



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL PARA EL
SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA
FLOTA BRT EN EL SISTEMA TRANSMILENIO**

Autores:

Hugo Mario Ocampo Parra

Luis Alfonso Morón Santamaría

Director:

MSc. Sebastián Alberto Peláez Gómez

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Maestría en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C, Colombia

Julio, 2024

Tabla de contenido

Resumen.....	5
1. Título.....	6
2. Introducción	6
3. Planteamiento del problema.....	6
4. Objetivos	10
4.1 Objetivo General.....	10
4.2 Objetivos Específicos.....	11
5. Justificación	11
6. Marco Referencial.....	12
6.1 Marco Conceptual.....	12
6.2 Estado del arte.....	14
6.3 Contexto Organizacional	16
7. Metodología	19
8. Resultados	21
8.1 Entendimiento del negocio	21
8.2 Entendimiento de los datos	23
8.3 Preparación de los datos.....	29
8.4 Modelado	32
8.5 Evaluación.....	34

8.6	Implementación.....	35
9	Discusión.....	37
10	Conclusiones	38
11	Recomendaciones	39
12	Referencias.....	40
13	Anexos	43

Lista de figuras

Figura 1	9
Figura 2	19
Figura 3	24
Figura 4	25
Figura 5	25
Figura 6	26
Figura 7	27
Figura 8	27
Figura 9	28
Figura 10	28
Figura 11	29
Figura 12	30
Figura 13	32
Figura 14	33

Figura 15	33
Figura 16	34
Figura 17	35
Figura 18	36
Figura 19	36
Figura 20	37

Lista de tablas

Tabla 1	7
Tabla 2	26
Tabla 3	30
Tabla 4	31

Resumen

TRANSMILENIO S.A., es la entidad del orden distrital, encargada de la planeación, gestión y control, del sistema de transporte masivo de buses de la ciudad de Bogotá, ejerciendo dicha planeación y control a través de las diferentes direcciones que hacen parte de la entidad, para el caso del control de la operación y del mantenimiento de la flota, se realiza, por parte de la Dirección Técnica de BRT – DTBRT.

Así las cosas, fruto del control realizado, en especial, lo que tiene que ver con el mantenimiento de los buses, se generan datos de varadas, de fallas técnicas, y/o de kilometraje recorrido, entre otros datos, que son esenciales para el cálculo de indicadores, y otros análisis, dichos datos, son actualmente procesados en diferentes archivos (Excel), para posteriormente ser procesados y determinar las acciones que correspondan de acuerdo con cada análisis.

Es así, como se observa una oportunidad de mejora, en el procesamiento en sí de la información, dado que, como se mencionó previamente, actualmente toda la información se procesa a través de diferentes archivos en Excel, razón por la cual, se considera que tal procesamiento de datos, se puede optimizar, mediante el diseño y aplicación de un tablero de control, que permita, no solo la consolidación de la información, sino, la visualización de la misma en tiempo real, en condiciones de calidad y seguridad del dato.

En ese sentido, este trabajo propone el diseño e implementación de un tablero de control, que permita la mejora pertinente, respecto de la información que se genera fruto del control al mantenimiento que cada concesionario adelanta sobre la flota.

Palabras Clave: Análisis de datos, Inteligencia de negocios, Control de mantenimiento, Flota BRT, Tablero de control, Indicador de mantenimiento DPV, Transmilenio.

1. Título

Diseño e implementación de un tablero de control para el seguimiento y control de la gestión de mantenimiento de la flota BRT en el Sistema TransMilenio.

2. Introducción

El transporte público desempeña un papel crucial en la movilidad urbana, especialmente en áreas metropolitanas densamente pobladas. El Sistema TransMilenio, como forma de Autobús de Tránsito Rápido (BRT), es un componente vital de la red de transporte de Bogotá. Este trabajo propone una investigación sobre el desarrollo de un tablero de control alimentado con los datos que surgen del análisis del mantenimiento de la flota, de tal manera, que permita optimizar el control del mantenimiento que cada concesionario adelanta sobre los buses vinculados a la Dirección Técnica de BRT, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y la calidad del servicio brindado a los usuarios.

3. Planteamiento del problema

Los contratos de concesión para la operación del sistema BRT, establecen obligaciones relacionadas con la gestión del mantenimiento de la flota. Estas obligaciones buscan que los concesionarios atiendan las necesidades técnico-mecánicas de los buses para mantener las condiciones y especificaciones con las que se vincularon, garantizando así la confiabilidad y seguridad de la flota durante la prestación del servicio.

Las actividades de control al cumplimiento de las obligaciones contractuales, especialmente las relacionadas con el mantenimiento, producen una serie de datos que son relevantes para el control a la gestión de mantenimiento que adelanta cada concesionario sobre la

flota, de dichos datos se obtiene, entre otras cosas, la información para calcular el indicador de mantenimiento DPV “Distancia promedio entre Varadas”, que es el indicador establecido contractualmente, para medir el desempeño de los concesionarios en la gestión de mantenimiento.

Actualmente, los datos objeto de estudio, se consolidan en diferentes archivos que contienen diferente información, pero que, a su vez, tienen una relación con cada uno de los vehículos, es decir, se puede presentar en diferentes archivos información relacionada con un mismo bus, que, al momento de ser procesada, se puede incurrir en errores como de digitación, duplicidad en la información, reprocesos en la entrega de información, pérdida de datos entre otros.

La tabla 1. Presenta la relación y tipos de archivos que actualmente se manejan en la DTBRT, para el procesamiento de los datos fruto del control al mantenimiento de la flota vinculada y controlada por la DTBRT.

Tabla 1

Relación de archivos para el procesamiento de datos del control a la gestión del mantenimiento

ID	ARCHIVO	TIPO DE ARCHIVO	PERIODO DE ACTUALIZACION	CANTIDAD DE DATOS ALMACENADOS	CONTENIDO	FUENTE
1	Seguimiento vehículos	Excel	Diario	64796	Se consolida y se realiza seguimiento a cantidad de buses inoperativos, inmovilizados, novedades diarias, franja horaria, inspecciones periódicas de mantenimiento, multas, novedades anuales y novedades diarias por cada zona de operación. Total 21 archivo	Patios – garaje de operación
2	Flota operativa vs programada troncal	Excel	Quincenal	4051	Se consolida y se realiza seguimiento a la programación de flota, cantidad de buses inoperativos y cantidad de flota vinculada	Centro de control
3	Flota programada vs flota operativa alimentación	Excel	Quincenal	3891	Se consolida y se realiza seguimiento a la programación de flota, cantidad de buses inoperativos y cantidad de flota vinculada	Centro de control
4	Consolidada franja am y pm	Excel	Quincenal	-160	Se consolida y se realiza seguimiento a la flota inoperativa en cada franja horaria para el total de la flota	Centro de control
5	Formato oficial inoperativos	Excel	Semanal	3891	Se consolida y se realiza seguimiento a la cantidad de buses inoperativos e inmovilizados	Centro de control
6	Base accesibilidad	Excel	Semanal	-160	Se consolida y se realiza seguimiento a los vehículos accesibles	Centro de control
7	Base sensor de peso	Excel	Semanal	2024	Se consolida y se realiza seguimiento a vehículos con sensores de peso	Centro de control
8	Kilometraje mensual esomos alimentación	Excel	Mensual	2120	Se consolida y se realiza seguimiento al kilometraje odómetro	Centro de control
9	Kilometraje mensual gran américas	Excel	Mensual	2415	Se consolida y se realiza seguimiento al kilometraje odómetro	Centro de control

10	Consumo energético base	Excel	Mensual	5063	Se consolida y se realiza seguimiento al consumo energético	Centro de control
11	Kilometrajes alimentación	Excel	Mensual	2648	Se consolida y se realiza seguimiento al kilometraje odómetro	Centro de control
12	Kilometrajes	Excel	Mensual	5063	Se consolida y se tiene el histórico kilometraje odómetro	Centro de control
13	Tipo de asistencia en vía alimentación oficial	Excel	Quincenal	5223	Se consolida y se realiza seguimiento al tipo de asistencia recibida en los eventos de varado	Centro de control
14	Tipo de asistencia en vía troncales oficial	Excel	Quincenal	2616	Se consolida y se realiza seguimiento al tipo de asistencia recibida en los eventos de varado	Centro de control
15	Reportes transmiapp base	Excel	Diario	254	Se consolida y se realiza seguimiento a los reportes usuarios	Centro de control
16	Consolidado vandalizados	Excel	Quincenal	2415	Se consolida y se realiza seguimiento a los eventos de vandalizados de la flota	Centro de control
17	Control novedades diarias físicas	Excel	Mensual	5063	Se consolida y se realiza seguimiento a la cantidad de novedades generadas en inspecciones aleatorias de flota	Centro de control
18	Distancia promedio entre varadas (dpv)	Excel	Diario	2648	Se consolida y se realiza seguimiento al indicador dpv - distancia promedio entre varadas	Centro de control
19	Dpv bus a bus	Excel	Mensual	5063	Se consolida y se realiza seguimiento al dpv individual de la flota	Centro de control
20	Inspecciones periódicas de mantenimiento	Excel	Mensual	84075	Se consolida y se realiza seguimiento a las inspecciones periódicas de mantenimiento, programación y ejecución.	Centro de control
21	Proyecciones fase iii (vida útil)	Excel	Mensual	86723	Se consolida y se realiza seguimiento a la vida útil de la flota	Centro de control
22	Seguimientos varados	Excel	Diario	157415	Se consolida y se realiza seguimiento a los eventos de varados de la flota	Centro de control
TOTAL DE DATOS PROCESADOS				447137		

Nota. Fuente - Dirección Técnica de BRT – TRANSMILENIO S.A.

En la tabla anterior, se puede observar, que el método actual para el procesamiento de datos, se hace a través de diferentes archivos en formato Excel, que si bien es cierto, pueden tener diferentes fuentes, es decir, un archivo por cada patio en donde se realiza mantenimiento por ejemplo, algunos procesan la misma información, generando así, duplicidad en la información, adicionalmente, al requerir un informe consolidado de toda la flota, se requiere extraer de cada archivo la información pertinente, para consolidarla en un archivo aparte, tarea, que se desarrolla de manera manual, con el riesgo que esto representa de contaminación o pérdida de información, razón por la cual, se ve necesario, establecer un mecanismo que: (i) permita la consolidación de la información en una sola base de datos, (ii) permita la consolidación de manera automática, (iii) depure la información (iv) garantice la calidad e integridad de los datos y por ultimo (v), permita la visualización y consulta en tiempo real, incluyendo de ser el caso, gráficas y reportes según el tema de consulta.

En este contexto, surge la pregunta: ¿Se puede mejorar el control del mantenimiento de la flota BRT a partir de un tablero de control que permita la consolidación y el análisis de datos relacionados con las varadas, fallas técnicas y novedades diarias, entre otros, que presentan los buses?

Para responder a esta pregunta, se ha recurrido a la academia y a casos de éxito en otras operaciones, incluso en otras industrias. Esto ha permitido plantear la necesidad de investigar la viabilidad de implementar una metodología para el desarrollo de un tablero de control que permita la consolidación y el análisis de datos que mejore el control que se adelanta sobre la gestión de mantenimiento, y que permita la toma de decisiones en tiempo real y de forma expedita, con el objetivo de mejorar las condiciones de confiabilidad y seguridad de la flota.

La Figura 1. ilustra a manera de ejemplo, el registro del indicador de mantenimiento DPV – Distancia promedio entre Varadas, establecido para medir el desempeño de cada concesionario, frente a la gestión del mantenimiento de la flota alimentadora vinculada a la DTBRT.

Figura 1

Indicador de mantenimiento DPV



Nota. DPV, por concesionario para el mes de febrero de 2024 (fuente: Dirección Técnica de BRT – TRANSMILENIO S.A.)

Para efectos del análisis del DPV, se tiene como mínimo exigido de cumplimiento mensual, un límite de 20.000 kilómetros recorridos entre varadas para la flota que presta el servicio de alimentación de cada concesionario, y como se puede observar en la gráfica anterior, hay tres (3) concesionarios que para el mes de febrero de 2024, se encuentran por debajo de dicho límite, es decir, se presenta un incumplimiento por parte de dichos concesionarios, de aquí, la relevancia que cobra el análisis de la información relacionada con el estado técnico mecánico de los buses y la gestión de mantenimiento de la flota, dado que, de contar con una herramienta consolidada para el procesamiento de los datos, se podría visualizar en tiempo real , el desempeño de cada concesionario de manera expedita, adoptando así, las medidas se requieran, con el fin, de solicitar las mejoras a las condiciones técnicas de los buses, Lo que redundaría en mejor experiencia de viaje para los usuarios del sistema.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar un tablero de control, que permita la consolidación y el análisis de los datos relacionados con el mantenimiento, las varadas y las fallas técnicas, así como, del indicador de mantenimiento DPV, de tal manera, que se minimice el riesgo de pérdida de información, duplicidad en la información y/o de información contaminada, mejorando así, el control sobre la gestión de mantenimiento de la flota vinculada al SITP.

4.2 Objetivos Específicos

- Establecer un diagnóstico general de la información relacionada con la gestión de mantenimiento de la flota.
- Identificar las principales fuentes de datos con las que se construirá el modelo de inteligencia de negocios.
- Aplicar la metodología CRISP-DM con enfoque en la medición de proyectos, para generar el modelo de analítica de datos.
- Elaborar un tablero de control, que permita realizar el seguimiento y control al mantenimiento de la flota de forma eficaz para la toma de decisiones.

5. Justificación

El transporte público juega un papel crucial en la movilidad urbana, especialmente en ciudades densamente pobladas como Bogotá. TransMilenio, el sistema de Autobús de Tránsito Rápido (BRT) de la ciudad, es una pieza fundamental de esta red. Sin embargo, la gestión del mantenimiento de su flota enfrenta desafíos significativos debido a la gran cantidad de datos generados y la fragmentación de estos en múltiples archivos Excel.

La implementación de un tablero de control para la consolidación y análisis de datos representa una solución innovadora para estos desafíos. Este trabajo de grado propone el diseño e implementación de un tablero de control que permita una visión integral y en tiempo real de la gestión del mantenimiento de la flota BRT.

Este estudio es pionero en la aplicación de herramientas de Business Intelligence (BI) para la gestión del mantenimiento de una flota de transporte público en Colombia. Aporta una metodología innovadora basada en la metodología CRISP-DM, que puede ser adaptada y

replicada en otros contextos. Además, contribuye al conocimiento existente al mostrar cómo la integración de tecnologías de análisis de datos puede transformar la gestión operativa en sistemas de transporte público.

6. Marco Referencial

En un entorno empresarial cada vez más competitivo, las organizaciones se embarcan en una constante búsqueda de estrategias innovadoras para destacar en el mercado. Esta lucha por la diferenciación las impulsa a aprovechar al máximo la tecnología a su disposición, transformándola en una aliada clave para optimizar sus procesos y alcanzar sus objetivos. En este contexto, el análisis de información emerge como una herramienta fundamental, no solo para mejorar el rendimiento, sino también para fortalecer la visibilidad de las organizaciones en el mercado.

6.1 Marco Conceptual

A continuación, se describen algunos de los conceptos básicos requeridos para un mejor entendimiento de los procesos que componen el análisis, diseño y construcción de una solución de inteligencia de negocios como lo son los tableros de control.

Data warehouse (Almacén de datos): De acuerdo con Kumar, P., Sivasubramaniya, S., & Kavita, D. (2019), un Data Warehouse es un repositorio centralizado de datos recopilados por una organización a partir de varios sistemas operativos, que puede ser físico o lógico. Se caracteriza por ser orientado a temas, integrado, variante en el tiempo y no volátil, lo que apoya el proceso de toma de decisiones de la gerencia. Se utiliza en análisis de ventas, control de inventario, servicios financieros, industria del transporte y más, facilitando la gestión de relaciones con clientes y la toma de decisiones estratégicas.

Business intelligence (Inteligencia de negocios): Según Velu, A. (2021), Business Intelligence (BI) es un proceso impulsado por datos que combina la capacidad y recolección de datos con su gestión para proporcionar insumos en el proceso de toma de decisiones empresariales. BI permite a las empresas mejorar su proceso de toma de decisiones y requiere procesos, habilidades, tecnología y datos. La aplicación de métodos ágiles a BI es común debido a la naturaleza iterativa e incremental del desarrollo de BI. Los principios ágiles se adaptan bien al mundo de BI y la investigación sobre su aplicación exitosa ha surgido, abordando muchos de los problemas comunes encontrados en proyectos de BI. La cadena de valor de datos es el método utilizado para inferir valor de los datos y conocimiento de la información; la entrega de BI se centra en la cadena de valor de datos.

Dashboard (Tablero de control): De acuerdo con Bach, B., Freeman, E., Abdul-Rahman, A., Turkay, C., Khan, S., Fan, Y., & Chen, M. (2022), un “dashboard” es una interfaz que permite ver conjuntos de datos grandes y complejos de un vistazo. Combina representaciones visuales y otros adornos gráficos para proporcionar capas de abstracción y simplificación para numerosos puntos de datos relacionados, permitiendo a los usuarios obtener una visión general de la información más importante o relevante de manera eficiente en el tiempo. Su uso se ha extendido en muchos dominios de aplicación, como negocios, salud, análisis de aprendizaje y más, debido a su capacidad para proporcionar información clave rápidamente.

Proceso ETL: Según Khan, B., Jan, S., Khan, W., & Chughtai, M. I. (2024), El proceso ETL (Extracción, Transformación y Carga) es una parte fundamental de la gestión de datos en almacenes de datos, donde se extraen datos de múltiples fuentes, se transforman para cumplir con los requisitos de calidad y formato, y luego se cargan en un destino como un almacén de

datos o lago de datos. Este proceso permite la integración de datos, asegurando que sean precisos y útiles para la toma de decisiones y el análisis de inteligencia empresarial. Los desafíos comunes incluyen manejar grandes volúmenes de datos, garantizar la seguridad y cumplir con regulaciones, mientras que las herramientas de ETL varían desde soluciones en lotes hasta herramientas en tiempo real, tanto en las instalaciones como en la nube.

Metodología CRISP-DM: Según Azevedo & Zantos (2022), La metodología CRISP-DM contempla el proceso de análisis de datos como un proyecto profesional, estableciendo así un contexto mucho más rico que influye en la elaboración de los modelos. Este contexto tiene en cuenta la existencia de un cliente que no es parte del equipo de desarrollo, así como el hecho de que el proyecto no sólo no acaba una vez se halla el modelo idóneo (ya que después se requiere un despliegue y un mantenimiento), sino que está relacionado con otros proyectos, y es preciso documentarlo de forma exhaustiva para que otros equipos de desarrollo utilicen el conocimiento adquirido y trabajen a partir de él.

6.2 Estado del arte

En el artículo “*Dashboard proposition for health monitoring of production system in the automotive industry*”, por los autores: Einabadi, B., Mohammad-Amini, M., Baboli, A., & Rother, E. (2021); exponen como la implementación de un dashboard permite la optimización de costos de mantenimiento mediante el monitoreo de los equipos de producción. Facilita la transición hacia un mantenimiento predictivo (PdM), reduciendo averías repentinas y mantenimientos preventivos excesivos. Ofrece una visualización clara y útil para los tomadores de decisiones, utilizando indicadores clave de rendimiento de salud (HKPI) y análisis de componentes principales (PCA) para resaltar las características más relevantes. Proporciona

paneles de control para la supervisión en tiempo real y el monitoreo de la salud del sistema de producción, lo que ayuda a tomar decisiones rápidas y eficientes.

En el artículo “**FMS Dashboard - Descriptive Analytics and Preventive Maintenance**”, por los autores: Arulraj, M., Kalaivani, K., & Ulagapriya, K. (2019); muestran como el FMS Dashboard desarrollado proporciona análisis descriptivos, utilizando datos GPS para ofrecer información en tiempo real sobre la actividad del vehículo, el comportamiento del conductor y el seguimiento de la flota. Basándose en datos históricos, el sistema ayuda a planificar el mantenimiento preventivo, estimando cuándo es necesario el servicio del vehículo y permitiendo una planificación adecuada.

En el artículo “**Business Intelligence Dashboard for Driver Performance in Fleet Management**”, por los autores: Khalid, A. S., Hassan, N. H., Razak, N. A. A. B., & Baharuden, A. F. (2020); dan a conocer un tablero de inteligencia empresarial para evaluar el rendimiento de los conductores en la gestión de flotas. Se centra en identificar factores que influyen en el rendimiento del conductor en el transporte logístico y proporcionar un tablero para la toma de decisiones organizacionales. El estudio propone un modelo conceptual y desarrolla un tablero con componentes clave como resumen, entrega, perfil del conductor y comportamiento del conductor. La evaluación del tablero se realizó con expertos en gestión de flotas, y los resultados indicaron una alta usabilidad. El proyecto subraya la importancia de optimizar el capital humano en la industria del transporte para mejorar la eficiencia y la productividad, reduciendo así los riesgos y costos asociados con la inversión en vehículos y personal.

En el artículo “**Vehicle Vertical Wearing Index**”, por los autores Simone Gelmini, Marco Centurioni, Nicola Pivaro, Silvia Strada; Mara Tanelli, Sergio Savaresi (2022); explican como la capacidad de evaluar el estado de salud de un vehículo abre múltiples aplicaciones

posibles, especialmente si la degradación continua de los componentes monitoreados se puede proporcionar a medida que la vida útil del vehículo se extiende en el tiempo. En los sistemas modernos de movilidad compartida, que facilitan la transición de modelos de propiedad a modelos de uso, el desarrollo de métodos para monitorear activamente el estado de la flota de vehículos es crucial para mejorar los modelos de negocio y los planes de mantenimiento predictivo y factible.

En el artículo “**Automatic Preference Based Multi-objective Evolutionary Algorithm on Vehicle Fleet Maintenance Scheduling Optimization**”, por los autores Yali Wang, Steffen Limmer, Markus Olhofer, Michael Emmerich, Thomas Baeck (2021); explican como en el ámbito del mantenimiento de flotas de vehículos, la optimización de los cronogramas de mantenimiento es crucial para maximizar la eficiencia y minimizar los costos. En este contexto, se propone un algoritmo evolutivo multi-objetivo basado en preferencias para generar soluciones automáticamente, denominado AP-DI-MOEA (Automatic Preference based Diversity-Indicator Multi-Objective Evolutionary Algorithm).

6.3 Contexto Organizacional

TRANSMILENIO S.A., es una empresa del orden distrital, que planea, gestiona y controla, el transporte público masivo de buses de la ciudad de Bogotá, y una vez agotadas las etapas de planeación y gestión, mediante procesos licitatorios, se escogen los contratistas (concesionarios) que proveen los buses, atendiendo las especificaciones técnicas establecidas y solicitadas en los pliegos de condiciones en sus diferentes apéndices o anexos que hacen parte de la licitación y que posteriormente, hacen parte integral de los contratos de concesión.

Así las cosas, cada concesionario elegido, presenta la cantidad de buses solicitados para cada zona de operación, atendiendo parámetros de:

Tipología, si se trata de buses articulados de una (1) o dos (2) articulaciones, buses padrones (capacidad 80 pasajeros), buses padrones duales (capacidad 80 pasajeros, con posibilidad de operar en estaciones troncales y/o en zonas periféricas) y busetones (capacidad 50) pasajeros),

Tecnología, si se tratan de buses propulsados por: Aceite Combustible Para Motor (A.C.P.M.) o “diésel”, Gas Natural Vehicular Comprimido (GNVC), buses híbridos, que emplean simultáneamente más de una tecnología de propulsión, (Diesel – Eléctrico), buses eléctricos y próximamente, buses propulsados por hidrógeno.

Tics, si se requieren buses con sistemas Fleet Managment System (FMS), por su sigla en inglés, o Sistemas de Gestión de Flotas, cámaras de seguridad de vigilancia con reconocimiento facial, contadores automáticos de pasajeros entre otros.

Especificaciones Técnicas, que los buses cuenten por ejemplo con protección IP67, para la protección contra el polvo y agua para alguno de sus componentes, sii se requieren accesibles, con plataforma alta o con plataformas bajas, o con mecanismos mecanizados automáticos o semi automáticos para el ascenso y descenso de usuarios en condición especial de discapacidad física, si se requieren buses, con sistemas de post tratamiento de material particulado para reducir emisiones (buses diésel), entre otras especificaciones técnicas que se solicitan, a través de los pliegos de condiciones con sus anexos, para el caso en concreto y a manera de ejemplo, el manual de especificaciones técnicas de la flota.

Es importante aclarar, que los ítems relacionados líneas arriba, son apenas un ejemplo, dado que, los contratos de concesión prevén obligaciones relacionadas con diferentes áreas de

estudio, por ejemplo, jurídica, ambiental, financiera, económica, comercial, entre otros, y para efectos del presente documento, el análisis se centrará sobre lo relacionado con el control del mantenimiento de la flota.

En ese sentido, y una vez surtidas todas las etapas licitatorias y de vinculación de los buses, entran en operación las diferentes direcciones de TRANSMILENIO S.A., para que, realicen el seguimiento y control de acuerdo con sus competencias, especialidad y atendiendo el manual de funciones de la entidad.

Para el caso en concreto, entra en operación la Dirección Técnica de BRT – DTBRT de TRANSMILENIO S.A., encargada de la planeación, gestión y control de la operación y de la prestación del servicio público de transporte, diseñando la programación de los servicios de acuerdo con los diferentes estudios de ingeniería de transporte, (rotación de la demanda, deseos de viaje, estadísticas, entre otros) y realizando el control al cumplimiento de los servicios (frecuencias, intervalos, rutas, otros), asimismo, realiza el seguimiento y control a la gestión de mantenimiento que cada concesionario adelanta sobre la flota, registrando, entre otras cosas, la cantidad de eventos de varadas, las fallas técnicas, los siniestros que se puedan presentar, para lo cual, se realizan inspecciones sobre los buses para identificar las condiciones técnicas de los mismos, y solicitar de ser el caso, las reparaciones a que haya lugar. La gestión del mantenimiento que adelanta cada concesionario se mide con el indicadores de gestión DPV, distancia promedio entre varadas, que promedia en toda la flota de un concesionario el kilometraje recorrido entre varadas, obteniendo así el indicador, el cual, debe respetar unos límites mínimos establecidos para cada fase y contrato de concesión.

Toda la información que se genera fruto del seguimiento que realiza la DTBRT, se consolida en diferentes archivos, que posteriormente se procesan y se analizan, y con base

endicha información, se toman decisiones (mesas de mantenimiento, campañas especiales de atención de flota, inspecciones especiales, otros), no obstante, se evidencia una oportunidad de mejora, en cuanto al procesamiento de la información que se genera sobre el estado técnico mecánico de los buses, estableciendo un mecanismo de consolidación, depuración y procesamiento de datos, que permita la obtención de datos para análisis de manera organizada, confiable y segura.

7. Metodología

Como metodología seleccionada para el desarrollo del proyecto, se toma el concepto del modelo de proceso estándar para minería de datos CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) en donde se describen los enfoques comunes que utilizan los expertos en minería de datos, además porque es un método probado para orientar los trabajos de esta área, siendo una de las metodologías con más apoyo de las empresas privadas y organismos públicos.

Figura 2

Metodología para desarrollar el proyecto



Nota. Etapas para desarrollar durante las 8 semanas (fuente: Elaboración propia).

A continuación, se describen las 4 etapas propuestas para la implementación del tablero de control:

I. Comprensión: Realizar actividades de levantamiento de información, (entrevistas), con el personal técnico que administra la información relacionada con el control de la gestión de mantenimiento de la flota, con el fin de identificar fuentes de información (Excel, Word, otros), en los que actualmente se procesa la información relacionada con el mantenimiento de la flota. Las actividades para realizar son: (i) programar las citas con el fin de entrevistar al personal técnico que administra la información de la gestión de mantenimiento de los buses, (ii) realizar un inventario, relacionando cada uno de los archivos empleados actualmente para al procesamiento de la información, (iii), extraer de los entrevistados, las necesidades de mejora pertinentes.

II. Preparación: Depurar la información relacionada con el control a la gestión de mantenimiento de la flota que reposa en cada archivo, con el fin, de analizar la información que cada uno contiene para consolidar de manera unificada. Las actividades para realizar son: (i) identificar los archivos que contienen la información relevante para el control del mantenimiento de los buses, (ii) realizar el proceso la extracción de la información, (iii) transformar los datos de cada archivo para consolidarlos en un solo archivo que sea susceptible de análisis y procesamiento de manera unificada.

III. Modelado: Construir con la información depurada, analizada y consolidada, un modelo de datos, que permita el procesamiento de los datos relacionados con el mantenimiento de los buses, de manera unificada, segura, organizada, que garantice la integridad de la información y la disponibilidad de esta para análisis. Para tales efectos se requiere: (i) aplicación de minería de datos que sirvan como insumo en el análisis de la gestión de mantenimiento, (ii)

aplicación de Business intelligence (Inteligencia de negocios) BI, con la información consolidada y organizada, de tal manera que permita la obtención de indicadores claves para la gestión del proceso de mantenimiento.

IV. Implementación: Elaborar un tablero de control donde se pueda visualizar la información más relevante del proceso, el cual permita la adecuada toma de decisiones basada en datos. En esta etapa las actividades consisten en: (i) elegir la herramienta de visualización de datos adecuada en función de las necesidades, considerando factores como costo, facilidad de uso, capacidades de análisis y soporte para diferentes tipos de visualizaciones, (ii) diseñar la estructura general del tablero considerando la organización de la información, el flujo visual y la facilidad de navegación, (iii) realizar pruebas para garantizar que el tablero funcione correctamente, que los datos se muestren de manera precisa y que la experiencia del usuario sea satisfactoria.

8. Resultados

Los resultados obtenidos en cada una de las etapas del proyecto se muestran a continuación:

8.1 Entendimiento del negocio

Mediante entrevistas, y atendiendo lo dispuesto en la etapa de comprensión como se aprecia en la figura 2, se realizó una entrevista con los funcionarios de TRANSMILENIO S.A., quienes son los encargados de la recepción, filtro y consolidación de la información que surge fruto del seguimiento al mantenimiento de los buses que controla la DTBRT. De dicha entrevista, de la cual se anexa el acta pertinente, se extrae lo siguiente:

Los funcionarios encargados del procesamiento de los datos (2 funcionarios), no trabajan para TRANSMILENIO S.A., en calidad de Trabajadores Oficiales, es decir, no pertenecen a la planta de la entidad, en ese sentido, prestan sus servicios a través de un contratista externo que es el empleador, mediante una figura que, al interior del Sistema, se denomina Fuerza Operativa (FO), esta situación ya representa una posibilidad de riesgo en el procesamiento de los datos, comoquiera, que cada año, se licita el contrato de la empresa proveedora de la Fuerza Operativa, y dado que, en gran medida, son autónomos en la escogencia de su personal técnico, se puede perder el conocimiento como consecuencia de un cambio de personal, lo que puede generar reprocesos por las curvas de aprendizaje entre otros factores relacionados.

No existe un procedimiento o manual que regule o fije los lineamientos, de las actividades relacionadas con el procesamiento de la información, esto en razón, a que dichas actividades, se han venido realizando en atención a las necesidades del día a día, sin que medie algún tipo de planeación, se conoció por parte de los entrevistados, que, al respecto, ya se está trabajando en un procedimiento piloto interno, para regular en sí, el paso a paso, del procesamiento de los datos.

La falta de un procedimiento, como se señaló en el literal anterior, influye en buena medida, en las debilidades del área de vehículos de la DTBRT, en cuanto al procesamiento de los datos, razón por la cual, la aplicación del tablero de control ayuda en gran medida, a mitigar dichas debilidades.

También se extrajo de la entrevista, que los archivos que se relacionan con el mantenimiento de la flota, y en los que se consignan entre otras cosas, la cantidad de varados, fallas técnicas, y el DPV, de los buses, se procesan de manera individual en archivo Excel, por lo que, al requerirse cualquier estadística, se deben actualizar primero cada uno de los archivos,

sacando de cada uno los datos que se requieren para construir la información solicitada, tal situación genera reprocesos y demoras en cada información solicitada, y en ese sentido, un tablero que consolide y procese los datos de manera inmediata resulta beneficioso no solo para el control en sí, sino para, las actividades desarrolladas en el día a día por parte de los entrevistados, lo que significa una mejora positiva para ellos.

En cuanto a las oportunidades de mejora, manifestadas por los entrevistados, se obtiene que, (i) un tablero de control gestionado en una plataforma como Power BI, resultaría, beneficioso para la gestión que desempeñan, (ii), que consolida, filtrar y limpiar los datos, influiría en la oportunidad para la entrega de la información, y en la calidad de esta, (iii), la implementación del tablero de control, facilitaría la labor de seguimiento al control que ejecutan sobre el mantenimiento de los buses controlados por la DTBRT.

Según los entrevistados, sería importante ligar la construcción del tablero de Control, a un procedimiento que fije los lineamientos, de la actividad de Base de Datos como se conoce al interior del equipo, sin embargo, sería parte de otro proyecto.

8.2 Entendimiento de los datos

Al realizar la revisión detallada de los 22 archivos en Excel referenciados en la Tabla 1 de los cuales disponen para el proceso de seguimiento y control del mantenimiento de los buses, se identificó que la información se encuentra repetida en varios de los archivos y en otros la información contenida no es relevante para el análisis, finalmente fueron seleccionados los siguientes 4 archivos:

- Seguimiento vehículos
- Kilometrajes

- Seguimientos varados
- Distancia promedio entre varadas (dpv)

Para un mejor entendimiento de los datos, se realizó un análisis exploratorio de los datos haciendo uso del lenguaje de programación Python ejecutado desde la herramienta Google Colab, obteniendo la descripción y características de cada uno de los conjuntos de datos.

Seguimiento vehículos. Esta base de datos en formato Excel está conformada por una tabla con 78 columnas y 6.198 filas, correspondiente a información detallada de las características de cada uno de los buses. Se identificaron los diferentes tipos de datos para cada columna entre los cuales se encuentran cadenas de texto, fechas y números. También se determinó la cantidad de valores faltantes (nulos) para cada columna, lo cual permitió identificar cuáles deben ser descartadas al momento de procesar los datos.

Figura 3

Descripción del conjunto de datos “Seguimiento vehículos”

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 6218 entries, 0 to 6217
Data columns (total 78 columns):
#   Column                                     Non-Null Count  Dtype
---  -
0   CÓDIGO DE BUS                             6192 non-null   object
1   NUMERO SAE                               6192 non-null   object
2   CONCESIONARIO OPERACIÓN                   6192 non-null   object
3   CONCESIONARIO DE PROVISION                1702 non-null   object
4   ZONA                                       5914 non-null   object
5   FASE                                       6192 non-null   object
6   ID                                         6192 non-null   object
7   PLACA                                      6192 non-null   object
8   FECHA DE VINCULACIÓN                      6192 non-null   object
9   TIPO VEHÍCULO                             6192 non-null   object
10  ESTATUS DE VINCULACION                    6192 non-null   object
11  ESTADO                                    6192 non-null   object
12  FECHA DESVINCULACION                      3053 non-null   object
13  DESVINCULADO POR RESOLUCION 548           727 non-null    object
14  REVINCULADO POR RESOLUCION 548            32 non-null     object
15  FLOTA NUEVA O USADA                       6192 non-null   object
16  BUS ACCESIBLE                             6192 non-null   object
17  CANTIDAD DE PASAJEROS                     6192 non-null   float64
18  CANT SILLAS AZULES                        6079 non-null   float64
19  COMBUSTIBLE                               6192 non-null   object
20  NIVEL DE EMISIÓN                          6180 non-null   object
21  RADICADO INGRESO                          4625 non-null   object
22  RADICADO RESPUESTA                        4528 non-null   object
23  NUMERO CERTIFICADO VINCULACION            5941 non-null   float64
24  FECHA DE INSPECCION                       4273 non-null   object
```

Nota. Fragmento del resultado obtenido en Google Colab.

Kilometrajes. Esta base de datos en Excel está conformada por 5 hojas, cada hoja representa un año y contiene 4 columnas con todos los registros diarios de kilometraje por bus.

Figura 4

Base de datos “kilometrajes” / Total filas por hoja

MOVIL	FECHA	ODOMETRO	ODO/DIA
A1001	1/01/2023	267.134	
A1001	2/01/2023	267.315	181
A1001	3/01/2023	267.459	144
A1001	4/01/2023	267.707	248
A1001	5/01/2023	267.793	86
A1001	6/01/2023	267.945	152
A1001	7/01/2023	268.135	190

HOJA	# FILAS
TR2019	746.315
TR2020	803.040
TR2021	861.497
TR2022	863.160
TR2023	870.258
	4.144.270

Nota. El total de registros de todas las tablas es de 4.144.270 filas

Seguimientos varados. Esta base de datos en formato Excel está conformada por una tabla con 26 columnas y 3.164 filas, correspondiente a los registros de varadas efectivas durante los años 2.023 y 2.024, detallando el vehículo, la causa y la asistencia brindada, entre otros. No hay valores nulos en la mayoría de las columnas, excepto en [Troncal_ruta] (28 nulos) y [Coordenadas] (29 nulos).

Figura 5

Descripción del conjunto de datos “Seguimiento varados”

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 3164 entries, 0 to 3163
Data columns (total 26 columns):
#   Column              Non-Null Count  Dtype
---  -
0   placa               3164 non-null   object
1   fase                3164 non-null   object
2   cod_concesion       3164 non-null   object
3   concesionario       3164 non-null   object
4   tipo_vehiculo       3164 non-null   object
5   marca_chasis        3164 non-null   object
6   referencia_chasis   3164 non-null   object
7   tecnologia          3164 non-null   object
8   movil               3164 non-null   object
9   causa_inmovilizacion 3164 non-null   object
10  descripción_novedad  3164 non-null   object
11  chasis_carroceria    3164 non-null   object
12  sistema              3164 non-null   object
13  componente           3164 non-null   object
14  ubicacion            3164 non-null   object
15  troncal_ruta         3164 non-null   object
16  coordenadas          3164 non-null   object
17  fecha                3164 non-null   object
18  hora                 3164 non-null   object
19  dia                 3164 non-null   object
20  mes                 3164 non-null   object
21  año                 3164 non-null   object
22  hora_inicio          3164 non-null   object
23  hora_fin             3164 non-null   object
24  hora_medio           3164 non-null   object
25  hora_medio_2         3164 non-null   object
```

Distancia promedio entre varadas (dpv). Esta base de datos en Excel está conformada por 5 hojas, cada hoja representa un año, contiene 13 columnas correspondiente al nombre del concesionario y los 12 meses con su respectivo valor del indicador calculado.

Tabla 2

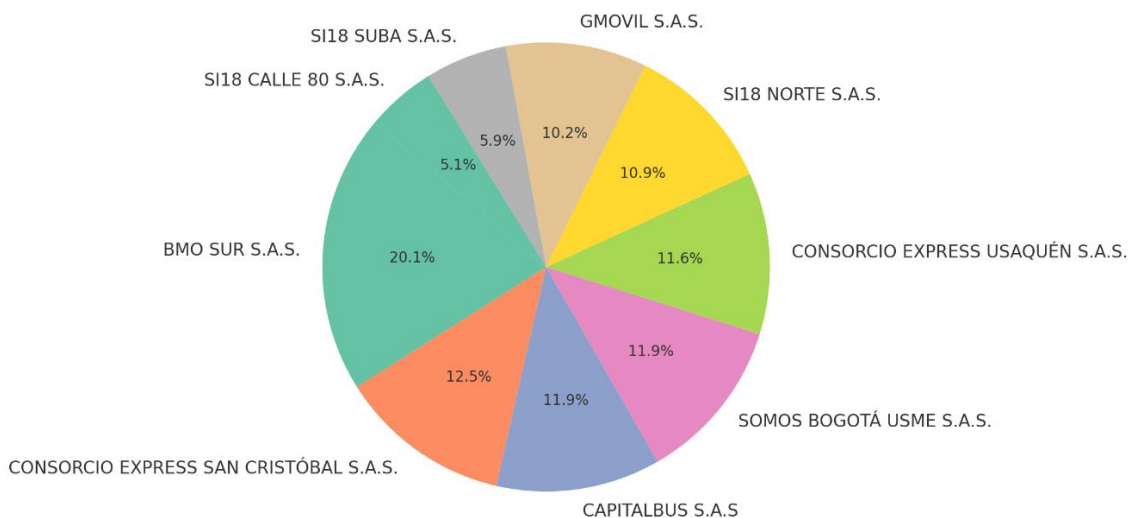
Descripción del conjunto de datos “Seguimiento varados” año 2024

EMPRESA	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24
GMOVIL	49.029	36.636	43.787	27.585
CONSORCIO EXPRESS - SAN CRISTOBAL	30.229	26.767	34.724	23.617
CONSORCIO EXPRESS - USAQUEN	33.983	34.435	48.420	29.043
BOGOTA MOVIL SUR	105.685	88.686	181.939	86.505
SI18 NORTE	79.111	88.460	103.804	97.709
SI18 CALLE OCHENTA	63.866	67.053	53.420	86.795
SOMOS BOGOTÁ USME	189.496	144.607	215.394	91.352
CAPITAL BUS	151.967	133.332	101.448	184.005
SI18 SUBA	248.492	157.703	125.224	162.345
DPV MES	66.875	59.401	74.474	53.069

Continuando con el entendimiento de los datos, se realizaron gráficos que nos muestran comportamientos y variaciones importantes para tener en cuenta al momento de establecer los componentes del tablero de control.

Figura 6

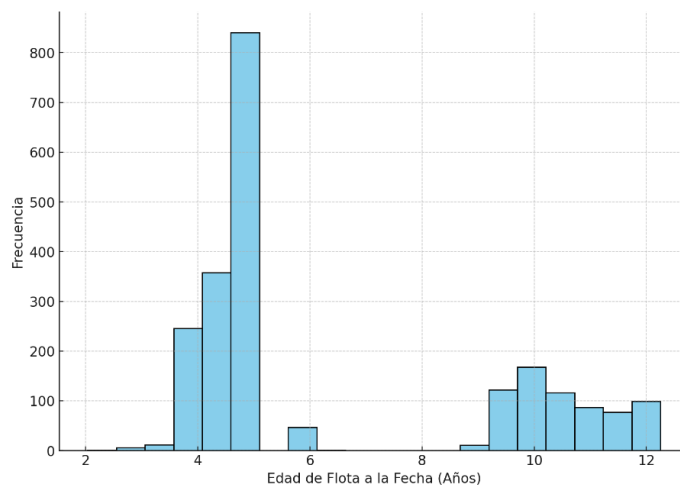
Distribución por concesionario de operación



La grafica circular enseña una distribución muy similar (10% - 13%) entre 6 de los 9 concesionarios y únicamente BMO SUR presente un porcentaje relativamente mayor (20%).

Figura 7

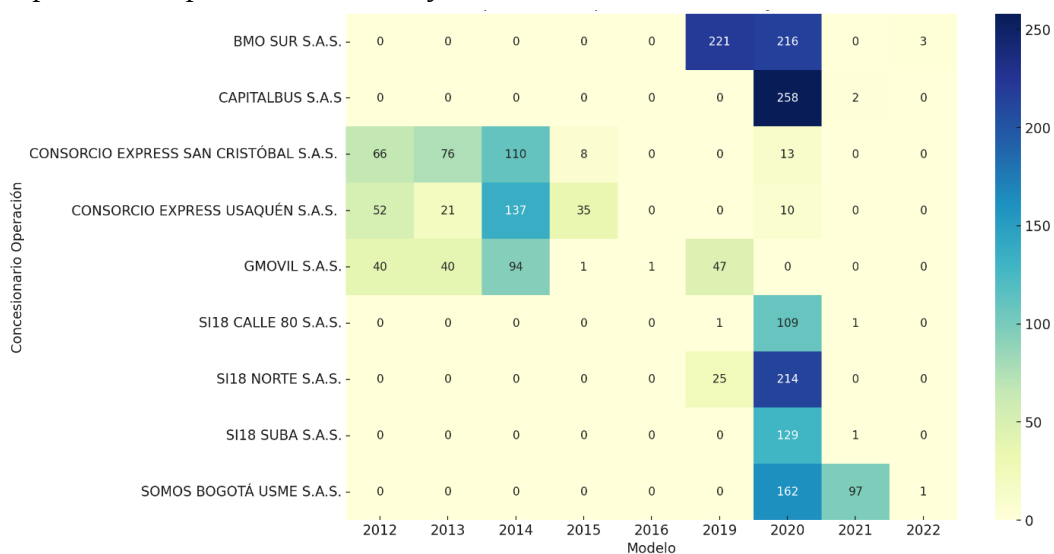
Distribución de la edad de la flota



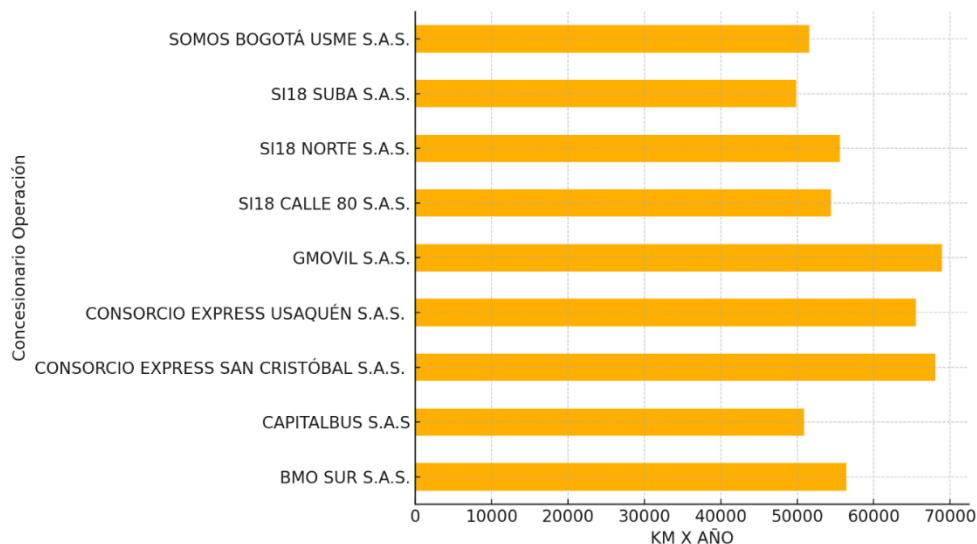
El histograma muestra que la mayoría de los buses tienen una edad entre 4 y 5 años.

Figura 8

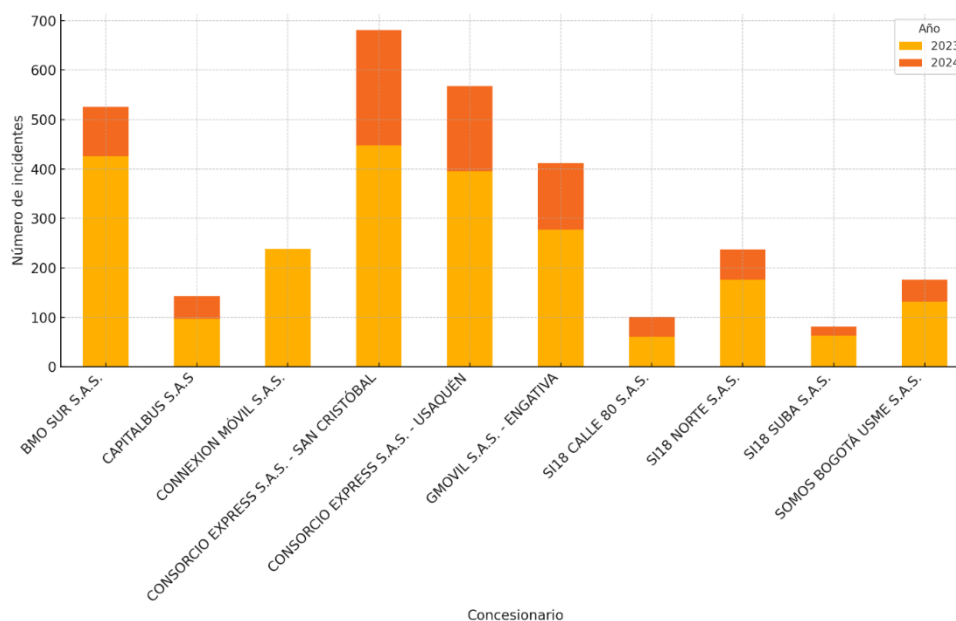
Mapa de calor por concesionario y modelo



El mapa de calor indica que los 3 consorcios que cuentan con los buses de modelo más antiguo corresponden a CE SANCRISTOBAL, CE USAQUÉN y GMOVIL

Figura 9*Promedio bus (km/año) por concesionario*

El grafico de barras muestra un promedio anual de kilometraje por bus muy similar para 6 concesionarios, con un rango entre 50.000 km y 60.000 km, pero hay 3 concesionarios (GSMOVIL, CE USAQUÉN, CE SAN CRISTÓBAL) que presentan valores superiores a los 60.000 km/año.

Figura 10*Numero de varados por concesionario*

El grafico de columnas apiladas indica que durante los años 2.023 y 2.024 los concesionarios con la mayor cantidad de varadas corresponden a CE SAN CRISTÓBAL, CE USAQUÉN y BMO SUR.

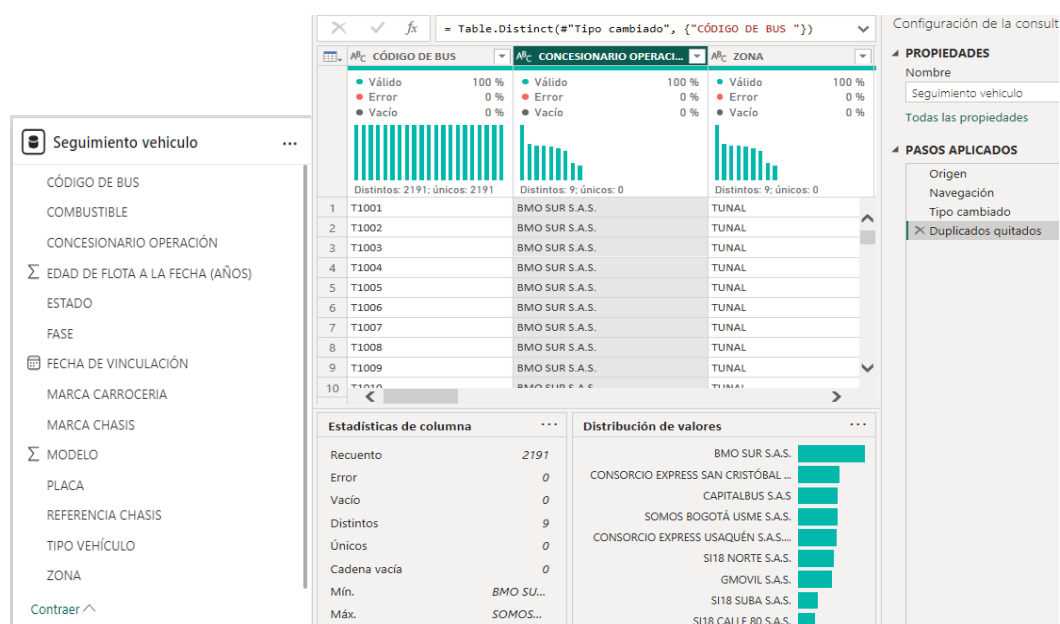
8.3 Preparación de los datos

De acuerdo con las características identificadas en los conjuntos de datos, se dio inicio al proceso de limpieza y transformación de la siguiente manera:

Para la base de datos “Seguimiento vehículos” se realizó el proceso de limpieza y transformación, el cual consistió en eliminar las columnas que tenían un alto porcentaje de datos incompletos o con información no requerida para el análisis, también se asignó el tipo de dato adecuado para cada columna y se verificó que no hubiera vehículos duplicados o registros con errores. Al finalizar el proceso de transformación se obtuvo una tabla de 14 columnas.

Figura 11

Proceso de limpieza y transformación a base de datos “Seguimiento vehículos”



A continuación, se describe cada una de las columnas que hacen parte de la tabla obtenida, con la cual se realizará el modelado de los datos.

Tabla 3

Descripción de las columnas de la Tabla “Seguimiento vehículos”

Nombre Columna	Tipo de Dato	Descripción
Código De Bus	Númérico	Identificador Único Del Bus.
Combustible	Texto	Tipo De Combustible Utilizado Por El Bus.
Concesionario Operación	Texto	Nombre Del Concesionario De Operación.
Edad De Flota (Años)	Númérico	Años de Operación del Bus
Estado	Texto	Estado Del Bus (Activo O Desvinculado).
Fase	Texto	Fase Inicio Operaciones del Bus.
Fecha De Vinculación	Fecha	Fecha En La Que El Bus Fue Vinculado Al Sistema.
Marca Carrocería	Texto	Marca De La Carrocería.
Marca Chasis	Texto	Marca Del Chasis Del Bus.
Modelo	Texto	Año de Fabricación Del Bus.
Placa	Texto	Placa Del Bus.
Referencia Chasis	Texto	Clasificación del Chasis
Tipo Vehículo	Texto	Tipo de Articulación Bus
Zona	Texto	Zona De Operación Del Bus.

Para la base de datos “Kilometraje” debido a que la información se encontraba distribuida en diferentes hojas, se procedió a realizar su consolidación en una tabla única, se conservaron las 4 columnas (Fecha, Móvil, Odómetro, Kilometraje) y no fue necesario eliminar ningún registro por datos nulos o con errores.

Figura 12

Consolidación hojas de la base de datos “Kilometraje”

Anexar

Concatena filas de tres o más tablas en una única tabla.

☐ Dos tablas ☒ Tres o más tablas

Kilometrajes ...

FECHA

KILOMETRAJE

MOVIL

ODOMETRO

Contraer ^

Tablas disponibles

- TR2019 (actual)
- TR2020
- TR2021
- TR2022
- TR2023

Agrega...

Tablas para anexar

- TR2019 (actual)
- TR2020
- TR2021
- TR2022
- TR2023

Aceptar **Cancelar**

Nota. Proceso realizado con Power Query en Power BI.

Para la base de datos “Seguimientos varados”, se procedió a realizar el proceso de transformación, en el cual se eliminaron las columnas que tenían información repetida con la tabla de “Seguimiento Vehículos” y las columnas que no contenían información relevante para el análisis, se asignaron los tipos de datos correspondientes a cada columna, no fueron identificados registros erróneos o vacíos, finalmente se obtuvieron para el análisis las 9 columnas que se describen a continuación:

Tabla 4

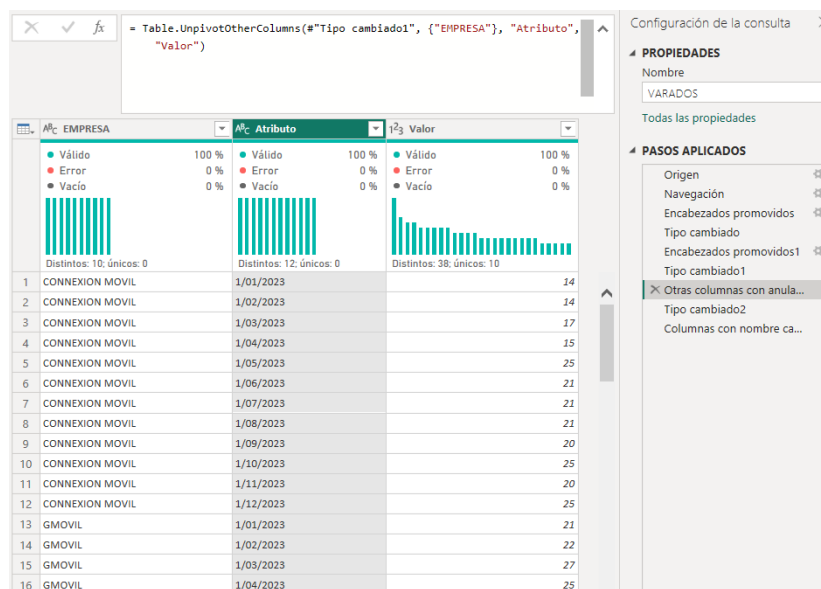
Descripción de las columnas de la Tabla “Seguimientos varados”

Nombre Columna	Tipo de Dato	Descripción
Móvil	Texto	Número Móvil Del Vehículo
Causa Inmovilización	Texto	Causa De La Inmovilización Del Vehículo
Chasis-Carrocería	Texto	La falla se presentó en el chasis o la carrocería
Sistema	Texto	La falla se presentó en que sistema
Componente	Texto	La falla se presentó en que componente
Coordenadas	Texto	Localización geográfica del evento
Troncal Ruta	Texto	Nombre de la ruta
Tipo de Asistencia	Texto	Atención realizada en grúa o en sitio
Fecha inmovilización	Fecha	Fecha del Incidente

Para la base de datos “Distancia promedio entre varadas (dpv)” debido a que la información no se encontraba en formato tabular y estaba distribuida en diferentes archivos por año, se procedió a realizar su transformación anulando la dinamización de las columnas y posteriormente se realizó la consolidación en una única tabla, lo cual permite realizar el modelado de datos de forma adecuada.

Figura 13

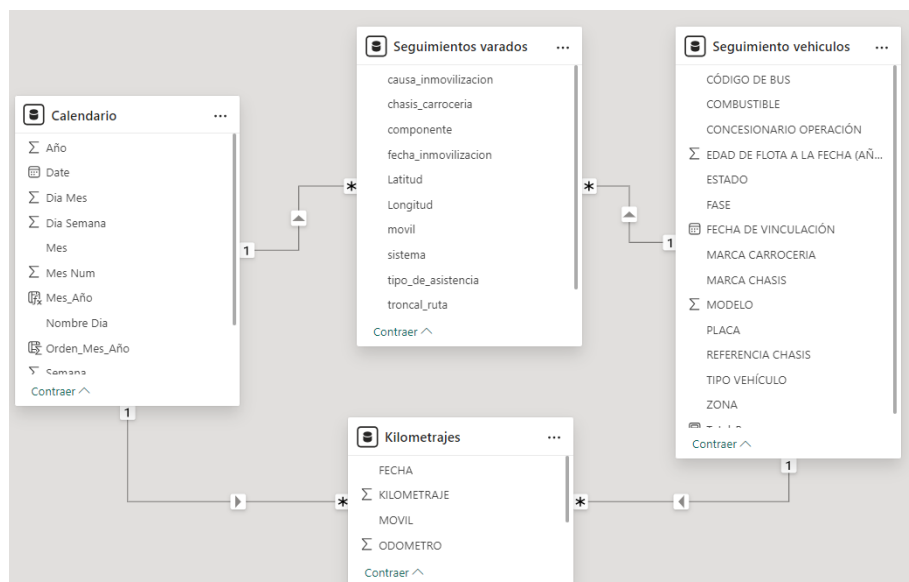
Transformación de la base de datos “Distancia promedio entre varadas (dpv)”



8.4 Modelado

Teniendo en cuenta que el modelado de datos es un proceso crucial para crear informes y análisis efectivos, se ha realizado un modelo de analítica de datos por medio de la aplicación Power BI, el cual permite organizar la información de manera lógica y coherente, facilitando su análisis y comprensión; permite establecer conexiones entre diferentes conjuntos de datos, lo que posibilita análisis más complejos y significativos; optimiza el rendimiento del informe, haciendo que las consultas sean más rápidas y eficientes; facilita la creación de cálculos complejos y medidas personalizadas que pueden reutilizarse en todo el informe; facilita la adaptación a futuros cambios en los datos o en los requisitos de análisis.

En la figura 14 se puede observar el modelo de analítica de datos generado en la aplicación Power BI, donde se encuentran cada una de las fuentes de datos, sus componentes y las relaciones con su respectiva dirección y cardinalidad.

Figura 14*Relaciones entre tablas – Modelo de datos*

En el análisis de datos con Power BI, una tabla de calendario juega un papel fundamental para organizar y analizar datos basados en fechas. Esta tabla funciona como una columna vertebral que aporta estructura y contexto a los datos, permitiendo realizar análisis más profundos y completos. Para este informe se creó una tabla calendario con fechas desde el año 2.022 hasta el 2.024, como se muestra en la figura 15.

Figura 15*Creación de tabla calendario utilizando lenguaje DAX*

```

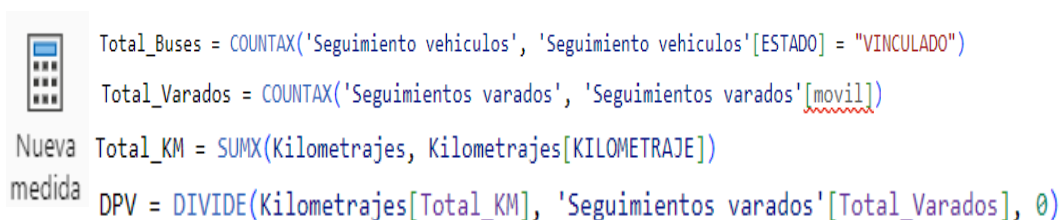
1 Calendario =
2 ADDCOLUMNS (
3     CALENDARAUTO(),
4     "Año", YEAR ( [Date] ),
5     "Mes Num", MONTH ( [Date] ),
6     "Mes",
7     VAR X =
8         FORMAT ( [Date], "mmmm" )
9     VAR Y =
10        UPPER ( LEFT ( X ) )
11    VAR Z =
12        MID ( X, 2, LEN ( X ) )
13    RETURN
14        Y & Z
15 , "Trimestre", "T"&QUARTER([Date])
16 , "Semestre", IF(MONTH([Date])<=6,"Sem 1","Sem 2")
17 , "Semana", WEEKNUM([Date],2)
18 , "Dia Mes", DAY([Date])
19 , "Dia Semana", WEEKDAY([Date],2)
20 , "Nombre Dia", FORMAT([Date],"dddd")
  
```

Date	Año	Mes Num	Mes	Trimestre
1 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
2 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
3 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
4 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
5 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
6 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
7 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
8 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
9 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
10 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
11 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
12 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
13 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1
14 de enero de 2022	2022	1	Enero	T1

Las medidas en Power BI son fórmulas DAX (Data Analysis Expressions) que se utilizan para realizar cálculos agregados o resúmenes de los datos del modelo. Estas medidas son esenciales para crear informes y análisis significativos que brinden información útil a los usuarios. Para este informe se crearon medidas personalizadas para calcular los diferentes indicadores requeridos en el análisis.

Figura 16

Creación de medidas utilizando lenguaje DAX



The image shows a screenshot of the DAX formula bar in Power BI. On the left, there is a small icon of a calculator and the text 'Nueva medida'. To the right, four DAX formulas are listed:

```
Total_Buses = COUNTAX('Seguimiento vehiculos', 'Seguimiento vehiculos'[ESTADO] = "VINCULADO")
Total_Varados = COUNTAX('Seguimientos varados', 'Seguimientos varados'[movil])
Total_KM = SUMX(Kilometrajes, Kilometrajes[KILOMETRAJE])
DPV = DIVIDE(Kilometrajes[Total_KM], 'Seguimientos varados'[Total_Varados], 0)
```

8.5 Evaluación

La evaluación del rendimiento de un modelo de datos en Power BI es un proceso crucial para garantizar que los informes funcionen de manera eficiente y brinden una experiencia óptima a los usuarios. Esta evaluación implica analizar diversos aspectos del modelo para identificar cuellos de botella, optimizar el rendimiento y garantizar una experiencia fluida en la interacción con los datos. Para este informe se evaluó el modelo utilizando las métricas de análisis disponibles en Power BI, donde se pudo verificar que los tiempos de ejecución no superaron los 884 milisegundos, siendo este un resultado óptimo.

Figura 17*Análisis de rendimiento del modelo*

Nombre	Duración (ms)
Grabación iniciada (25/06/2024 09:55:26 p.m.)	-
Cambio de segmentación	-
Segmentación de datos	884
Imagen	156
Total Varados	682
Segmentación de datos	153
Forma	152
Varados por Concesionario	869
Varados por Fecha	868
Elemento Afectado	862
Marca Chasis	868
Total_Varados por Latitud, Longitud y Ruta	853
Marca Carrocería	827

8.6 Implementación

Finalmente se realizó la implementación del tablero de control, la cual consistió en la creación de los diferentes componentes como lo son gráficos, tarjetas y filtros; conformado por un total de 3 páginas, donde se encuentra recopilada toda la información de interés para la empresa que les va a permitir realizar análisis de manera eficiente y adecuada desde lo general a lo particular de los eventos presentados en el área de mantenimiento y de esta manera poder identificar patrones o anomalías para tomar acciones oportunamente.

Enlace web del tablero de control implementado:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNWZkM2E5ZDUtODAxZC00MDc1LTg4NjAtZTkzMjdhdjdhMDI1YTU1IiwidCI6IjRmMzI2NjYwLWQ5OGItNGM1My1hOGExLTZlY2I3NmVIN2UxNiJ9>

La primera página del tablero corresponde al “Seguimiento Buses Varados” donde se puede observar de forma general la cantidad de eventos presentados a través del tiempo y su tendencia, por concesionario, elemento afectado y ubicación.

Figura 18

Seguimiento Buses Varados



La segunda página del tablero corresponde al “Indicador de distancia promedio entre varadas (DPV)” donde se puede observar el comportamiento del indicador a través del tiempo, el indicador por concesionario, sistema y componentes afectados con mayor frecuencia, cantidades por tipo de bus, tipo de combustible y el tipo de asistencia.

Figura 19

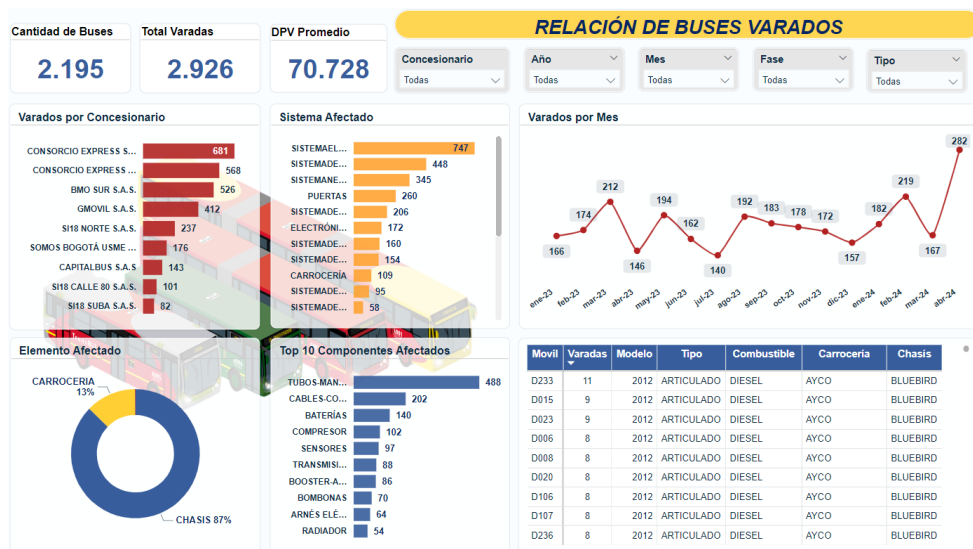
Indicador de distancia promedio entre varadas (DPV)



La tercera página del tablero corresponde a la “Relación de Buses Varados” donde se puede identificar los buses que más eventos han presentado y conocer de manera detallada las características y elementos afectados, facilitando la identificación de patrones.

Figura 20

Relación de Buses Varados



9 Discusión

Los resultados mostraron que el tablero de control mejoró significativamente la consolidación y el análisis de los datos de mantenimiento, permitiendo una visualización en tiempo real y facilitando la toma de decisiones informadas.

En comparación con estudios previos, como el trabajo de Einabadi et al. (2021) sobre la implementación de dashboards en la industria automotriz, nuestros hallazgos son consistentes en que el uso de tableros de control puede optimizar los mantenimientos y reducir tiempos de inactividad. Sin embargo, nuestro estudio se diferencia al enfocarse en el transporte público urbano, lo cual añade una nueva dimensión al uso de estas herramientas en sectores críticos de movilidad.

Las implicaciones prácticas de este estudio son claras. La implementación del tablero de control no solo mejora la gestión del mantenimiento, sino que también ofrece un modelo replicable para otras organizaciones de transporte público. Los beneficios observados incluyen una mayor eficiencia operativa, mejor calidad del servicio y una capacidad mejorada para identificar y solucionar problemas de mantenimiento rápidamente.

A pesar de estos avances, el estudio enfrenta ciertas limitaciones, como la dependencia de la calidad de los datos ingresados y la necesidad de una mayor capacitación del personal en el uso de nuevas tecnologías. Futuros estudios podrían abordar estas limitaciones explorando métodos más avanzados que permitan realizar análisis predictivos haciendo uso del machine learning.

10 Conclusiones

- Por medio de la herramienta de Microsoft Power BI se diseñó e implementó el tablero de control para la gestión del mantenimiento de la flota BRT en el sistema Transmilenio haciendo posible mejorar su control y seguimiento al consolidar los datos relacionados con las varadas, fallas técnicas, así como, las novedades diarias de la flota.
- Pese a la importancia que representa TRANSMILENIO S.A., como organización, se pudo evidenciar, que el manejo de los datos relacionados con el mantenimiento de los buses, son susceptibles de mejora, en especial, con el uso de herramientas tecnológicas y/o de vanguardia, que permita su consolidación y análisis de manera ordenada, expedita y segura.
- El análisis de los datos relacionados con el mantenimiento de los buses de manera organizada y consolidada permite profundizar en otros tipos de análisis, identificando

entre otras cosas, posibles causas o factores generadores de fallas, permitiendo así, la toma de decisiones.

- El tablero de control permite la visualización y el análisis de datos relacionados con el mantenimiento de los buses, en tiempo real, lo que pone a disposición para consulta en cualquier momento dicha información, y de manera grafica de así requerirse.
- El diseño y la implementación del tablero de control, garantiza la oportunidad, la calidad y la seguridad de los datos relacionados con el mantenimiento de la flota, por ende, de la información que se requiere para los diferentes análisis, esto permite la toma de decisiones para aplicar los planes de mejora a que haya lugar.

11 Recomendaciones

- Se recomienda al ente gestor, la implementación del tablero de control a las otras variables objeto de análisis dentro de la gestión de mantenimiento de la flota (buses alimentadores y zonales)
- Se recomienda, la pertinente socialización al interior de la DTBRT, sobre las bondades de la aplicación del tablero de control (aprendizaje)
- Se recomienda, la socialización sobre el cambio o migración hacia la nueva metodología (gestión del cambio)
- Se recomienda la exploración en nuevos campos de análisis de datos, para el procesamiento de la información fruto del control al mantenimiento de los buses (BI, IA, Big Data, Otros)

12 Referencias

Aguilar, L. (2019). Inteligencia de negocios y analítica de datos.

https://books.google.com.co/books?id=ifR5EAAQBAJ&pg=PA80&dq=analisis+descriptivo+diagnostico+predictivo+y+prescriptivo&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwi1p63uk_n5AhUyQzABHVWXBpUQ6AF6BAgLEAI#v=onep

Arulraj, M., Kalaivani, K., & Ulagapriya, K. (2019). FMS dashboard - Descriptive analytics and preventive maintenance. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 5280–5284. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C5918.098319>

Bach, B., Freeman, E., Abdul-Rahman, A., Turkay, C., Khan, S., Fan, Y., & Chen, M. (2022). Dashboard design patterns. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 29(1), 342-352.

Bnouachir, H., Chergui, M., Zegrari, M., Chakir, A., Deshayes, L., & Medromi, H. (2022). Smart Fleet Management System Based on Multi-agent Systems: Mining Context (pp. 748–761). https://doi.org/10.1007/978-3-030-90639-9_62

Calado, M. T., De, T., & Figueiredo, C. (2020). Design and Implementation of Fleet Management Control and Performance Measurement System.

Carrillo, J. (2018). Big Data - Analítica del aprendizaje y minería de datos aplicados en la Universidad . Obtenido de Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación: <https://scholar.archive.org/work/jutj4ayekbhxnflaszvb3iufm/access/wayback/http://www.journalprosciences.com:80/index.php/ps/article/download/56/260>

Catucuamba, B. (2019). Inteligencia de Negocios y Analítica de Datos, una Propuesta de Mejora. Obtenido de Universidad Central de Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19365>

- Einabadi, B., Mohammad-Amini, M., Baboli, A., & Rother, E. (2021). Dashboard proposition for health monitoring of production system in the automotive industry. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.091>
- Forero, D., & Sanchez, J. (2021). Introducción a la Inteligencia de Negocios Basada en la Metodología KIMBALL. Obtenido de Revista Technol.Investig. Academia TIA: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/18082>
- Gelmini, S., Centurioni, M., Pivaro, N., Strada, S., Tanelli, M., & Savaresi, S. (2020). Vehicle vertical wearing index (v2 wi): active monitoring of wearing and aging of vertical-dynamics components in four-wheeled vehicles.. <https://doi.org/10.1109/itsc45102.2020.9294331>
- González, C., & Torres, M. (2018). Implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real para el control de mantenimiento de flotas de transporte público masivo. *Investigación y Desarrollo Tecnológico*, 12(2), 67-81.
- Khalid, A. S., Hassan, N. H., Razak, N. A. A. B., & Baharuden, A. F. (2020). Business Intelligence Dashboard for Driver Performance in Fleet Management. *ACM International Conference Proceeding Series*, 347–351. <https://doi.org/10.1145/3377571.3377642>
- Khan, B., Jan, S., Khan, W., & Chughtai, M. I. (2024). An Overview of ETL Techniques, Tools, Processes and Evaluations in Data Warehousing. *Journal on Big Data*, 6.
- Kumar, P., Sivasubramaniya, S., & Kavita, D. (2019). Data Warehouse Concept and Its Usage. <https://www.researchgate.net/publication/350545207>
- López, J. M., & Gómez, A. (2019). Aplicación de técnicas de análisis de datos en el control de mantenimiento de flotas de transporte público. *Revista de Ingeniería*, 31(2), 45-58.

- Martínez, R., & Ramírez, E. (2020). Análisis predictivo para la optimización del mantenimiento en sistemas BRT: Caso de estudio TransMilenio. *Revista de Investigación en Transporte y Logística*, 15(1), 78-92.
- Portilla Morales, V. (2021). Diseño, creación e implementación de un Dashboard. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Rivera, F. (2018). Aplicación de Business Intelligence en una pequeña empresa mediante el uso de Power BI. Obtenido de Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/32877>
- Rodríguez, P., & Pérez, L. (2017). Estrategias de mantenimiento predictivo para la mejora del servicio en sistemas BRT: Estudio de caso TransMilenio. *Revista de Gestión de Transporte*, 25(3), 112-125.
- Rögnvaldsson, T., Nowaczyk, S., Byttner, S., Prytz, R., & Svensson, M. (2018). Self-monitoring for maintenance of vehicle fleets. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 32(2), 344–384. <https://doi.org/10.1007/s10618-017-0538-6>
- Sánchez, F., & García, A. (2016). Análisis de datos aplicado al mantenimiento preventivo de vehículos BRT: Experiencias y lecciones aprendidas en sistemas de transporte urbano. *Revista de Ingeniería de Transporte*, 20(1), 34-47.
- Velu, A. (2021). Influence of business intelligence and analytics on business value. *International Engineering Journal For Research & Development*, 6(1), 9-19.
- Wang, Y., Limmer, S., Olhofer, M., Emmerich, M., & Baeck, T. (2021). Automatic preference based multi-objective evolutionary algorithm on vehicle fleet maintenance scheduling optimization.. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2101.09556>

13 Anexos

Acta de reunión con el personal de mantenimiento Transmilenio

ACTA DE REUNIÓN Y/O COMITÉ		
ASUNTO O TEMA: MESA DE MANTENIMIENTO GENERAL		
Reunión: Interna ☐ Externa ☒	Fecha: 27/05/2023	Hora inicio: 08:00 Fin: 10:00
Lugar: AUDITORIO PATIO AMÉRICAS		Lista de Asistencia (Formato R-OP-006)

1. Temas tratados

Se realiza la presentación explicando la agenda a desarrollar durante la mesa para los dos tipos de tipologías Troncal y alimentación, asimismo se relaciona al personal que va a llevar el seguimiento a las capacitaciones en los diferentes patios del sistema, de esta manera se abarcan los siguientes puntos para la gestión de mantenimiento:

a) Resultados y cifras (Troncal y alimentación).

i. DPV a nivel de sistema.

- Se inicia la presentación instruyendo la gráfica del histórico del DPV Troncal en donde se evidencia que se encuentra con una tendencia a la baja con un promedio a nivel del sistema de un 65.680 Km de DPV; Del mismo modo, se indica la gráfica del histórico del DPV general de alimentación en donde se refleja una tendencia ascendente con un promedio a nivel del sistema de un 31.942 Km de DPV, dichos límites se encuentran por encima del mínimo requerido y son el resultado para el mes de abril.

ii. Ponderación del DPV

- Se ilustra la ponderación del DPV al cierre del mes de abril de los concesionarios del componente troncal en donde se exhibe que el concesionario que mejor aporte al indicador del DPV es el concesionario de Si18Suba con 177.064 Km, por otro lado, el concesionario que menos aporte al indicador es el concesionario Gmóvil con 36.092 Km.
- De la misma manera, para el componente de alimentación la ponderación del DPV al cierre del mes de abril se exterioriza que el concesionario que mejor aporte al indicador del DPV es el concesionario de Gran Américas Fontibón I con 251.503 Km, por otro lado, el concesionario que menos aporte al indicador es el concesionario Suma con 10.643 Km.

iii. Disponibilidad nivel de sistema.

- Este indicador se mide de manera mensual en días hábiles, en donde al analizar la totalidad del sistema por semana para la flota articulada, se encuentra cumpliendo con la disponibilidad al encontrarse por encima de la flota

1. Temas tratados
programada, obteniendo un promedio de 100 vehículos disponibles en las últimas semanas. • Asimismo, para la flota dual, hubo seis (6) semana en el año 2022 que no cumplió con la disponibilidad al estar por debajo de la flota programada; sin embargo, en las últimas semanas se encuentra cumpliendo con la disponibilidad al encontrarse por encima de la flota programada, obteniendo un promedio de 7 vehículos disponibles. • Para el componente de alimentación, se encuentra cumpliendo con la disponibilidad al encontrarse por encima de la flota programada, obteniendo un promedio de 17 vehículos disponibles en las últimas semanas; sin embargo, en el gráfico se evidencia que la disponibilidad se encuentra muy al límite de la flota programada. b) Talleres y lugares de mantenimiento • Dentro de la supervisión de los contratos se deben realizar seguimiento a los talleres, servitecas, estaciones de servicios, centros de diagnóstico, entre otros, que el concesionario posee para la ejecución de sus respectivos mantenimientos, de esta manera se resalta los párrafos relacionados en los contratos de fase III referente al tema nombrado, así se indica que fue enviado una comunicación a cada uno de los concesionarios en donde deben relacionar toda la información. c) Planes de capacitaciones de técnicos y operadores • De la misma forma, se relacionan las cláusulas referentes a las capacitaciones en donde se indica que se va a continuar con la auditoria de capacitaciones a los conductores donde el manual especifica las horas y módulos que deben tener cada operador para su vinculación y contrato; del mismo modo, se presentó al personal que estará acompañando en algunas capacitaciones dentro de los patios, así como de conocer el esquema de capacitaciones de los técnicos de mantenimiento que conservan en los patios. d) Seguimiento proceso de fumigación • Se ilustra la periodicidad mínima de los distintos procedimientos de lavado, desmanche, fumigación y brillo de pintura en donde se resalta cada una de las actividades; sin embargo, se han evidenciado el aumento de plagas en la flota por lo que se solicita a los concesionarios revisar el producto y las intervenciones de fumigación. • Asimismo, los concesionarios resaltan que hay productos en que las plagas se han vuelto inmunes, como también el aumento de residuos de comida debido que se ha permitido la venta de comestibles dentro de los portales y el desaseo

1. Temas tratados
de usuarios en donde se ha evidencia residuos de orina en zonas de articulación. e) Vehículos de asistencia - Se han evidenciado vehículos de proveedores con logos de Transmilenio o sin autorización, al igual que carro talleres con personal no apta para desvarar un vehículo en el punto, así se resalta que se han dictado capacitaciones a los proveedores de grúas y operadores de carro talleres para el uso del exclusivo, por lo que vehículos que no se encuentran autorizados no deben tomar el carril. - Asimismo, se realiza la invitación a los concesionarios que esta abierto a realizar la autorización de proveedores de grúa que cumplan con las especificaciones que Transmilenio solicite, del mismo modo se les informa que se encuentran en construcción unos protocolos de uso de las troncales y vehículos de asistencia, que se les dará alcance tan pronto sea finalizado. f) Seguimiento a procesos de mantenimiento - Para el análisis de información a los concesionarios se les relaciono unas tablas que serán solicitadas en los siguientes días, en donde relacionen información sobre los mantenimientos preventivos como son los programados y ejecutados. Así se relaciona al ingeniero quien va a estar a cargo del seguimiento a la gestión de mantenimiento y se resalta la entrega de la información por el acuerdo de confiabilidad.
i. Decisiones tomadas