoxidable. Las uniones son atornilladas y remachadas, no soldadas.

Las entradas y salidas de aire están en los laterales. Un techo de doble placa en la parte superior del cofre, protege la parte inferior del coche frente al calor. La resistencia está hecha a base de lamas plegadas, montadas entre aisladores cerámicos colocados sobre unos soportes.

Las resistencias de freno están situadas bajo el chasis, en los vagones M y N, tal y como se muestra en la Figura 12.

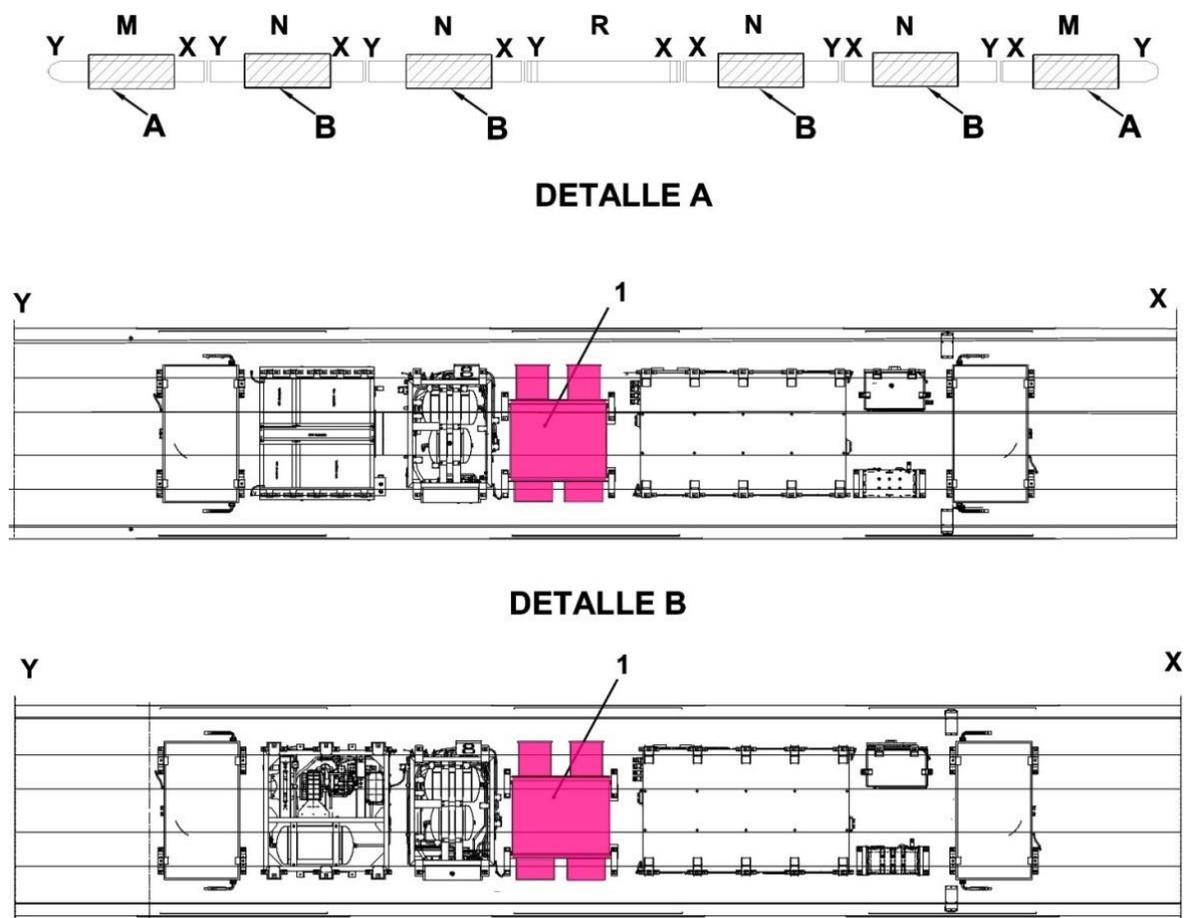


Figura 12. Localización de las resistencias de freno en vagones M y N

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento de Resistencia de Freno. Edición 2.



**Figura 13. Vista frontal de la Resistencia de Freno**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento de Resistencia de Freno. Edición 2.**



**Figura 14. Vista trasera de la Resistencia de Freno**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento de Resistencia de Freno. Edición 2.**

#### 2.4.1.4 Motor de Tracción

El motor de tracción es un motor CA de inducción de cuatro polos. Presenta un diseño eléctrico optimizado para ofrecer mayor rendimiento energético y una relación peso-rendimiento competitiva.

El motor de tracción lleva un ventilador interior que permite enfriar el material activo con el aire de los alrededores. Tiene un diseño abierto autoventilado y las entradas y salidas de aire forman parte de la protección del lado de accionamiento y del distanciador del ventilador del motor de tracción.

Una característica importante del diseño es que la jaula del rotor es de aluminio, directamente moldeada en los laminados. Se trata de un diseño de rotor probado y resistente que ofrece mayor fiabilidad.

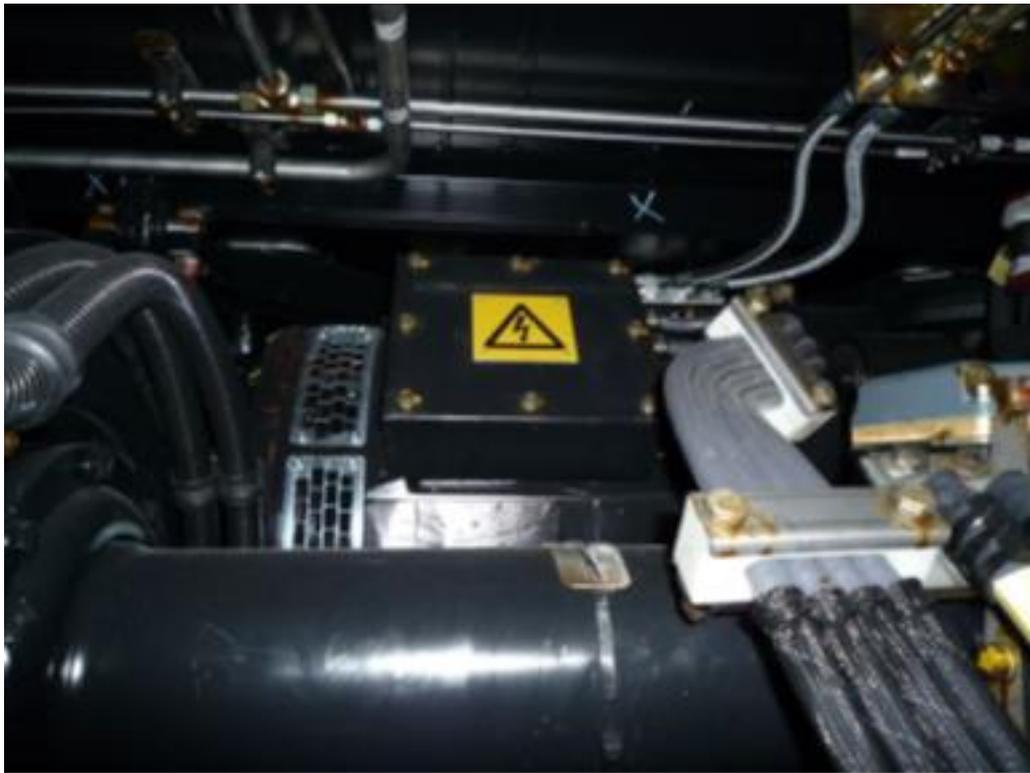


Figura 15. Imagen superior del Motor de Tracción

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Motor de Tracción. Edición 2.



**Figura 16. Imagen inferior del Motor de Tracción**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Motor de Tracción. Edición 2.**

## 2.4.2 Equipos Eléctricos

### 2.4.2.1 Convertidor auxiliar

El convertidor auxiliar es un cofre que funciona con energía eléctrica, encargado de transformar la energía de alta tensión de 750 VDC a los niveles nominales de uso de los sistemas auxiliares del tren de 380 VAC y 72 VDC. En la figura 17 se puede visualizar dicho convertidor.



Figura 17. Convertidor Auxiliar

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Convertidor Auxiliar. Edición 2.

Los convertidores auxiliares están situados en los vagones M y R, tal y como se muestra en la Figura 18.

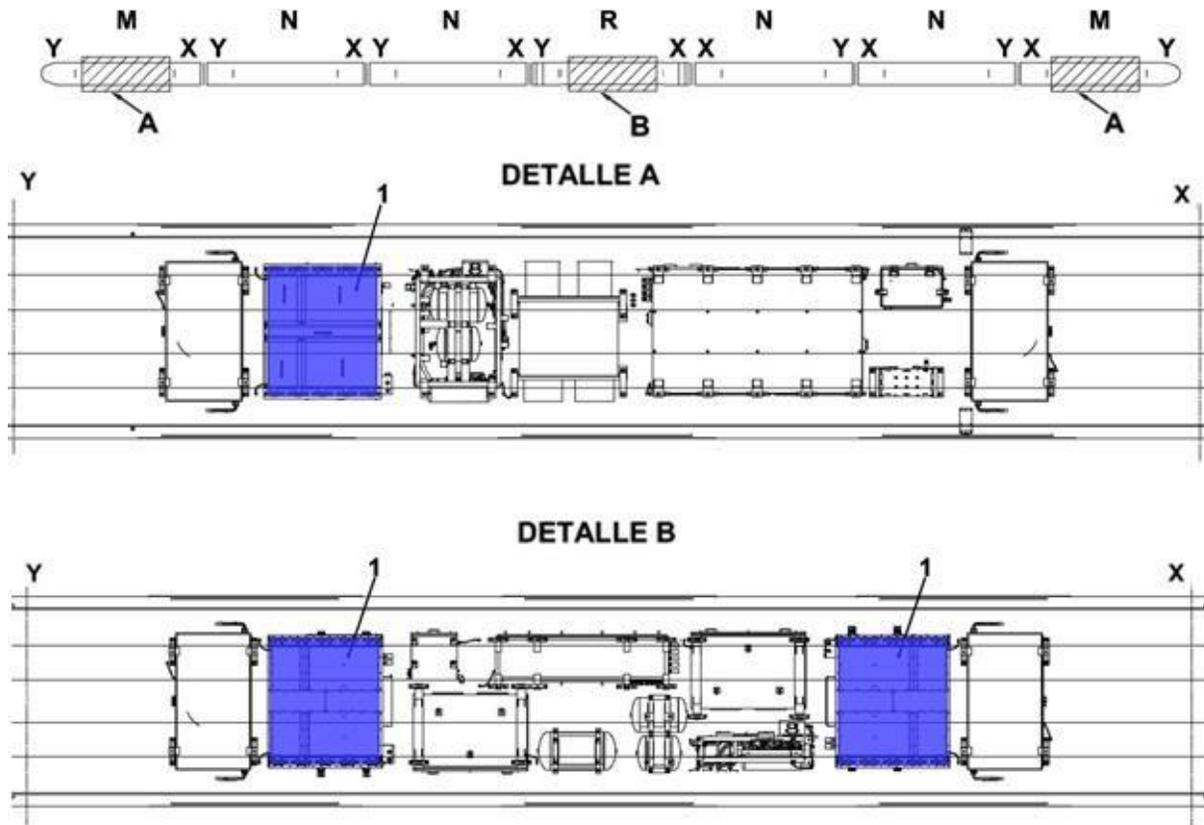


Figura 18. Localización del convertidor auxiliar en vagones M y R

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Convertidor Auxiliar. Edición 2.

El convertidor auxiliar ha sido diseñado para estar integrado en su propio cofre y disponer de un convertidor de entrada que está directamente conectado a la tensión de entrada y a dos puertos de salida. Un puerto de salida del convertidor de entrada sirve para cargar directamente la batería con 72 VDC. El otro puerto de salida proporciona la conexión para el inversor trifásico conectado.

### 2.4.2.2 Batería

Las baterías son sistemas electroquímicos utilizados para proporcionar energía a los equipos eléctricos y electrónicos. La energía eléctrica se produce directamente por reacciones químicas que se producen dentro de la batería.

El tren dispone de dos baterías MRX230 x55 montadas en cofres bajo bastidor en los vagones remolque R (3). En cada vagón R también se encuentra un cofre auxiliar de baterías (2) donde se alojan los magnetotérmicos principales del circuito de batería.

La batería MRX230 x55 suministra 72 V y proporciona energía de reserva en caso de emergencia para los sistemas eléctricos de seguridad y auxiliares, incluidos el alumbrado, la señalización, las comunicaciones, control de puerta, control de frenado y manejo.

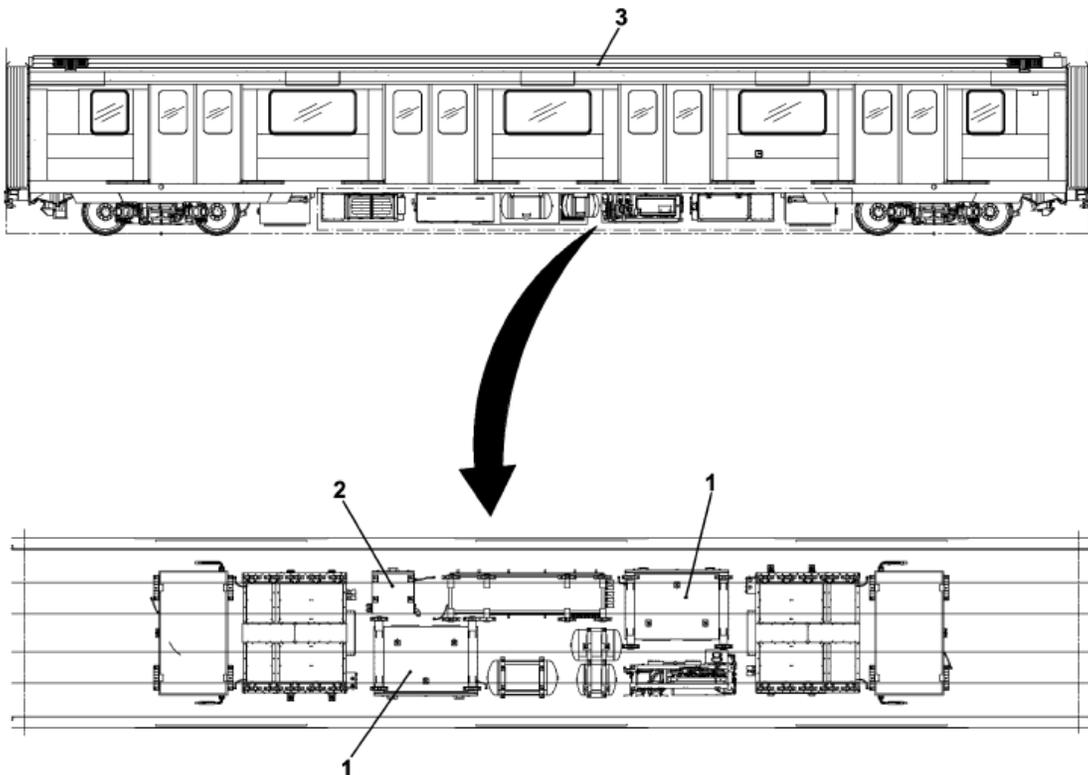
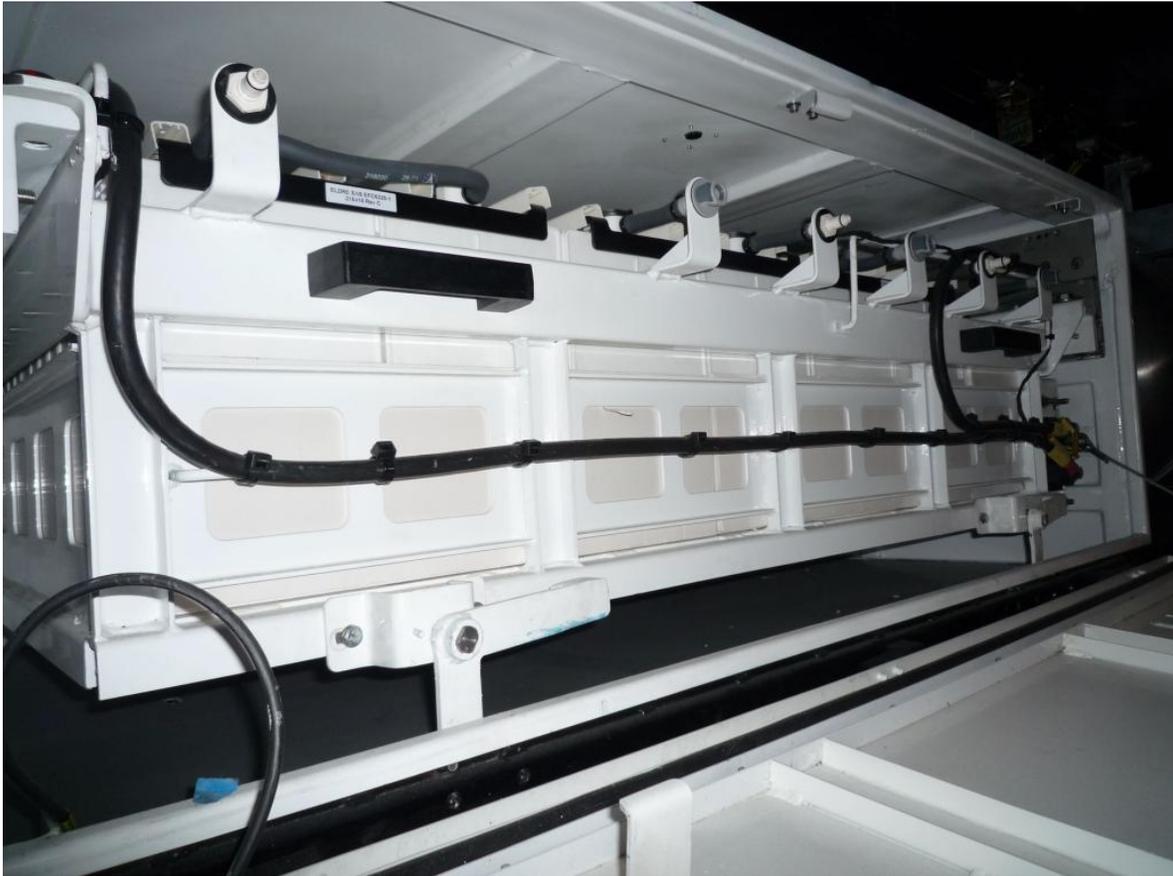


Figura 19. Localización del convertidor auxiliar en vagones

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento de la Batería. Edición 2.



**Figura 20. Batería MRX230 x55**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento de la Batería. Edición 2.**

### 2.4.2.3 Disyuntor

El Disyuntor UR 15 es un disyuntor para alimentación eléctrica de baja tensión, limitador de corriente de alta velocidad y enfriado por aire. Ha sido diseñado para asegurar un corte libre y una rápida apertura de sus contactos principales ante la presencia de un cortocircuito y para una rápida extinción del arco generando una sobre tensión constante durante todo el proceso de interrupción.

El disyuntor es particularmente adecuado para la protección del equipamiento eléctrico de corriente continua correspondiente al material rodante, debido a su corto tiempo de respuesta tras la detección de una sobreintensidad (cortocircuito, sobrecarga, etc.).

El disyuntor (1, Figura 21) está situado bajo bastidor, en los vagones M y N.

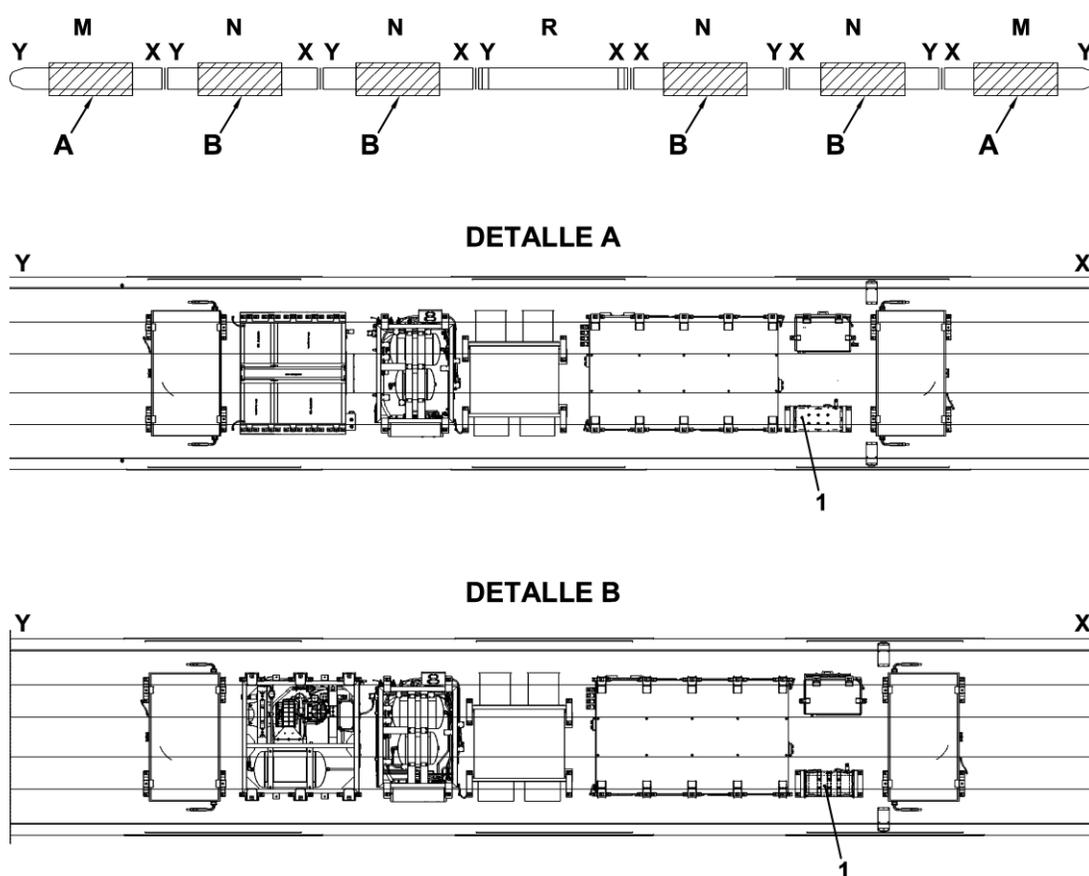
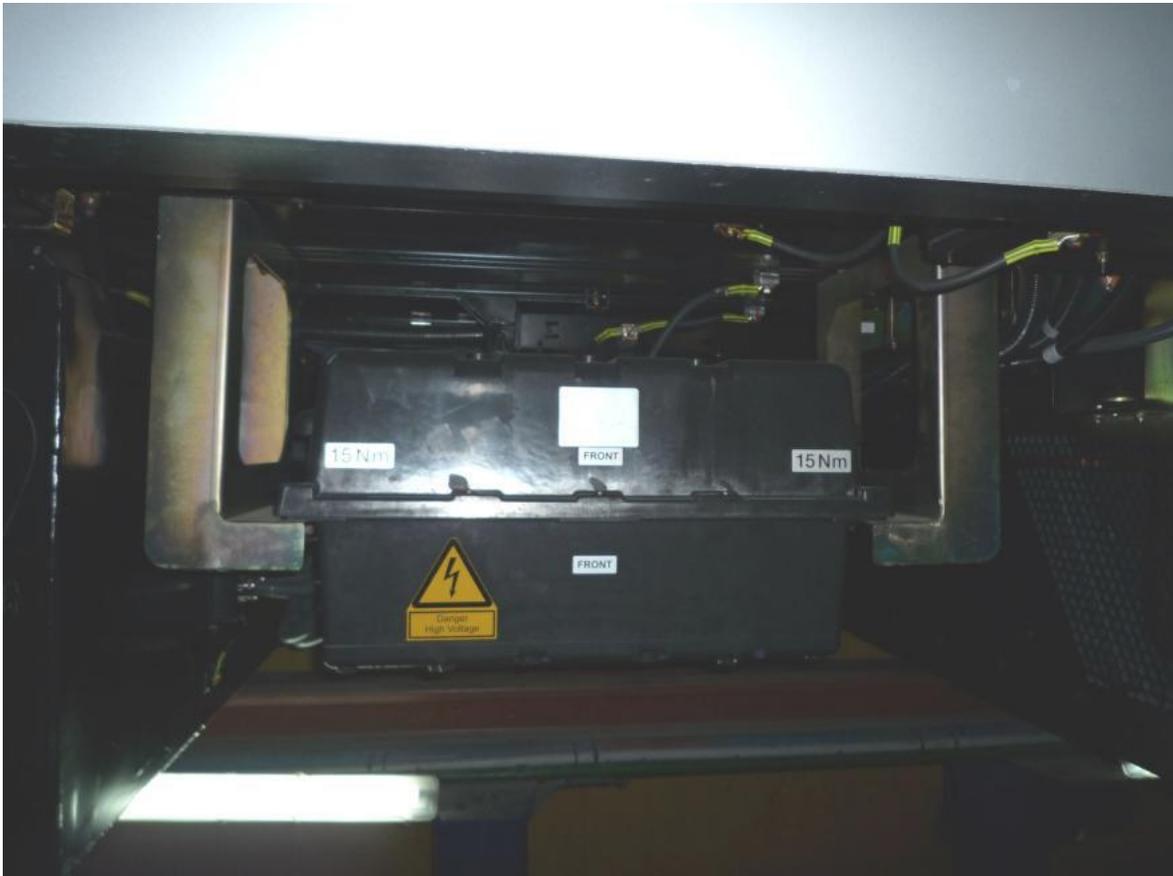


Figura 21. Localización de disyuntores

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Disyuntor. Edición 2.



**Figura 22. Disyuntor UR 15**

**Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Disyuntor. Edición 2.**

#### *2.4.2.4 Seccionador Principal*

El seccionador principal (1, Figura 23) con los que se equipan los vagones motorizados de Metro Caracas es un conmutador de 3 posiciones (NORMAL-NEUTRO-TALLER). Dichas posiciones están enclavadas.

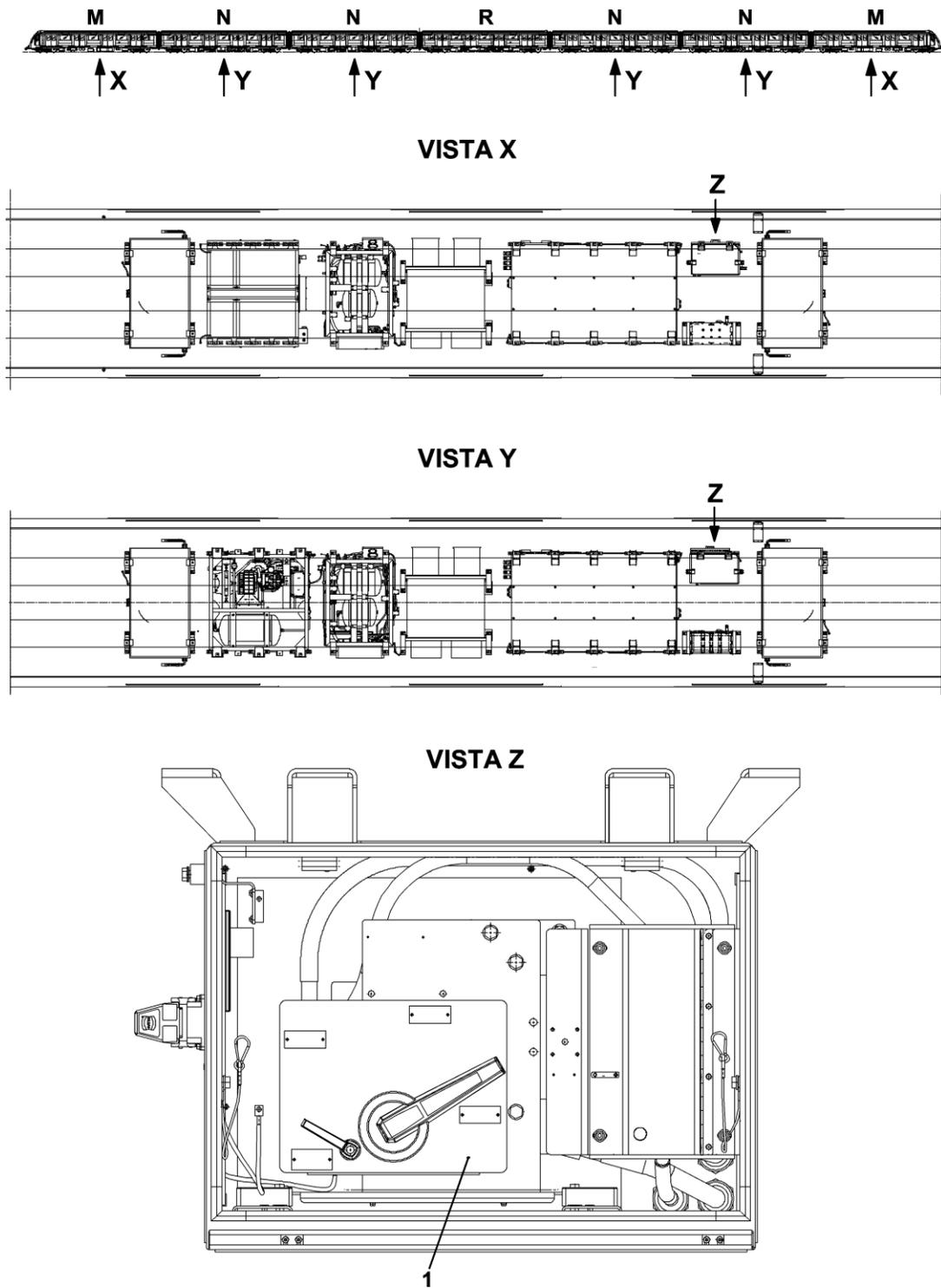
No se puede cerrar completamente la puerta del cofre del seccionador, a menos que la posición de la palanca principal del seccionador esté en la posición de NORMAL. En cualquier otro caso, la puerta del cofre queda parcialmente abierta.

El seccionador presenta dos palancas distintas para su funcionamiento: la palanca principal (de color rojo) y la palanca secundaria (de color amarillo). La palanca principal presenta 3 posiciones diferentes:

- NORMAL: La alimentación de alta tensión se obtiene desde el tercer riel.
- TALLER: La alimentación de alta tensión se obtiene desde la toma de taller
- NEUTRO: Aislado. No hay alimentación de alta tensión

La palanca secundaria presenta dos posiciones:

- Desbloqueo
- Bloqueo en neutro para mantenimiento



**Figura 23. Localización del Seccionador Principal**

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Seccionador Principal. Edición 1.

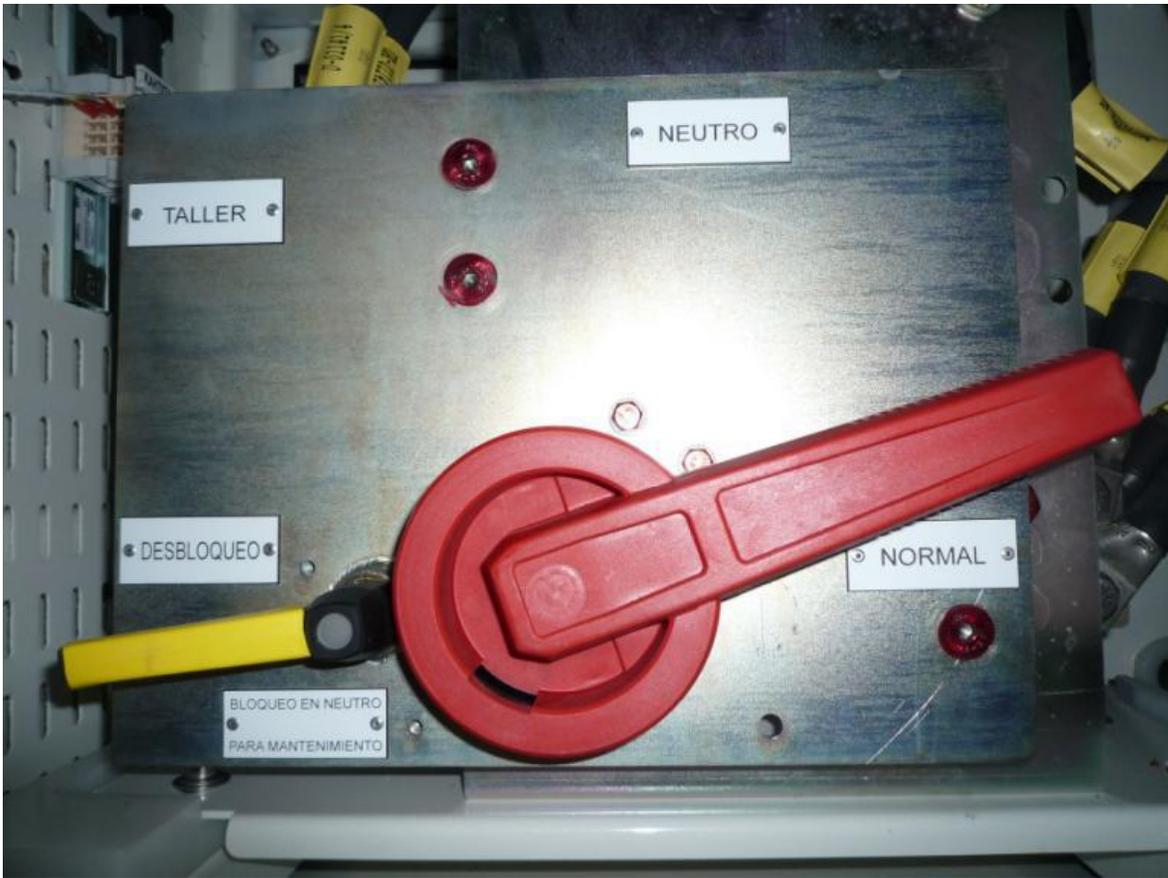


Figura 24. Seccionador Principal

Fuente: C.A. Metro de Caracas. (2012). Manual de Mantenimiento del Seccionador Principal. Edición 1.

## **2.5 Diagrama Causa-Efecto**

También llamados como diagramas de causa-efecto, consisten en definir la ocurrencia de un evento o problema, el efecto, y después identificar los factores que contribuyen, es decir las causas. Las causas principales se dividen en cinco categorías principales: mano de obra, máquinas, métodos, materiales y medio ambiente, cada una dividida en sub-causas.<sup>7</sup>

## **2.6 Diagrama de Pareto**

El diagrama de Pareto, es un gráfico de columnas que presenta la información en orden descendente y, por lo tanto, resalta los elementos más importantes que explican un fenómeno o situación. En el análisis de Pareto, las causas a estudiar, se identifican y se miden en una escala común, para luego ser agrupadas en orden ascendente, creando una distribución acumulada. Por lo común, 20% de los artículos clasificados representan 80% o más de la actividad total.

## **2.7 Depreciación**

Es la reducción del valor histórico de las propiedades, plantas y equipos por su uso o caída en desuso. La contribución de estos activos a la generación de ingresos del ente económico debe reconocerse periódicamente a través de la depreciación de su valor histórico ajustado. Con el fin de calcular la depreciación de las propiedades, planta y equipo es necesario estimar su vida útil y, cuando sea significativo, su valor residual.<sup>8</sup>

## **2.8 Método de línea recta**

Es el método de depreciación más utilizado y con este se supone que los activos se usan más o menos con la misma intensidad año por año, a lo largo de su vida útil; por tanto, la depreciación periódica debe ser del mismo monto. Este método distribuye el valor histórico ajustado del activo en partes iguales por cada

7. Niebel, B y Freivalds, A (2004). Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del trabajo. Editorial Alfa-Omega. México, D.F, Pág. 24 y 25.

8. Spiller, Earl A., Jr; Gosman Martin L. Contabilidad financiera. México D.F: Mc Graw Hill. 1988.

año de uso. Para calcular la depreciación anual basta dividir su valor ajustado entre los años de vida útil.<sup>9</sup>

$$DEPRECIACIÓN ANUAL = \frac{\text{Valor del Activo} - \text{Valor Residual}}{\text{Vida Útil}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

## 2.9 Técnicas de valoración económica

La selección de un proyecto industrial no puede realizarse arbitrariamente, sino que debe ser el resultado de una decisión cuidadosa, basada sobre consideraciones objetivas. Las técnicas de valoración económica miden las ventajas y desventajas de un proyecto y lo compara con otros, con el propósito de que los recursos disponibles sean asignados a aquellos proyectos que sean más factibles, de esta forma, guían la selección de un curso particular de acción de entre varias alternativas por métodos cuantificados. Algunas de estas técnicas son:

### 2.9.1 Valor Actual Neto (VAN)

Es la diferencia entre los flujos anuales netos (expresados en moneda actual) y la inversión inicial en el año cero (0) del periodo de evaluación. En otras palabras, el Valor Actual Neto es equivalente al valor actualizado al año cero de los flujos de caja netos actuales del proyecto.<sup>10</sup>

El VAN se expresa mediante la siguiente formula:

$$VAN = \frac{\sum FAN}{(1 + TMAR)^n} - I_0 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$VAN = \text{Valor Actual Neto}$

$N = \text{Número de Período de Evaluación}$

$FAN = \text{Flujo Neto Actual}$

9. Leland Blank & Anthony Tarquin. Ingeniería Económica. Editorial Mc Graw Hill Sexta edición (2002) Pág. 224-245

10. Palella Stracuzzi, Santa. Metodología de la investigación cualitativa. Editorial Fedupel. Caracas, Venezuela (2006). Segunda edición. Pág .87

$I_0 = \text{Inversión Inicial}$

$TMAR = \text{Tasa M\u00ednima Atractiva de Retorno}$

Los criterios de aceptaci\u00f3n o rechazo de un proyecto seg\u00fan el VAN son los siguientes:

- a) Si  $VAN > 0$ , el plan permite un ahorro de unidades monetarias por encima de lo exigido y, por lo tanto, el plan es factible.
- b) Si  $VAN \leq 0$ , el plan propuesto no logra una disminuci\u00f3n de los costos y, por tanto, el plan no es factible.

### **2.9.2 M\u00e9todo de Regresi\u00f3n: Regresi\u00f3n Exponencial**

T\u00e9cnica de an\u00e1lisis num\u00e9rico en la que, dados un conjunto de pares o ternas, se intenta encontrar la funci\u00f3n que mejor se aproxime a los datos. En su forma m\u00e1s simple, intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias ordenadas (llamadas residuos) entre los puntos generados por la funci\u00f3n y los correspondientes en los datos. Este m\u00e9todo s\u00f3lo sirve para ajustar modelos lineales.

A partir del m\u00e9todo de los m\u00ednimos cuadrados se obtienen las ecuaciones de regresi\u00f3n y tienen varias aplicaciones: descripci\u00f3n y construcci\u00f3n de modelos, predicci\u00f3n y estimaci\u00f3n, estimaci\u00f3n de par\u00e1metros y control, entre otras. Aunque la regresi\u00f3n lineal, tiene aplicaci\u00f3n en muchos problemas, en algunos casos, la relaci\u00f3n que liga las variables exige la utilizaci\u00f3n de ajustes no lineales. No obstante, incluso en estas \u00faltimas situaciones, por su sencillez suele aplicarse la regresi\u00f3n lineal aprovechando el que casi toda funci\u00f3n (curva) puede aproximarse por una recta en un peque\u00f1o dominio.

El m\u00e9todo exponencial establece que la ecuaci\u00f3n general para realizar estimaciones sobre una variable de estudio tiene la siguiente expresi\u00f3n:

$$Y = ab^x \quad (\text{Ecuaci\u00f3n 3})$$

El método exige transformar la función exponencial en una función lineal. Esto se hace tomando logaritmos en la ecuación general, de modo que la expresión resultante con esta transformación es la siguiente:

$$\log(Y) = \log(a) + x\log(b) \quad (\text{Ecuación 4})$$

La expresión anterior corresponde con la ecuación de una recta punto-pendiente ( $Y = A + BX$ ), solo que está expresada en términos de logaritmos. De esta forma, los parámetros de la ecuación general pueden obtenerse de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$a = a\log(A) = 10A$$

$$b = a\log(B) = 10B$$

(Ecuación 5)

### 2.9.3 Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR)

Arroja el valor mínimo de la tasa, necesario para que un plan propuesto sea financieramente aceptable.<sup>11</sup>

Para ello se utiliza la Ecuación:

$$TMAR = I + F + I * F \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$TMAR =$  Tasa Mínima Atractiva de Retorno

$I =$  Tasa Inflacionaria Promedio

$F =$  Tasa de Riesgo

11. Leland Blank & Anthony Tarquin. Ingeniería Económica. Editorial Mc Graw Hill Sexta edición (2002).

### 2.9.4 Flujo Actual Neto y Proyectado (FANP)

Corresponde a la cantidad de efectivo real que entra y sale durante el periodo de tiempo en estudio.<sup>12</sup>

$$FANP = FAN * (1 + I)^n \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$$FANP = \text{Flujo Actual Neto Proyectado}$$

$$FAN = \text{Flujo Actual Neto} = \text{Tasa Inflacionaria Promedio}$$

### 2.10 Validación de Encuestas

“Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir”<sup>13</sup>. El cuestionario es el instrumento a través del cual se recoge la información sobre las variables en estudio. Cuestionarios defectuosos ofrecen una visión sesgada de la realidad que se está analizando, por lo tanto, necesita de algún tipo de validación.

### 2.11 Validez de Contenido

Se pretende comprobar cuáles de los aspectos elegidos o preguntas que se hacen son indicadores claros de lo que se pretende medir. Para ello hay que someter el cuestionario a la valoración de investigadores y expertos que deben juzgar la capacidad de este para evaluar todas las dimensiones que se desean medir.

12. Lind, D.; Mason, R.; Marchal, W. “Estadística para Administración y Economía”. McGraw-Hill. (2001)

13. Hernández Sampieri, R. Metodología de la Investigación, Mc Grow Hill (2000) Pág. 278

## **CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

El siguiente capítulo desarrolla el análisis y la valoración crítica de los métodos usados, donde explica los procedimientos y técnicas consideradas como importantes para la recolección y análisis de la información requerida por los objetivos del estudio. “La metodología del proyecto incluye el tipo de investigación o tipos de investigación, la técnica y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “como” se realizará el estudio para responder el problema planteado”.<sup>14</sup>

### **3.1 Nivel de la Investigación**

Existen varios tipos de nivel de investigación entre los cuales se encuentra el tipo exploratorio, descriptivo o explicativo. El nivel de investigación es el grado de profundidad con que ataca el proyecto. La investigación descriptiva “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o suceso con establecer su estructura o comportamiento”. Este trabajo de grado se considera un nivel de investigación de tipo descriptiva, debido que se caracteriza el mantenimiento actual y el mantenimiento propuesto a detalle, proporcionando todos los aspectos importantes de sus sistemas y procedimientos.

### **3.2 Tipo de Investigación**

El tipo de investigación es la estrategia que se utilizara para responder al planteamiento del problema y objetivos donde el presente trabajo de grado se sitúa en un tipo de investigación de campo, la cual “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos”<sup>15</sup>. El presente proyecto de un diseño de mantenimiento preventivo se realizó dentro de las instalaciones del patio de mantenimiento (estación terminal Propatria) de la empresa C.A. Metro de Caracas.

14. Arias, Fidias G. El proyecto de investigación. Editorial Episteme. Caracas (1999). Tercera edición. Pág. 19

15. Id.10

El tipo de investigación se puede clasificar en experimental y no experimental. “En el diseño no experimental se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto, en este diseño no se construye una situación específica si no que se observa las que existen”<sup>16</sup>. En el presente trabajo de grado se analiza una situación existente, para posteriormente mejorar el escenario actual de la empresa mediante la propuesta de un diseño de mantenimiento preventivo.

### **3.3 Población y Muestra**

Para el diseño del plan de mantenimiento preventivo, se recolectaron los datos e información necesaria de toda la población del personal de mantenimiento, dado que tienen los conocimientos necesarios para llevar a cabo el plan propuesto. Debido a que se trabajó con la totalidad del personal de mantenimiento no fue necesario realizar ningún tipo de muestreo para la recolección de información. En la sección de anexos A.3 se muestra una tabla con la descripción del personal que formó parte de la población en este trabajo de grado.

Con respecto a las máquinas y equipos existentes en la empresa, solo se tomó en consideración a las unidades que presentaran una criticidad alta o muy alta, con un resultado de 1125 unidades sobre una población de 1275 unidades.

### **3.4 Métodos usados para la recolección de la información**

Para obtener información existen distintas formas o maneras entre las cuales se encuentra el método empírico, estadístico y teórico.

#### **3.4.1 Métodos empíricos**

“Los métodos empíricos permiten la obtención y elaboración de los datos empíricos y el conocimiento de los hechos fundamentales que caracterizan a los fenómenos”<sup>17</sup>.

16. Hernández M, Edelsys. Metodología de la investigación. Escuela Nacional de Salud Pública (2006). Pág. 31

17. Id. 16

Para el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo distintos métodos empíricos, entre ellos se encuentra la observación directa, empleada para la obtención de información de la situación actual de la empresa, procedimientos de mantenimiento, actualización de inventario de máquinas y equipos. Se hizo uso de encuestas con la finalidad de resaltar algunos aspectos importantes de la empresa. Por último, se realizó entrevistas no estructuradas al personal de mantenimiento, debido a la falta de documentación e información que padece el departamento para así poder recopilar las rutinas y los procedimientos de mantenimiento.

### **3.4.2 Métodos Estadísticos**

“Los métodos estadísticos cumplen una función relevante, ya que contribuyen a determinar la muestra de sujetos a estudiar, tabular los datos empíricos obtenidos y establecer las generalizaciones apropiadas a partir de ellos”

Para el presente trabajo de grado se hizo uso de la estadística descriptiva, para así lograr establecer los distintos niveles de criticidad de las máquinas y equipos de la empresa mediante una distribución normal.

### **3.4.3 Métodos Teóricos**

“Los métodos teóricos crean las condiciones para ir más allá de las características fenoménicas y superficiales de la realidad, explicar los hechos y profundizar en las relaciones esenciales y cualidades fundamentales de los procesos no observables directamente”<sup>18</sup>.

En el presente trabajo de grado se aplica como método teórico el “análisis y síntesis” de todo lo que conlleva la gestión de mantenimiento actual, junto con el plan propuesto a las máquinas y equipos de la empresa.

## **3.5 Fases de la investigación**

Para el desarrollo de este trabajo de grado se listan las distintas etapas de la investigación:

18. Hernández M, Edelsys. Metodología de la investigación. Escuela Nacional de Salud Pública (2006). Pág. 34

1. Levantamiento y análisis de la situación actual de mantenimiento, mediante el empleo de la Norma COVENIN 2500-93 y las diez (10) mejores prácticas de la gestión del mantenimiento.
2. Caracterización de los equipos
3. Diseño de formatos de control
4. Programación del mantenimiento preventivo
5. Diseño de indicadores de gestión
6. Estudio de costos y factibilidad económica

## CAPÍTULO IV: SITUACIÓN ACTUAL

En el presente capítulo se muestra la gestión actual del departamento de mantenimiento frente a las máquinas y equipos con las que cuenta la empresa C.A. Metro de Caracas. A fin de representar lo mencionado anteriormente, se hizo uso de un diagrama de flujo (ver anexo B.1). En último lugar, se diagnosticará y evaluará la actual gestión de mantenimiento mediante la aplicación de la norma COVENIN 2500-93 y el estudio de las 10 mejores prácticas de la gestión de mantenimiento, en aras de describir las virtudes y defectos del sistema de mantenimiento utilizado en la actualidad.

### 4.1 Descripción del procedimiento de mantenimiento actual

El departamento de mantenimiento se dedica a la corrección de fallas que presentan las máquinas y equipos de la empresa, estas actividades se ejecutan actualmente sólo por el personal interno de la organización, puesto que ninguna actividad de mantenimiento es realizada por personal subcontratado (contratistas eventuales).

Turnos de Trabajo en la C.A. Metro de Caracas	
Turno	Horario
1º	6am - 2 pm
2º	2pm - 10 pm
3º	10pm - 6am

Tabla 1. Turnos de Trabajo Diarios en la C.A. Metro de Caracas

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.1 Mantenimiento con el personal interno de la organización

La organización cuenta con tres (3) técnicos, que se encuentran divididos en dos (2) unidades. Dichos técnicos laboran en el tercer turno del día. En el anexo B.1 se expone por medio de un diagrama de flujo el proceso que ejecuta el personal interno luego de que se emite una orden de trabajo (O.T).

Actualmente el personal interno se encarga del 100% del total de las máquinas y equipos.

Es importante resaltar que el personal de mantenimiento no recibe por parte de la empresa ningún tipo de adiestramiento para la realización de las actividades de mantenimiento.

## **4.2 Diagnóstico y Evaluación de la Situación Actual**

Para el desarrollo del presente trabajo especial de grado, se realizó un recorrido en las instalaciones de la empresa para determinar el estado en que se encuentran las máquinas y equipos, resultando que se maneja un inventario de máquinas y equipos no actualizados de 1275 unidades (1020 operativos y 255 fuera de servicio). Se observó en algunos equipos y máquinas, la ausencia o deterioro de las placas de identificación, lo que dificulta la actualización del inventario.

Finalmente se constató una falta de documentación y ordenes de trabajo de las actividades que llevan a cabo los técnicos de mantenimiento, así como la reparación de fallas, repuestos y materiales consumidos en la ejecución de las mismas.

### **4.2.1 Aplicación de la Norma de Mantenimiento COVENIN 2500-93**

La Norma COVENIN 2500–93 constituye un método cuantitativo, que permite la evaluación de sistemas de mantenimiento, en empresas en pleno funcionamiento, para así determinar la capacidad de gestión de la empresa en lo que respecta al mantenimiento, mediante el análisis y calificación de los siguientes factores:

- Organización de la empresa.
- Organización de la función de mantenimiento.
- Planificación, programación y control de las actividades de Mantenimiento.
- Competencia del personal.

El área de planificación, programación y control de las actividades de mantenimiento incluye la evaluación de objetivos y metas del departamento, la determinación de las necesidades reales de las máquinas y equipos a mantener, los tiempos de ejecución de las actividades de mantenimiento, disponibilidad de los

recursos, apoyo logístico, las políticas de planificación, la codificación lógica y el levantamiento de un inventario técnico de las diferentes máquinas y/o equipos.

Para la aplicación de esta norma se deben conocer dos definiciones, las cuales serán evaluadas durante este estudio:

- **Principio Básico:** Concepto que refleja las normas de organización y funcionamiento, sistemas y equipos que deben existir y aplicarse en mayor o menor proporción para lograr los objetivos de mantenimiento.
- **Deméritos:** Aspecto parcial referido a un principio básico, que por omisión o su incidencia negativa origina que la efectividad de este no sea completa, disminuyendo en consecuencia la puntuación total de dicho principio.

La norma COVENIN 2500-93 trae consigo una ficha de evaluación, la cual se procedió a rellenar cada uno de los principios básicos que esta contiene, respetando los valores máximos que se le puede asignar si la empresa pone en práctica dicho principio básico o de lo contrario se le asigna un valor (0) cero para indicar que no es aplicado. Es importante resaltar que, según la norma, si la puntuación máxima total obtenida en la ficha de evaluación se acerca a 2500 puntos, se considera que se tiene una buena gestión de mantenimiento en la empresa evaluada.

#### *4.2.1.1 Resultados de la aplicación de la norma COVENIN 2500-93*

Luego de aplicar la norma, se puede evidenciar las fallas que existen en la gestión de mantenimiento actual. En la sección de anexos B.3 se observa los resultados de cada uno de los principios. En la tabla N.º 2 se muestra el resumen de las tres áreas con menor puntaje:

Área	Puntuación Total de los principios por área	Total de deméritos por área	Puntos totales	% (Efectividad)
Mantenimiento Programado	250	125	125	50%
Mantenimiento Preventivo	250	130	120	50%
Mantenimiento por Avería	250	140	110	45%

Tabla 2. Áreas con menor puntaje en la aplicación de la Norma COVENIN 2500-93

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica (ver figura N°25) se representa el resumen de la efectividad obtenida por cada área de estudio.

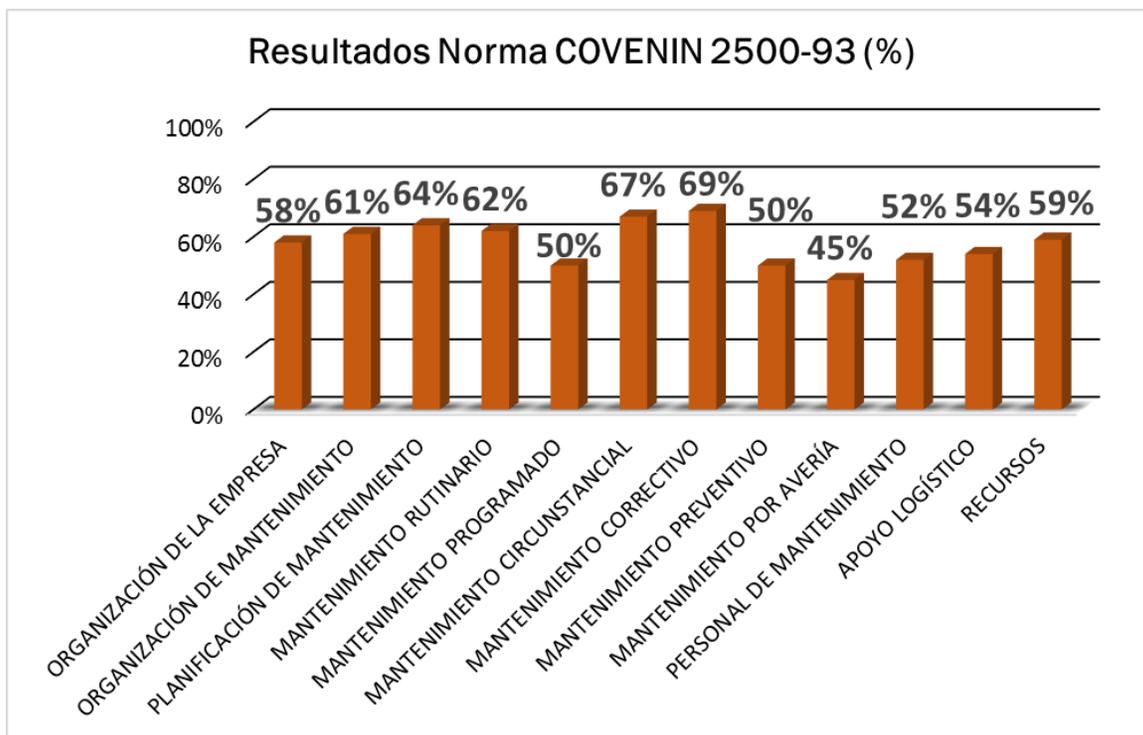


Figura 25. Resultados de la Aplicación de las normas COVENIN 2500-93

Fuente: Elaboración Propia

Con la aplicación de la ficha de evaluación se obtuvo una efectividad global del 58%, lo que ratifica que a pesar de que el porcentaje obtenido supera el 50 %, existen algunas oportunidades de mejora en la gestión actual de mantenimiento.

#### **4.2.2 Evaluación de la gestión de mantenimiento con la aplicación de las 10 mejores prácticas**

Se aplicó una encuesta basada en las 10 mejores prácticas en la gestión de mantenimiento, puesto que la vigencia de la norma COVENIN 2500-93 data del año 1993. Dicha encuesta fue realizada con el propósito de poder completar el diagnóstico de la situación actual de la empresa, al tomar en cuenta las opiniones del personal de mantenimiento. El diseño de la encuesta se fundamentó en los siguientes puntos:

- 1) Organización basada en equipo
- 2) Contratistas orientados a la productividad
- 3) Integración con proveedores de materiales y servicios
- 4) Apoyo y visión gerencial
- 5) Planificación y Programación proactiva
- 6) Mejoramiento continuo
- 7) Gestión disciplinada de procura de materiales
- 8) Integración de procesos y sistemas
- 9) Paradas del sistema
- 10) Producción basada en la confiabilidad

Se formularon tres (3) preguntas por cada ítem, para un total de treinta preguntas, las cuales se encuentran representadas en el anexo B.3. Dicha valoración fue expresada en 5 niveles (ver anexo B.4) que indican el grado de aprobación del personal encuestado con las preguntas realizadas. Dicha encuesta fue aplicada al personal interno de mantenimiento (2 supervisores y 3 técnicos), tomando en consideración la experiencia y el conocimiento del mismo, ya que esto les permite conocer los procesos de mantenimiento que son desarrollados día a día en la empresa.

#### 4.2.2.1 Resultados de la encuesta de las 10 mejores prácticas de mantenimiento.

Con los valores dados a cada una de las preguntas de la respectiva encuesta por parte de los encuestados, se procedió a calcular los promedios de las puntuaciones obtenidas para cada ítem, obteniendo un promedio global de 3,52 en una escala comprendida entre 1 y 5. Posteriormente habiendo realizado dichos cálculos, se construyó un diagrama de araña (ver figura 26), de manera que así sean expuestas las debilidades existentes en la Gestión de Mantenimiento.



Figura 26. Diagrama de Malla

Fuente: Elaboración Propia

Las tres prácticas que resultaron con el puntaje más bajo fueron las siguientes:

- Planificación y Programación Proactiva (promedio de 3,00).
- Mejoramiento Continuo (promedio de 3,13).
- Apoyo y Visión Gerencial (promedio de 3,27).

Estas prácticas fueron analizadas de forma individual mediante la aplicación de un diagrama de Ishikawa, basados en el método de las 5 M's (Máquinas, Método, Mano de Obra, Medio Ambiente, Materia Prima) para la detección de las causas que originan el efecto.

Se aplicó una matriz de decisión para poder establecer la ponderación de cada causa en base a su nivel de relevancia en el respectivo problema, la cual fue evaluada en base a 5 criterios de decisión (ver anexo B.5)

Asimismo, se generó un sistema binario de valoración para determinar la puntuación de cada criterio, siendo cero (0) una respuesta negativa a la interrogante y uno (1) una respuesta afirmativa. De esta forma, se establecieron los pesos obtenidos, tanto en las causas principales como en las causas secundarias. Las matrices de decisión se representan en los anexos B.6, B.7 y B.8.

Finalmente, luego de aplicar los diagramas de Ishikawa, se realizaron diagramas de Pareto, para analizar la cantidad de causas que generan mayor impacto al surgir los problemas. En las figuras 27, 28, 29, 30, 31 y 32, podrán visualizarse los diagramas de Ishikawa y de Pareto correspondientes.

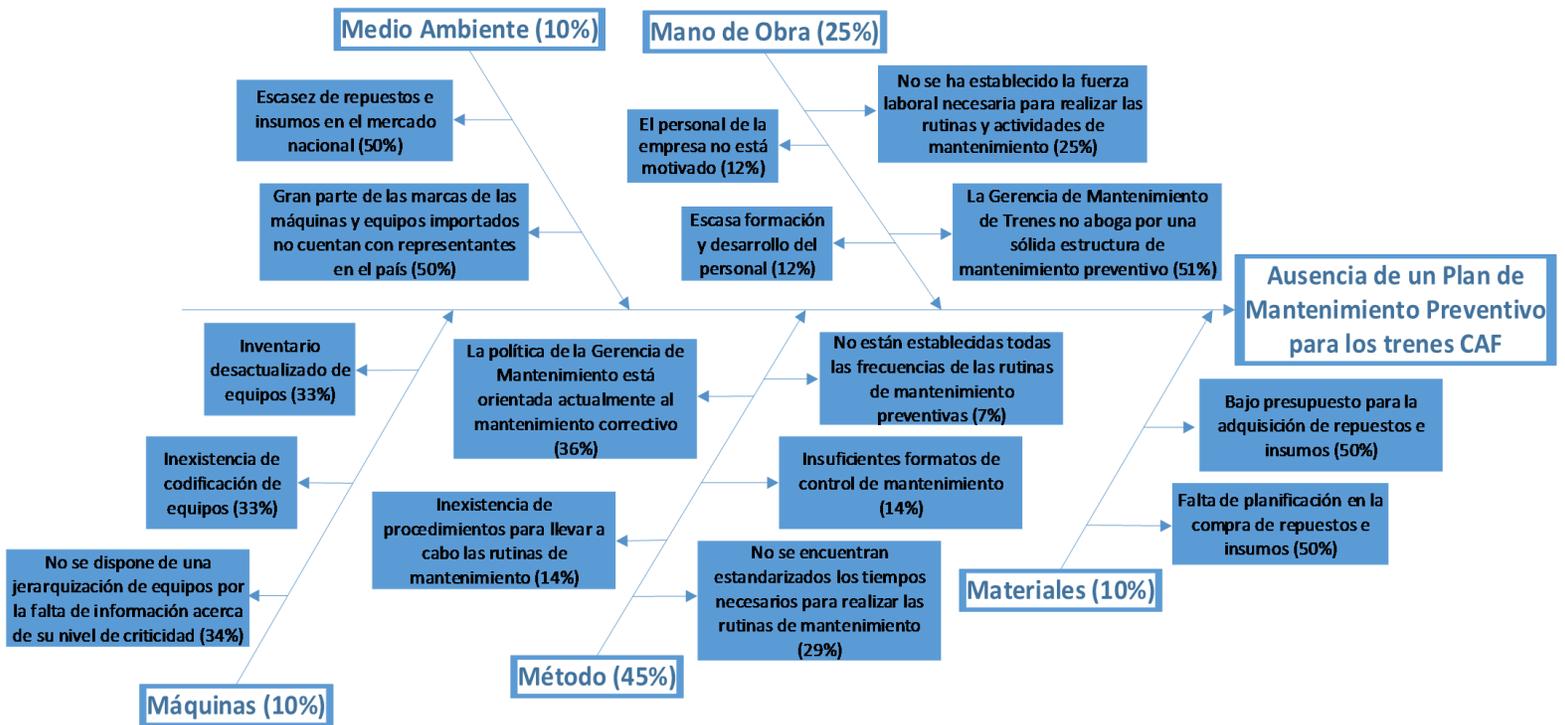


Figura 27. Diagrama Ishikawa. Ausencia de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los trenes CAF

Fuente: Elaboración Propia

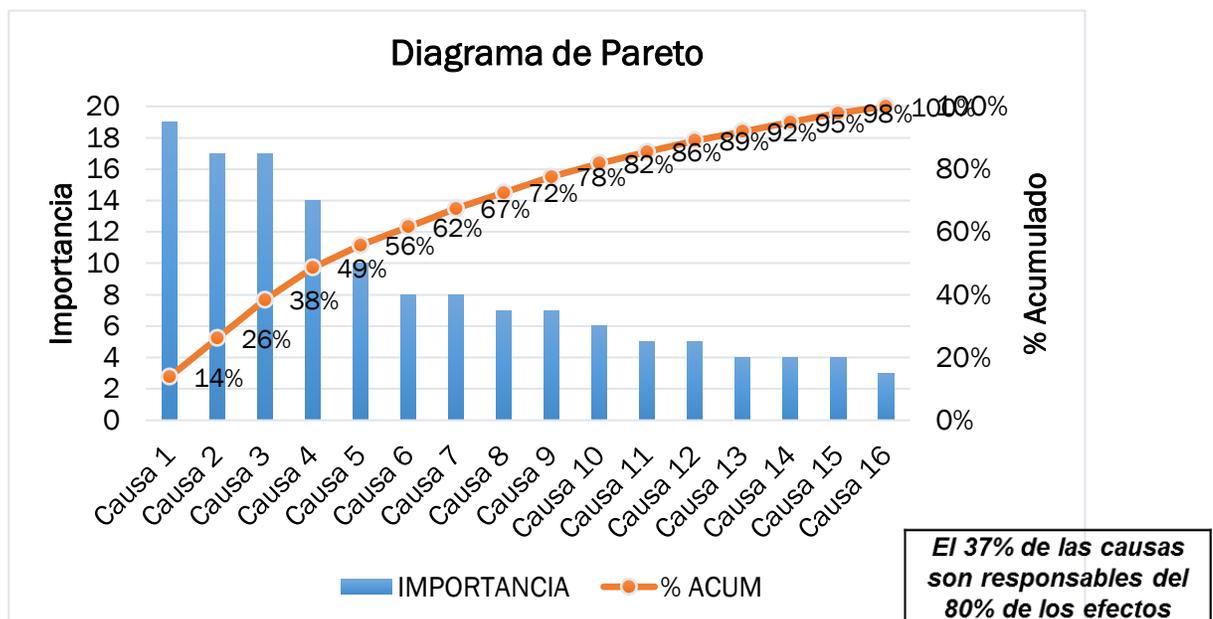


Figura 28. Diagrama de Pareto. Ausencia de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los trenes CAF

Fuente: Elaboración Propia

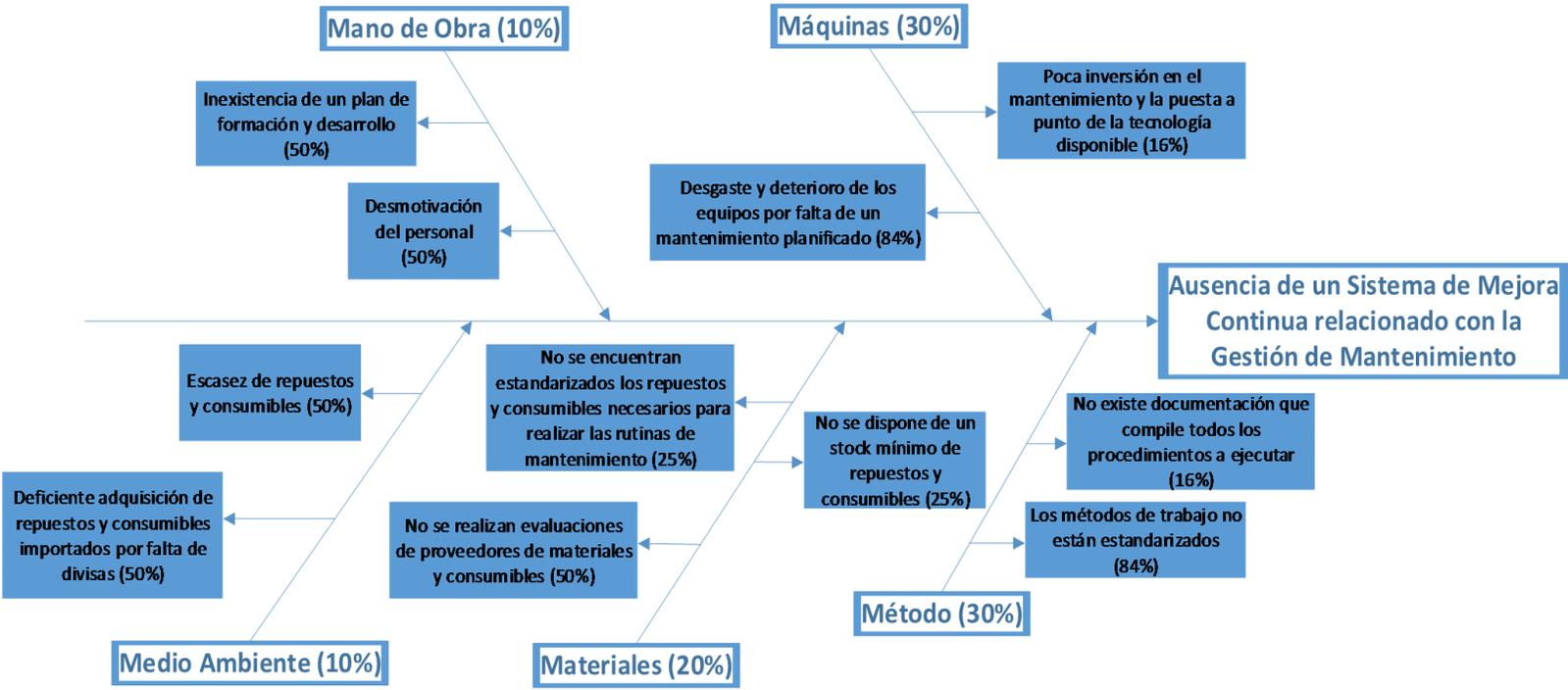


Figura 29. Diagrama Ishikawa. Ausencia de un Sistema de Mejora Continua relacionado con la Gestión de Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

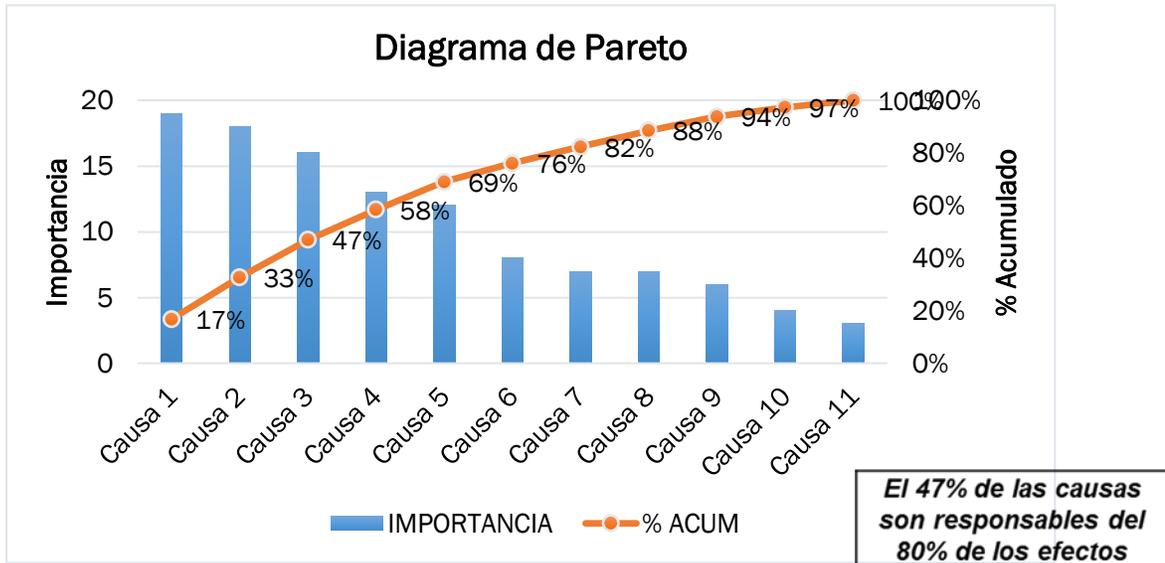


Figura 30. Diagrama de Pareto. Ausencia de un Sistema de Mejora Continua relacionado con la Gestión de Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

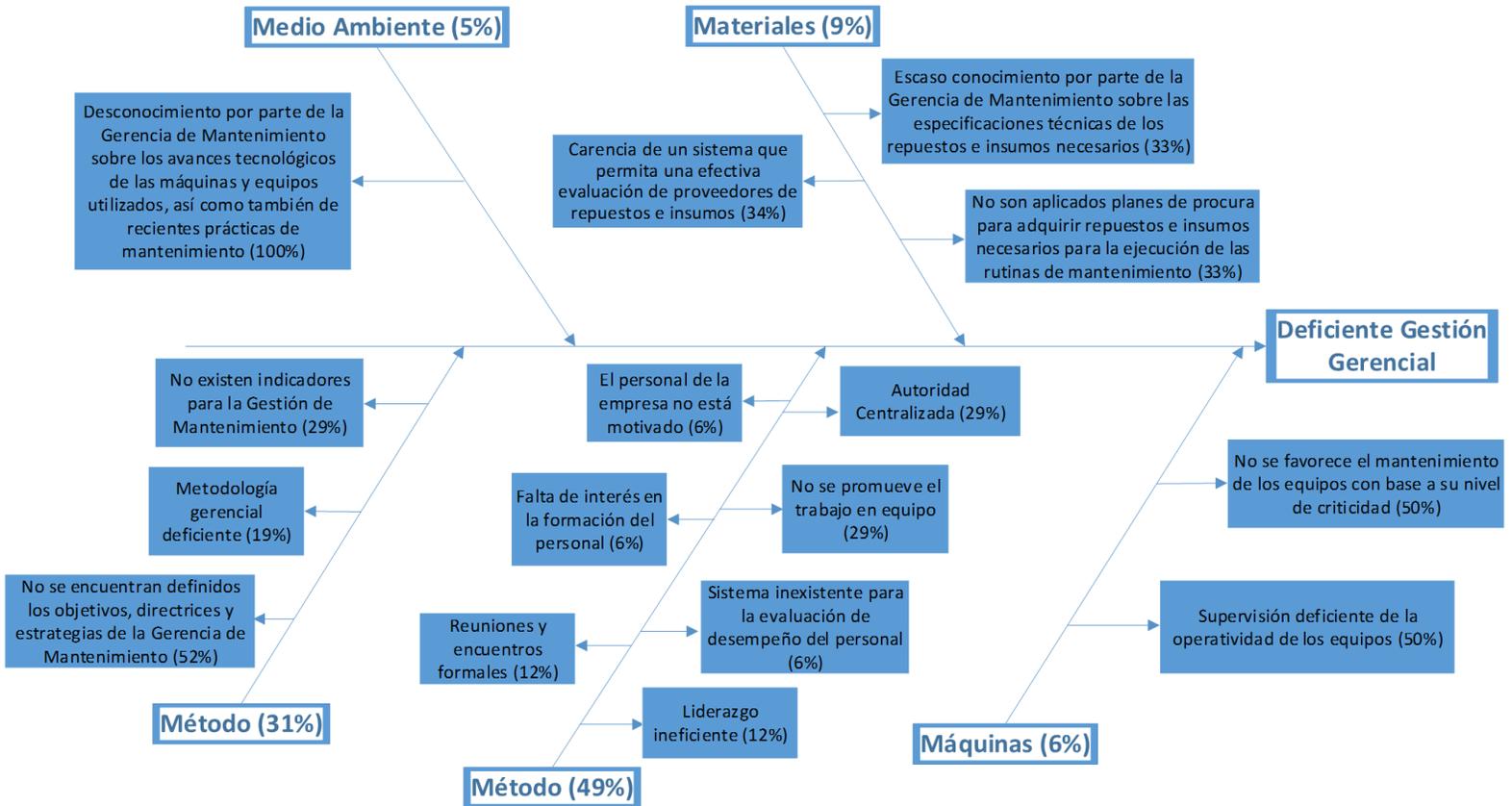


Figura 31. Diagrama Ishikawa. Deficiente Gestión Gerencial

Fuente: Elaboración Propia

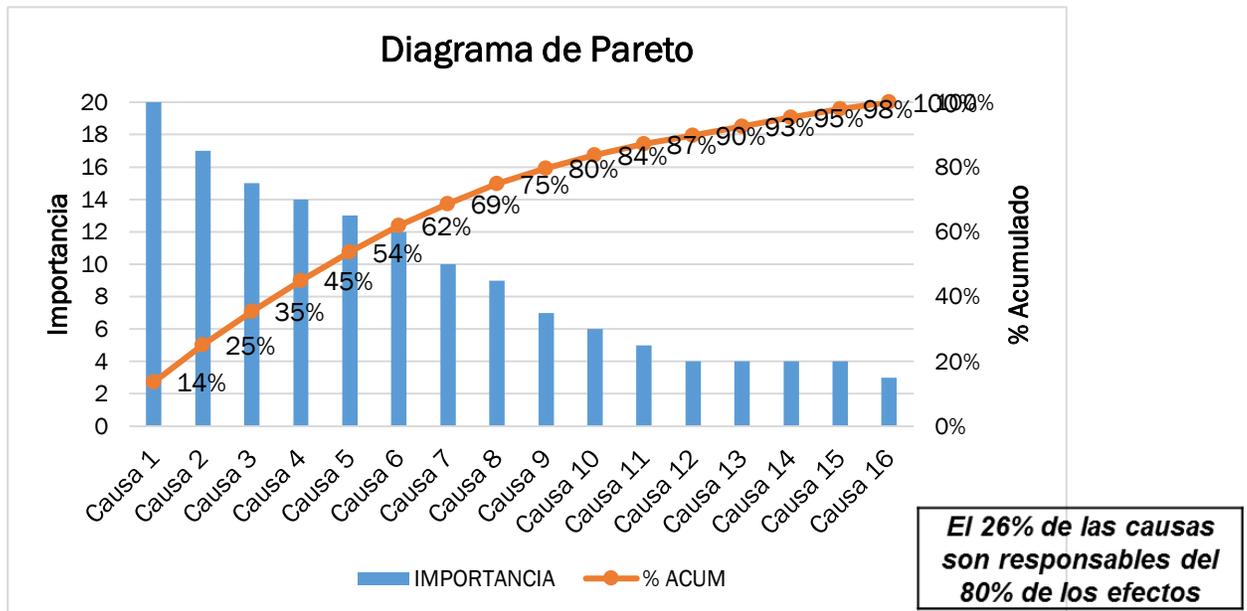


Figura 32. Diagrama de Pareto. Deficiente Gestión Gerencial

Fuente: Elaboración Propia

En base a la aplicación de las herramientas para diagnosticar la situación actual de la gestión de mantenimiento, se puede concluir que el departamento debe desarrollar un sistema de mantenimiento que este orientado a la prevención de fallas, programación, control y mejora continua de las actividades de mantenimiento.

## **CAPÍTULO V: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Los resultados obtenidos del análisis de la situación actual del departamento de mantenimiento, evidencian ciertas necesidades que serán satisfechas mediante el diseño y desarrollo del plan de mantenimiento propuesto, que estará adecuado a dichos requerimientos.

Con la finalidad de alcanzar los objetivos del presente trabajo de estudio, se describirán las técnicas y procedimientos aplicados para el diseño de dicho plan. Cada una de las fases necesarias para la realización de dicho plan serán desarrolladas: actualización del inventario de equipos, análisis de criticidad, codificación, rutinas de mantenimiento preventivo, procedimientos correspondientes a cada rutina, cronograma de mantenimiento anual, diseño de indicadores de gestión, estudio de costos y factibilidad económica.

### **5.1 Listado de equipos que forman parte de la C.A. Metro de Caracas**

Se procedió a recorrer las instalaciones del patio de mantenimiento de la estación Propatria, con la intención de conocer la totalidad de máquinas y equipos con que cuenta la empresa, obteniendo como resultado 1275 unidades de los cuales 255 se encuentran inoperativos. La lista se puede detallar en el anexo C.1.

### **5.2 Matriz de decisión para establecer el orden de criticidad de las máquinas y equipos**

Con la finalidad de conocer la criticidad de cada uno de las máquinas y equipos que se encuentran en la instalación se procedió a aplicar una matriz de decisión en base a los 5 criterios que se muestran a continuación:

- Operatividad: Mide el grado de importancia que tienen las máquinas y equipos para las operaciones de la empresa.
- Costo de mantenimiento: Mide el impacto que tendría la reparación de las máquinas y equipos en los costos de mantenimiento, al tomar en consideración tanto los costos de los repuestos e insumos, como el tiempo necesario para realizar las reparaciones pertinentes.

- Impacto en la operación de otros equipos: Mide las consecuencias al servicio que tendría la falla de la máquina o equipo en la operación de otros sistemas del ferrocarril.
- Horas-hombre adicionales por la parada del equipo: Este criterio mide el impacto que tiene la parada en el tiempo empleado por la mano de obra para ejecutar las actividades rutinarias del mismo. La parada de un equipo puede traer consigo trabajo adicional de mano de obra, es decir, puede haber equipos que, al fallar sus operaciones automatizadas, se sustituyen por operaciones manuales, aumentando así las Horas-Hombre requeridas.
- Nivel de escasez de los repuestos: Mide el tiempo en que se adquieren los repuestos que puedan corregir las fallas correspondientes de las máquinas y equipos. Al calificar este criterio, es necesario examinar, tanto el nivel de existencia de los repuestos, como el tiempo de adquisición de los mismos (es importante percatarse si los repuestos a adquirir son nacionales o importados).

Se realizó una entrevista al personal interno de mantenimiento (ver anexo C.2), para determinar los pesos de los criterios. La suma de los pesos debe ser exactamente igual a 100. En primer lugar, los criterios deben jerarquizarse para luego ser ponderados. Cada criterio tendrá un peso específico entre cero (0) y cien (100). En la tabla N° 3 se encuentra los resultados obtenidos en la entrevista:

<b>Criterios a Evaluar en el Análisis de Criticidad</b>						
<b>Empleado</b>	<b>Operatividad</b>	<b>Costo de Mantenimiento</b>	<b>Impacto en la operatividad de otros equipos</b>	<b>Horas-Hombre Adicionales por la parada del equipo</b>	<b>Nivel de Escasez de los repuestos</b>	<b>TOTAL</b>
1	60	5	10	10	15	100
2	50	15	10	10	15	100
3	50	10	15	10	15	100
4	55	20	10	5	10	100
5	55	15	15	5	10	100
<b>PROMEDIO</b>	<b>54</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>100</b>

**Tabla 3. Resultados de la entrevista realizada para emitir la ponderación correspondiente de los criterios a evaluar en el análisis de criticidad**

**Fuente: Elaboración Propia**

Para realizar una correcta ponderación de los equipos con respecto a cada criterio, se hizo uso de 5 niveles citados de menor a mayor según su valor numérico: baja (1), leve (2), moderado (3), alta (4), muy alta (5), donde se multiplico el peso de cada criterio calculado en la fase anterior, por el valor del nivel que le corresponde a cada criterio para después sumar el valor total obtenido y dividirlo por la cantidad de criterios existentes. La matriz empleada se puede observar en la sección de anexos C.3.

Mediante el empleo de una graduación cualitativa de 4 niveles (baja, leve, moderado y alta) se obtuvieron los rangos asociados a cada nivel de criticidad. En la tabla N°4 se observa los rangos definitivos para cada nivel.

<b>Criterio de Criticidad</b>		
<b>Criticidad</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>
Baja	0%	25%
Moderada	25%	50%
Alta	50%	75%
Muy Alta	75%	100%

**Tabla 4. Rangos de criticidad establecidos para cada nivel**

**Fuente: Elaboración Propia**

### **5.3 Selección de equipos**

Para la realización de la planificación y programación del mantenimiento preventivo, se realizó una selección de equipos en base al nivel de criticidad que presentan, tomando en cuenta aquellos equipos que entren en los intervalos de 50% al 100% (criticidad alta y muy alta), dando como resultado 1125 unidades, siendo estos el 88,24% del total de máquinas y equipos. Estos fueron ordenados en cuatro (4) categorías como se muestra en el anexo C.4.

### **5.4 Planificación del mantenimiento preventivo propuesto**

#### **5.4.1 Zonificación de equipos**

Consiste en determinar las áreas de la empresa donde se realizan las actividades propias de la misma (servicios, producción, entre otras), con el fin de estipular la ubicación física de los sistemas y/o equipos existentes, entre los cuales se encuentran aquellos que formaran parte del plan de mantenimiento propuesto.

Para iniciar la planificación del plan de mantenimiento preventivo, se indicó la ubicación de las máquinas y equipos que se encuentran dentro de la instalación de la empresa mediante un plano en 2D, donde se puede visualizar la distribución de los trenes según su operatividad, en las dos áreas delimitadas dentro del patio de mantenimiento de la estación Propatria. Los planos correspondientes se pueden observar en los anexos C.5 y C.6.

#### 5.4.2 Inventario Técnico

Consiste en listar los equipos y máquinas sujetos al estudio, con la finalidad de identificar las características más relevantes de cada uno, tales como nombre, tipo de sistema, codificación, marca, condición actual (operativo o fuera de servicio), y el nivel de criticidad que posee. De acuerdo con la información recopilada, se obtuvo como resultado un inventario de un total de 1125 unidades que se consideran de vital importancia para el servicio de la empresa. Se puede observar el inventario de los equipos en la sección de anexos C.7.

Es importante resaltar que, de los equipos seleccionados para el estudio, el 80% se encuentra operativo como se muestra en la siguiente tabla (Nº5).

Estado de Operación de las máquinas y equipos del Subsistema Tracción Frenado (Trenes CAF)					
Nombre del Equipo	Cantidad Total	Cantidad de Equipos Operativos	%	Cantidad de Equipos Fuera de Servicio	%
Motor de Tracción	600	480	80,00%	120	20,00%
Resistencia de Freno	150	120	80,00%	30	20,00%
Seccionador Principal	150	120	80,00%	30	20,00%
Convertidor Auxiliar	75	60	80,00%	15	20,00%
Disyuntor	150	120	80,00%	30	20,00%
<b>Total</b>	<b>1125</b>	<b>900</b>	<b>80,00%</b>	<b>225</b>	<b>20,00%</b>

Tabla 5. Estado de Operación de las máquinas y equipos del Subsistema Tracción-Frenado

Fuente: Elaboración Propia

#### *5.4.2.1 Ficha Técnica*

La ficha técnica es un documento informativo fundamental, que resume las características originales de cada equipo, de sus datos de operación y de cada uno de sus componentes.

Para consumir el objetivo de este apartado, fue creado un documento que resume el funcionamiento y características de las máquinas y equipos con los que cuenta la empresa, con el suficiente detalle para ser utilizado por el personal de mantenimiento. La ficha técnica está estructurada por la siguiente información: Nombre de la unidad, ubicación, sección, código de inventario, modelo, marca, peso, ancho, altura, largo, función y características técnicas (ver anexo C.8).

#### **5.4.3 Clasificación de Equipos**

Para el estudio de la propuesta de mantenimiento preventivo, las máquinas y equipos tendrán una clasificación de 2 tipos: Energía Eléctrica (Convertidor Auxiliar, Batería, Disyuntor, Seccionador Principal) y Propulsión Eléctrica (Convertidor de Tracción, Manipulador de Tracción, Motor de Tracción, Resistencia de Freno) (ver anexo C.9).

#### **5.4.4 Tipo de mantenimiento seleccionado**

Para comenzar con el proceso de mejora continua en la gestión de mantenimiento de la C.A. Metro de Caracas, el presente trabajo de grado plantea un plan de mantenimiento de índole preventivo.

#### **5.4.5 Codificación de equipos**

Se realizó un sistema de codificación de manera que se pueda identificar de forma sencillo y rápida los equipos y/o máquinas, cubriendo aspectos como la ubicación, basados en la zonificación previamente realizada, sumado al tipo de equipo, número de partes, frecuencia y tipo de mantenimiento a realizar.

Después de realizar el inventario de los equipos y máquinas que dispone la empresa, habiendo aplicado el análisis de criticidad con la selección de las

máquinas y equipos con el mayor índice, se estableció un sistema de codificación el cual se presenta en la tabla N°6.

<b>Codificación de Equipos y Máquinas</b>
<b>AA-BB-###-C</b>
<b>AA:</b> Iniciales del nombre del equipo o máquina
<b>BB:</b> Iniciales de la ubicación del equipo o máquina
<b>###:</b> Número del equipo o máquina
<b>C:</b> Criticidad --> MA (Muy Alta), A (Alta), M (Moderada), B (Baja)

**Tabla 6. Codificación de Equipos y Máquinas**

Fuente: Elaboración Propia

En el anexo C.10 se especifica el sistema de codificación que se utilizó en el presente trabajo de grado. Adicionalmente las leyendas de las iniciales de los equipos y área que se encuentran están reflejadas en los anexos C.11 Y C.12. El resultado de la codificación total se encuentra en el documento del inventario de las máquinas y equipos en el anexo C.7.

#### **5.4.6 Orden de trabajo**

Para establecer un medio de comunicación entre los trabajadores y la gerencia, se diseñó una orden de trabajo el cual contiene la información necesaria para realizar las rutinas de mantenimiento correspondiente. (Ver anexo C.13)

#### **5.4.7 Informe de trabajo realizado (ITR)**

En el departamento no existía este tipo de registro, debido a esto, no se gestionaba ni controlaba correctamente el mantenimiento de las unidades. Implementado este elemento como propuesta, se espera mejorar el desempeño y la planificación del mantenimiento ejecutado por el departamento en las instalaciones de la C.A. Metro de Caracas. El Modelo del informe de trabajo realizado propuesto está disponible en el anexo C.14.

## **5.5 Programación de Mantenimiento Preventivo**

### **5.5.1 Programación de las rutinas de Mantenimiento Preventivo**

Para poder lograr la programación de las rutinas de mantenimiento preventivo aplicada a las máquinas y equipos seleccionados, fue verificada la existencia de los manuales del fabricante, los cuales, a pesar de encontrarse, no se encuentran adaptados a las necesidades actuales del servicio. A consecuencia de este hecho, se procedió a recopilar información a partir de las siguientes dos fuentes: entrevista al personal interno de mantenimiento (mínimo 15 años de experiencia en la empresa), y comunicación directa con el consorcio CAF, fabricante de los trenes que son objeto de estudio en este trabajo de grado. Para realizar una programación anual de las rutinas de mantenimiento es necesario estipular las frecuencias de ejecución (ver anexo C.15).

#### *5.5.1.1 Codificación de las rutinas de mantenimiento preventivo*

Con la información que sirvió de base para realizar la identificación de cada equipo, fue llevado a cabo la identificación de las rutinas de mantenimiento, agregando a la codificación anterior de los equipos dos caracteres que especifican el número de actividad y la frecuencia con la que se realiza. En los anexos C.15 y C.16 se muestra la leyenda de las frecuencias y la codificación de las rutinas planificadas para el plan de mantenimiento propuesto.

### **5.5.2 Procedimiento Operativo Estándar (POE)**

Una vez establecidas las rutinas de mantenimiento preventivo, es indispensable levantar los procedimientos de operaciones. Dichos procesos deben ser estándares, con la finalidad de garantizar que el mantenimiento se esté ejecutando debidamente en cada uno de los equipos y máquinas.

Un proceso de operación estándar es una guía donde se registran y estandarizan las actividades que se deben cumplir para realizar cada una de las diferentes actividades descritas en la rutina de mantenimiento preventivo, describiendo todos los recursos que sean necesarios (insumos, repuestos, herramientas, horas de trabajo). Las guías de operación para estos procedimientos

fueron generadas por un compendio de información proveniente de la información de los técnicos e ingenieros de mantenimiento y la información directa del fabricante de los trenes (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles – CAF). En la figura 33 se muestra el formato propuesto para describir el Procedimiento Operativo Estándar (POE). Asimismo, cada rutina programada para los equipos y máquinas estudiadas se muestran en la sección D de anexos.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR</b>
Nombre del equipo o máquina	
Código del equipo o máquina	
Rutina	
Código de la actividad	
Tiempo estimado de realización de la actividad	
Número de técnicos necesarios	
Horas hombre empleadas	
Materiales utilizados (Nombre, Modelo, Serial)	
Herramientas utilizados (Nombre, Modelo, Serial)	
Repuestos utilizados (Nombre, Modelo, Serial)	
<b>Número de Procedimiento</b>	<b>Descripción del Procedimiento</b>
1	
2	
3	
4	
5	

Figura 33. Formato del Procedimiento Operativo Estándar (POE)

Fuente: Elaboración Propia

### **5.5.3 Repuestos, insumos y herramientas necesarios para el plan de mantenimiento preventivo propuesto**

Para tener un mejor control en el inventario se procedió a recopilar información acerca de los repuestos, insumos y herramientas necesarios para la ejecución de cada rutina de mantenimiento propuesta. Esta información provino de las entrevistas con los técnicos de mantenimiento de la empresa y el contacto con la empresa CAF, siendo la base para el estudio de costos del plan de mantenimiento propuesto (ver apartado de anexos E)

### **5.5.4 Recursos Humanos**

El personal encargado de ejecutar todas las actividades ligadas al plan de mantenimiento preventivo propuesto debe contar con el siguiente perfil:

- Conocimientos intermedios/avanzados de sistemas hidráulicos y neumáticos y electromecánicos
- Capacidad de análisis, para comprender la nueva información técnica acerca de los equipos y máquinas
- Excelentes habilidades comunicacionales para explicar a los gerentes y supervisores cualquier inconveniente y eventualidad presentada en alguna rutina de mantenimiento
- Proactividad para aportar soluciones lógicas y rápidas cuando existan fallas y averías en los equipos y máquinas
- Capacidad para redactar informes sobre las reparaciones efectuadas
- Tener experiencia de al menos 5 años en mantenimientos de equipos mecánicos y eléctricos
- Condiciones físicas aptas para realizar las rutinas de mantenimiento
- Dinamismo para poder trabajar bajo presión al momento de alguna falla o avería en los equipos y máquinas
- Destrezas en el uso de herramientas para ejecutar de manera rápida y eficiente las actividades de mantenimiento

#### 5.5.4.1 Horas-Hombre disponibles

Teniendo en cuenta la cantidad de personas que ejecutan las actividades de mantenimiento en la empresa y el horario en que laboran, se calculó las horas-hombres disponibles semanalmente para ejecutar las actividades de mantenimiento. La finalidad de esta actividad es lograr determinar si el personal con el que cuenta el departamento de mantenimiento es suficiente para abarcar la demanda de mantenimiento de los equipos y máquinas que se encuentran en las instalaciones de la empresa. En la Tabla N°7 se puede observar la cantidad de horas hombres disponibles.

Cantidad de técnicos de guardia				
Día	Primer Turno	Segundo Turno	Tercer Turno	Total Hrs-Hombre al día
Lunes	0	0	3	24
Martes	0	0	3	24
Miércoles	0	0	3	24
Jueves	0	0	3	24
Viernes	0	0	3	24
Sábado	0	0	0	0
Domingo	0	0	0	0
<i>Tiempo de la mano de obra disponible semanal (Horas-Hombre)</i>				120

Tabla 7. Tiempo de mano de obra disponible por los técnicos de guardia

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.5.4.2 Horas-Hombre requeridas

Es fundamental analizar las horas-hombres requeridas a través de dos variables que se encuentran definidas en las rutinas de mantenimiento como lo son: número de operarios necesarios y el tiempo requerido para ejecutar la rutina correspondiente. En la tabla N°8 se observa el tiempo requerido por unidad de estudio.

Tiempo requerido por equipo/máquina			
Equipo/Máquina	Hrs-Hombre anuales requeridas para el mantenimiento	Cantidad de equipos/máquinas	Hrs-Hombre anuales totales requeridas para el mantenimiento
Motor de Tracción	4	600	2400
Resistencia de Freno	3,5	150	525
Seccionador Principal	6	150	900
Convertidor Auxiliar	23	75	1725
Disyuntor	26,5	150	3975
<i>Total de horas-hombre requeridas por año</i>			9575
<i>Cantidad de semanas al año (quitando 20 días hábiles por vacaciones)</i>			48
<b><i>Cantidad de horas-hombre semanales requerida para aplicar el plan de mantenimiento</i></b>			<b>199,48</b>

Tabla 8. Tiempo requerido por equipo/máquina de mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la mano de obra exacta necesaria, que permita ejecutar de manera efectiva las acciones de mantenimiento del plan propuesto, fueron consideradas siete horas de jornada laboral (Una (1) hora de almuerzo o descanso) y los cinco días de la semana.

$$\text{Mano de obra requerida} = \frac{199,48 \text{ H} - \text{H}}{\text{Semana}} * \frac{1}{4 \text{ días}} * \frac{1}{7 \text{ horas}} = 8 \text{ hombres}$$

(Ecuación 8)

Se puede evidenciar, según la tabla 8 y el cálculo de la ecuación 8, que la cantidad de técnicos requeridos para realizar las rutinas de mantenimiento es mayor

que la cantidad de técnicos que tiene el Gerencia de Mantenimiento en la actualidad. Finalmente, para lograr ejecutar este plan de mantenimiento propuesto es necesario contratar a cinco (5) técnicos para poder solventar la escasa mano de obra del departamento y lograr cumplir las actividades planificadas de mantenimiento.

**5.5.5 Elaboración de la carta Gantt**

Para elaborar un efectivo un plan de mantenimiento preventivo, es necesario utilizar el recurso de la carta Gantt, el cual es un instrumento esencial de control y gestión de mantenimiento. La aplicación de esta herramienta considero la inclusión de las unidades de estudio y su codificación de actividades. Luego de considerar esta información, se creó el calendario anual, comenzando por el mes de enero del año 2019, finalizando en el mes de diciembre. Dependiendo de la frecuencia que tenga cada rutina de mantenimiento de las unidades de estudio, se le asignó una celda en específica para llevar el control de ejecución, tomando en cuenta el cálculo de las horas-hombre calculada por semana (199,48 horas por semana) y tomando en consideración una holgura semanal, de esa manera se logra tener suficiente tiempo de respaldo para la ejecución de actividades de tipo correctivo, por lo tanto se evita que se agote el personal de mantenimiento y la planificación no se lleve a cabo. En la tabla N°9 se presenta el formato de la carta Gantt para el plan de mantenimiento propuesto. En el anexo F se muestra la carta Gantt resultante.

Carta Gantt									
Equipo/Máquina	Rutina	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
		P	E	P	E	P	E	P	E

Tabla 9. Formato de Carta Gantt aplicado

Fuente: Elaboración Propia

## 5.6 Propuesta de diseño de indicadores de la gestión de mantenimiento

El sistema de gestión de mantenimiento se define como un conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan entre sí, para así establecer la política y los objetivos hacia los cuales está orientado la Gerencia de Mantenimiento, para finalmente alcanzar el logro de los mismos.

El control de gestión es un instrumento gerencial, integral y estratégico que se apoya en indicadores. Un indicador de gestión puede ser visto como una expresión cualitativa y/o cuantitativa del comportamiento o desempeño de una organización o departamento, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, nos podrá estar señalando una desviación sobre la cual se tomarán acciones preventivas o correctivas, según sea el caso.

Los indicadores de gestión permiten identificar las necesidades de cambios y/o mejoras de los procesos, apoya la toma de decisiones haciéndola más eficaz.

Debido a la importancia de los indicadores en la gestión de mantenimiento y a la ausencia de éstos en el sistema de mantenimiento actual, y con el objetivo de controlar y monitorear el desempeño de la gestión de mantenimiento, se propone el uso de los siguientes indicadores:

- **Disponibilidad Total:** Permite medir el nivel de disponibilidad de las equipos y máquinas para realizar las labores de servicio en la empresa.

$$Disp.Total = \frac{Horas\ totales - Horas\ de\ parada\ por\ mantenimiento}{Horas\ totales}$$

(Ecuación 9)

Luego de obtener la disponibilidad de cada equipo, se debe calcular mediante una media aritmética la disponibilidad de la empresa.

$$Disp.Total = \frac{\sum Disponibilidad\ de\ equipos}{N^{\circ}\ de\ equipos}$$

(Ecuación 10)

- **Disponibilidad por avería:** La disponibilidad por avería no considera la cuenta de paradas programada de los equipos y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Disp.\text{ por avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

(Ecuación 11)

Para realizar su cálculo, se aplica el mismo caso que la ecuación 10 (media aritmética).

$$Disp.\text{ por avería (Total)} = \frac{\sum \text{Disponibilidad por avería de equipos y máquinas}}{\text{Nº de equipos y máquinas}}$$

(Ecuación 12)

- **Cumplimiento de la planificación:** Mide el nivel de acierto de la planificación, al valorar la proporción de órdenes que se terminaron en la fecha programada o con anterioridad, sobre el total de ordenes generadas.

$$Cump.\text{ de la Planificación} = \frac{\text{Nº de órdenes finalizadas en la fecha planificada}}{\text{Nº de órdenes totales}}$$

(Ecuación 13)

- **Índice de mantenimiento preventivo (IMP):** Mide el porcentaje de horas invertidas en la realización de mantenimiento programado sobre las horas totales.

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento preventivo}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

(Ecuación 14)

- **Índice de mantenimiento correctivo (IMC):** Mide el porcentaje de horas invertidas en la realización de mantenimiento correctivo sobre las horas totales.

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

(Ecuación 15)

- **Tiempo medio entre fallas (TMEF):** Este indicador tiene como finalidad mostrar la frecuencia con que se presentan las averías.

$$TMEF = \frac{\text{Nº de horas totales del período del tiempo analizado}}{\text{Nº de averías}}$$

(Ecuación 16)

- **Tiempo medio para reparación (TMPR):** Resalta la importancia de las averías que se producen en una unidad considerando el tiempo medio hasta su reparación final.

$$TMPR = \frac{\text{Nº de horas de la reparación del equipo/máquina}}{\text{Nº de reparaciones realizadas}}$$

(Ecuación 17)

## 5.7 Estudio Económico

### 5.7.1 Costos del mantenimiento propuesto

Para efectuar un análisis económico efectivo y global que considere todo lo relacionado al plan de mantenimiento preventivo propuesto, se consideró el cálculo pertinente de la mano de obra, repuestos requeridos, insumos y herramientas necesarias para la ejecución de las rutinas de mantenimiento. Sumado a lo previo, se tomó la tasa del Dólar Dicom para el año 2019 el cual permite manejar cifras

reconocidas y más controladas, ya conociendo la inestabilidad económica en la cual se encuentra inmersa el país.

#### *5.7.1.1 Costos de Herramientas*

Para realizar el cálculo económico de las herramientas necesarias para ejecutar las actividades de mantenimiento, se hizo uso del método temporal lineal, tomando en consideración las siguientes variables: valor inicial de la herramienta y vida útil (se supone un valor de salvamento nulo). Se planteó un calendario con 48 semanas laborales (5 días a la semana/8 horas diarias) para determinar la depreciación anual de las herramientas, la cual fue de 1637,33 \$ Dicom (ver Anexo E.1)

#### *5.7.1.2 Costos de Materiales requeridos*

En este análisis económico de los materiales requeridos para ejecutar el plan de mantenimiento preventivo, se muestra a detalle la cantidad exacta necesaria de materiales en un período anual, tomando en consideración los precios unitarios establecidos por el Colegio de Ingenieros de Venezuela. El costo anual obtenido por materiales fue de 22.742,16 \$ Dicom (ver anexo E.2)

#### *5.7.1.3 Costos de Repuestos requeridos*

En este análisis económico de los repuestos requeridos para ejecutar el plan de mantenimiento preventivo, se muestra a detalle la cantidad exacta necesaria de repuestos en un período anual, tomando en consideración los precios unitarios establecidos por el Colegio de Ingenieros de Venezuela. El costo anual obtenido por repuestos obtenido fue de 2.451.837,75 \$ Dicom (ver anexo E.3)

#### *5.7.1.4 Costos de Mano de Obra*

Se realizó un estudio del costo de la mano de obra tomando como base el salario diario de un técnico profesional nivel P2, registrado por el Colegio de Ingenieros de Venezuela. En adición, para realizar este análisis se tomaron en consideración los beneficios otorgados por la empresa en base a la ley del trabajo y las obligaciones laborales que se deben pagar a cada trabajador. En la tabla N°10 se presenta el costo de la mano de obra detallado por cada punto.

Concepto	Costo (\$ Dicom)	Unidad
Salario Básico Mensual (Técnico Especializado - 2019)	28,06	\$ Dicom/Año-H
Salario Básico Diario (Técnico Especializado - 2019)	0,94	\$ Dicom/Día-H
Salario Básico Anual	336,67	\$ Dicom/Año-H
Cesta Ticket Mensual	1,32	\$ Dicom/Mes-H
Cesta Ticket Anual	15,83	\$ Dicom/Año-H
Inces (2%)	6,73	\$ Dicom/Año-H
Seguro Social Obligatorio (12%)	40,40	\$ Dicom/Año-H
Faov (BANAVID)	40,40	\$ Dicom/Año-H
Vacaciones (15 días al año)	14,03	\$ Dicom/Año-H
Bono Vacacional (15 días al año)	14,03	\$ Dicom/Año-H
Utilidades (75 días al año)	70,14	\$ Dicom/Año-H
Prestaciones Sociales (60 días al año)	56,11	\$ Dicom/Año-H
Costo Anual Mano de Obra	594,33	\$ Dicom/Año-H
Número de Hombres (Técnicos Especializados)	8	Técnicos
<b>Costo Anual de Mano de Obra (Mantenimiento Preventivo)</b>	<b>4754,64</b>	<b>\$ Dicom/Año-H</b>

Tabla 10. Costos de la mano de obra

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla (Tabla 11) fue compilada toda la información acerca de los distintos costos del plan de mantenimiento propuesto.

Costos totales del plan de mantenimiento propuesto	
Costo	Cantidad (\$)
Costo Anual Depreciación de Herramientas	1.637,33
Costo Anual Materiales	22.742,16
Costo Anual Repuestos	2.451.837,75
Costo Anual Mano de Obra	4.754,64
<b>Costo Anual Total</b>	<b>2.480.971,88</b>

Tabla 11. Costos totales del plan de mantenimiento propuesto

Fuente: Elaboración Propia

## 5.7.2 Estudio de factibilidad económica

En primer lugar, se estimará el costo de mantenimiento del momento con base en la data suministrada por el departamento de finanzas de la C.A. Metro de Caracas, la cual permitió conocer los costos derivados del mantenimiento preventivo y correctivo acarreados en el año 2018. Dicha estimación es realizada con base en el porcentaje de inflación interanual del presente año establecida por el Fondo Monetario Internacional (FMI), cuyo valor es del 12.875%. Gracias a este dato, los costos estimados de mantenimiento del momento pueden visualizarse en la siguiente tabla:

<b>Costo de Mantenimiento actual de la C.A Metro de Caracas</b>			
<b>Tipo de mantenimiento</b>	<b>Costos (\$) Dicom/Año 2018</b>	<b>Inflación estimada 2018 (FMI)</b>	<b>Costo estimado (\$) Dicom/Año 2019</b>
Preventivo	10.644.705,41	12.875%	44.170.205,08
Correctivo	42.578.821,62	12.875%	176.680.820,31
<b>Costo Anual Total</b>	<b>2.480.971,88</b>		

Tabla 12. Costo de mantenimiento actual de la C.A Metro de Caracas

Fuente: Elaboración Propia

### 5.7.2.1 Tasa Inflacionaria

Para la estimación de la inflación para el año 2020, es necesario comenzar a partir de los índices de inflación interanual experimentados en los tres (3) años anteriores. La tabla 13 que se muestra a continuación indica los índices de inflación en cuestión, emitidos por el FMI.

<b>Tasas de Inflación 2017-2019</b>		
<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
2.735%	12.875%	130.000%

Tabla 13. Tasas de Inflación del 2017 al 2019

Fuente: Elaboración Propia

Gracias a los índices inflacionarios mencionados con anterioridad, se hizo uso de la técnica de regresión no lineal (método exponencial) para obtener la estimación de la inflación para el año 2020. A efectos del cálculo, se les fue dado valores a los años objeto de estudio (2017-2012), desde “1” para 2017, hasta “4” para 2020. Los datos anteriores dieron como resultado la siguiente ecuación:

$$y = 60,412 * e^{2,598x} \quad (\text{Ecuación 18})$$

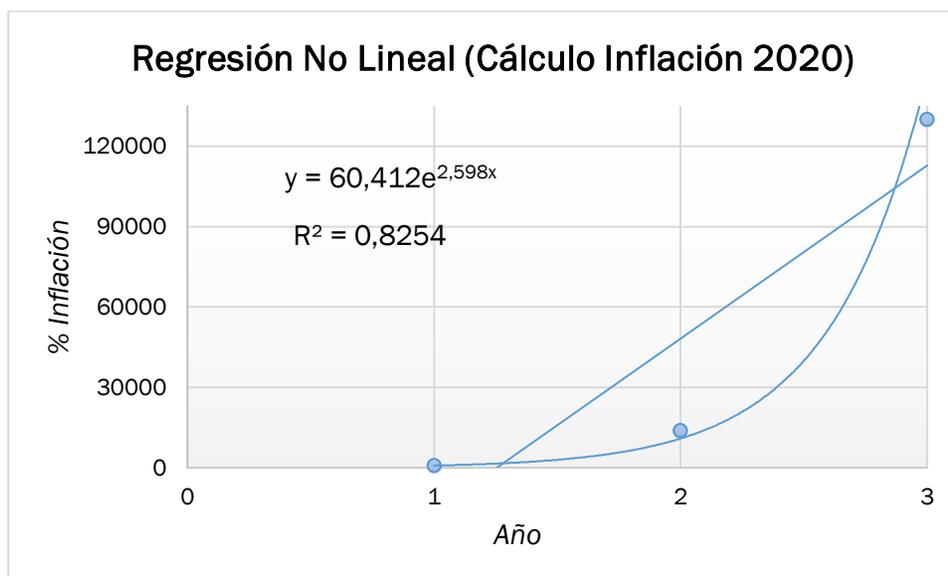


Figura 34. Proyección de la inflación del 2020 a través del método de regresión no lineal

Fuente: Elaboración Propia

A partir de esta expresión, y sustituyendo el valor de  $x=4$  en busca de obtener la inflación proyectada para el año 2020, se obtiene el valor deseado.

$$y = 60,412 * e^{2,598x} = 1.969.298,14\% \quad (\text{Ecuación 19})$$

Finalmente, la inflación proyectada para el año 2020 será de 1.969.298,14%

### 5.7.2.2 Estimación de la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR)

La TMAR se define como el valor mínimo necesario para que el plan propuesto sea financieramente aceptable. Para realizar los cálculos acertados fue utilizada la ecuación N°6, utilizando la tasa de riesgo (F) de la C.A Metro de Caracas, que tiene un valor del 20%.

$$TMAR = 1.969.298,14 + 0,20 + (1.969.298,14 * 0,20) \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$TMAR = 2.363.157,97\%$$

### 5.7.2.3 Flujo actual neto y proyectado

Para tener conocimiento de los ingresos y egresos durante el período de estudio, se procedió a calcular el flujo actual neto y una proyección del mismo para el año del 2020 (ver tabla N°14).

Beneficio por ahorro	41.689.234,00 \$ Dicom
Costo total del Plan de Mantenimiento Preventivo	2.480.971,88 \$ Dicom
Beneficio bruto	39.208.262,12 \$ Dicom
ISLR (30%)	11.762.478,64 \$ Dicom
<b>Flujo Actual Neto</b>	<b>27.445.783,48 \$ Dicom</b>
<b>Flujo Actual Neto Proyectado</b>	<b>159.166.332.158,76 \$ Dicom</b>

Tabla 14. Flujo Actual Neto y Proyectado

Fuente: Elaboración Propia

### 5.7.2.4 Valor actual neto

En último lugar, se procedió a realizar los cálculos del valor actual neto para determinar si el plan de mantenimiento propuesto es factible para la empresa, considerando que la inversión inicial se supone como nula.

Con la ecuación del VAN, se determinó el siguiente valor actual neto:

$$VAN = \frac{27.445.783,48}{(1 + TMAR)^1} + 0 = 11609,12 \$ Dicom$$

Tomando en cuenta los criterios descritos en el marco teórico, el plan de mantenimiento preventivo propuesto en el presente trabajo de grado es completamente factible, puesto que, a pesar del alto porcentaje inflacionario proyectado para el próximo año, el ahorro que genera la implementación del plan de mantenimiento preventivo es de 11609,12 \$ Dicom, además de la organización a nivel de mantenimiento en la empresa con la estandarización y mejora en la gestión mencionada.

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

- Mediante la aplicación de la NORMA COVENIN 2500-93 se justificó que las tres áreas con mayor criticidad en el departamento fueron las siguientes: 1) Mantenimiento por avería (45%). 2) Mantenimiento Preventivo (50%). 3) Mantenimiento Programado (50%). Asimismo, la empresa obtuvo una efectividad global del 58%.
- Haciendo uso de la encuesta de las 10 mejores prácticas de mantenimiento, las tres prácticas que resultaron con el puntaje más bajo fueron las siguientes: 1) Planificación y Programación Proactiva (promedio de 3,00). 2) Mejoramiento Continuo (promedio de 3,13). 3) Apoyo y Visión Gerencial (promedio de 3.27).
- Haciendo un compendio de los resultados obtenidos en la NORMA COVENIN 2500-93 y la encuesta de las 10 mejores prácticas de mantenimiento, se obtuvo como resultado la evaluación de las actividades de mantenimiento con el siguiente diagnóstico:
  - La raíz de la problemática que presenta la Gerencia de Mantenimiento de Trenes está directamente relacionada con la planificación y programación de las actividades de mantenimiento.

De igual manera, otras causas secundarias desmejoran la gestión de mantenimiento, tales como:

- Presupuesto no acorde con las exigencias actuales de la empresa de servicio.
- Deficiencias en el proceso de compra de repuestos.
- Ausencia de políticas de motivación y capacitación del personal.
- Ausencia de indicadores de gestión.
- Deficiencias en la coordinación y comunicación entre los departamentos.

- Mediante la zonificación de la empresa, entrevistas con el personal y el levantamiento de información acerca de la criticidad de los equipos, se logró determinar las áreas de ubicación de los sistemas y equipos existentes, las relaciones entre ellos y las especificaciones técnicas, haciendo un reconocimiento general de los sistemas y equipos que se encuentran en el Patio de Mantenimiento de la estación Propatria, identificando su marca, modelo, utilidad y condiciones de funcionamiento.
- Fue actualizado el inventario de máquinas y equipos que se encuentran dentro de las instalaciones, determinando un número de 1275 equipos pertenecientes a 25 trenes CAF en el Patio de Mantenimiento de la estación Propatria. En algunos casos se observó la ausencia de la de su código de identificación para los mismos, siendo diseñado un formato de ficha técnica que presenta las características más importantes a ser consideradas, para minimizar dicha problemática.
- Luego del análisis de criticidad se determinó que 1125 máquinas y equipos son consideradas importantes para mantener operativo los servicios de la empresa, siendo seleccionados: 600 Motores de Tracción (criticidad muy alta), 150 Resistencias de Freno (criticidad alta), 150 Seccionadores Principales (criticidad alta), 75 Convertidores Auxiliares (criticidad alta) y 150 Disyuntores (criticidad alta)
- Se elaboraron Procedimientos de Operación Estándar (POE), con un nivel de detalle que facilita el entendimiento y adquisición de conocimientos respecto a los equipos y máquinas. Cada procedimiento de realización de actividades de mantenimiento es único para cada equipo, donde se consideraron las recomendaciones del fabricante (CAF) junto con la pericia de los técnicos de mantenimiento.
- Se codificaron y estandarizaron 28 rutinas de mantenimiento distribuidas entre 1125 equipos y máquinas pertenecientes al grupo de unidades de Energía Eléctrica y Propulsión Eléctrica.
- Se estandarizaron los recursos (mano de obra, herramientas, materiales y repuestos) para las 28 rutinas de mantenimiento planificadas.

- Se determinó que la empresa cuenta con 120 Horas-Hombre semanales disponible, mientras que se requieren aproximadamente 200 Horas-Hombres por semana para la ejecución del plan de mantenimiento propuesto, donde se evidencia fácilmente que con el personal actual no se cubre dicha demanda de trabajo.
- El tamaño de la fuerza laboral requerida para llevar a cabo el plan de mantenimiento preventivo propuesto es de ocho (8) hombres y, como la empresa cuenta con sólo con tres (3) técnicos, se hace necesario la tercerización del mantenimiento o la pronta contratación del personal faltante.
- Se establecieron indicadores de gestión que permiten realizar la supervisión y el control de las actividades de mantenimiento.
- Se realizó una estimación del costo de herramientas, materiales, repuestos y mano de obra necesaria para implementar el plan de mantenimiento preventivo propuesto, obteniendo un costo total anual de 2.480.971,88 \$ Dicom.
- Se realizó una comparativa económica entre el costo actual de mantenimiento preventivo con el plan propuesto, haciendo uso del método de valor actual neto, resultando un plan menos costoso que el actual y económicamente factible en un periodo de 3 años a partir del año 2017, con un VAN de 11.609,12 \$ Dicom.

## **6.2 Recomendaciones**

- Implementar el plan de mantenimiento preventivo propuesto.
- Establecer la ejecución de planes que afiancen el sentido de pertenencia y compromiso de cada trabajador de la C.A Metro de Caracas, a través de seminarios de integración laboral, cursos de formación técnica especializada, inducciones al personal donde se presenten tópicos como metas, misión y visión de la empresa, al igual que objetivos y planes futuros del departamento.

- Concretar reuniones frecuentes entre gerentes y supervisores de mantenimiento junto al personal técnico, con el objeto de comunicar los objetivos y metas a seguir en la Gerencia, así como el cumplimiento de los mismos y próximas acciones a tomar y la consideración de las opiniones y sugerencias de los técnicos.
- Hacer uso estricto de los formularios diseñados en este trabajo, tanto para mantener evidencias de las actividades realizadas, como para obtener una fuente de información concreta del programa de mantenimiento diseñado.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos restantes que no fueron estudiados dentro de este plan.
- Actualizar el sistema de gestión informático de control de inventarios de repuestos e insumos.
- Mantener permanentemente actualizadas las rutinas y los POE presentados en este plan de mantenimiento preventivo, para la mejora continua del sistema de gestión.
- Actualizar, con el fabricante de trenes CAF, los manuales de mantenimiento de cada equipo.
- Supervisar el desempeño de la Gerencia de Mantenimiento de Trenes, mediante el uso de los indicadores de gestión propuestos en el plan de mantenimiento diseñado.

## BIBLIOGRAFIA

- Manual de Mantenimiento de Convertidor de Tracción. Edición 2. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Manual de Mantenimiento del Manipulador de Tracción. Edición 2. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Manual de Mantenimiento de Resistencia de Freno. Edición 2. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Manual de Mantenimiento del Motor de Tracción. Edición 2. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Manual de Mantenimiento del Convertidor Auxiliar. Edición 2. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Manual de Mantenimiento de la Batería. Edición 2. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Manual de Mantenimiento del Disyuntor. Edición 2. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Manual de Mantenimiento del Seccionador Principal. Edición 1. C.A. Metro de Caracas. (2012).
- Ribis S, Sebastián. Gestión de planes de Mantenimiento Planificación y Programación. (2013)
- Norma Venezolana COVENIN 2500-93. Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria. (1993)
- Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control. Duffua, Raouf, Dixon. Año 2000, Pág. 29.
- Gestión de Mantenimiento. Planificación. Ribis, Sebastián. Año 2013.
- Índices e Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Pymes del Estado Táchira, Año 2006
- El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. Reliability Web: A Culture of Reliability, Año 2019
- Niebel, B y Freivalds, A (2004). Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del trabajo. Editorial Alfa-Omega. México, D.F, Pág. 24 y 25.

- Spiller, Earl A., Jr; Gosman Martin L. Contabilidad financiera. México D.F: Mc Graw Hill. 1988.
- Leland Blank & Anthony Tarquin. Ingeniería Económica. Editorial Mc Graw Hill Sexta edición (2002) Pág. 224-245
- Palella Stracuzzi, Santa. Metodología de la investigación cualitativa. Editorial Fedupel. Caracas, Venezuela (2006). Segunda edición. Pág .87
- Leland Blank & Anthony Tarquin. Ingeniería Económica. Editorial Mc Graw Hill Sexta edición (2002).
- Lind, D., Mason, R.; Marchal, W. “Estadística para Administración y Economía”. McGraw-Hill. (2001)
- Hernández Sampieri, R. Metodología de la Investigación, Mc Grow Hill (2000) Pág. 278
- Arias, Fidias G. El proyecto de investigación. Editorial Episteme. Caracas (1999). Tercera edición. Pág. 19
- Hernández M, Edelsys. Metodología de la investigación. Escuela Nacional de Salud Pública (2006). Pág. 31-34
- Leal, Sandra L., Zambrano R. Sony A. Índices e Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Pymes del estado Táchira. Decanato de Investigación UNET (2006).
- Nakajima, S. Introducción al TPM. Mantenimiento Productivo Total. Editorial TPM Nyumon. España (1991).
- Zambrano, Leal. Manual práctico de gestión de mantenimiento. FEUNET. San Cristóbal, Táchira (2006).
- Delgado, Susan & Estrada, Ygna. Diseño de un sistema de mantenimiento aplicado a máquinas y equipos utilizados en los procesos de producción y de servicio de una empresa manufacturera, Tomo I. Trabajo Especial de Grado (Julio 2006)