

Primera Línea del Metro de Bogotá. Indicadores de operación y mantenimiento

Jairo Alberto Espejo Molano

M.Sc. en Construcción, operación y mantenimiento de metros y ferrocarriles urbanos. Eadic

M.Sc. en Infraestructura vial. Universidad de los Andes

Ing Civil. Universidad Nacional de Colombia

Email: jespejo@uniandes.edu.co

Bogotá - Colombia

Resumen

La Primera Línea del Metro de Bogotá, PLMB, se constituye en un gran desafío para la ciudad de Bogotá, contribuirá a la renovación urbana y a la mejora en el mediano y largo plazo de la movilidad de la ciudad.

Este tipo de proyectos son complejos desde el punto de vista de su concepción, maduración, estructuración, planeación, licitación y adjudicación, en su desarrollo en las disciplinas: técnico, social, ambiental, predial, presupuesto, cronograma, financiamiento, riesgos y contractual.

Este documento es un resumen de la tesis de grado del autor de su Master en diseño, construcción y mantenimiento de metros y ferrocarriles urbanos.

Se considera que el proyecto de la PLMB es la “semilla” para insertar el concepto de gestión de activos en los proyectos estatales y privados a lo largo de su ciclo de vida para los sistemas férreos que desarrolla e implementara Colombia.

Analiza e invita a tener en cuenta el vínculo armónico que debe existir entre las fases de diseño y construcción con las fases de operación y mantenimiento, desde su concepción, con la introducción de indicadores de desempeño, KPIs.

1. Introducción

Dada la complejidad técnica, ambiental, social, económica, financiera, jurídica y contractual de un proyecto férreo urbano, se hace necesario vincular de manera estrecha y armónica las fases de diseño y construcción con las fases de operación y el mantenimiento, en lo que hace referencia a los indicadores de desempeño contractuales incluidos en el contrato de concesión de la primera línea del metro de Bogotá.

Las inversiones en Capex y Opex deben garantizar un óptimo equilibrio técnico-económico, en especial en los contratos de concesión, que es la modalidad administrativa con la cual se está desarrollando la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB).

Los indicadores ferroviarios son una herramienta utilizada dentro de la práctica moderna de la gestión de activos que permiten por un lado medir la eficiencia de un determinado proyecto y por otro lado vincularlos con procesos de planeación estratégica, en este caso al vínculo que debe existir entre el diseño y los indicadores operacionales y de mantenimiento.

La filosofía y las practicas modernas de gestión de activos que debe guiar el trabajo de diseño de los grupo de obra civil y de los sistemas férreos no deben divorciarse con los estándares y umbrales en los indicadores contractuales que tienen que gestionar los grupos de operación y mantenimiento, los equipos de diseño y

construcción deben enfocar todo su esfuerzo para lograr el mejor diseño, las mejores prácticas de construcción, que llevaran a afianzar su óptimo desempeño y debe garantizar el cumplimiento de los indicadores de operación y mantenimiento.

2. Primera línea del metro de Bogotá, PLMB

La Empresa Metro de Bogotá (EMB) de la Ciudad de Bogotá, adjudicó un contrato de concesión para llevar a cabo todas las actividades necesarias para la realización ; Estudios y Diseños de Detalle Principales y Otros Estudios y Diseños de Detalle; Ejecución de las Obras de Construcción; Obras de la Fase Previa; Obras de Edificaciones; Obras para Redes a Cargo del Concesionario; Obras de Adecuación y Reparación de Desvíos; Obras para Intersecciones Especiales; la Operación y el Mantenimiento del Proyecto; la Gestión Social y Ambiental; la Reversión Parcial y la reversión de la infraestructura correspondiente a la PLMB.

Así como la Financiación; Diseño; Instalación; Suministro; Pruebas individuales y de conjunto; Certificaciones; Puesta en marcha; Operación; Reposición; Mantenimiento y Reversión del Material Rodante y de los Sistemas Metro Ferroviarios y la prestación del servicio público de transporte férreo de pasajeros en Bogotá, a través de la PLMB.

A enero del año de 2025 el proyecto avanza en su fase de construcción.

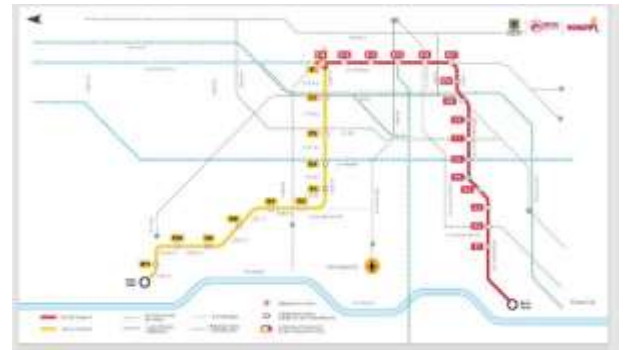


Fig. 1 Proyección líneas 1 y 2 del Metro de Bogotá. Empresa metro de Bogotá. 2019

En la figura 1 se aprecian en rojo la primera línea en construcción y en amarillo la segunda línea, en proceso de licitación. La PMLB es una línea elevada que se extiende desde la parte suroccidental de la ciudad, siguiendo un recorrido de occidente a oriente, dando un giro de sur a norte terminar al norte, a la altura de calle 72, donde se integra con la futura segunda línea.

Sus principales características se muestran en la Figura 2, donde se destacan en la parte de la izquierda la componente física, integración, operación automática de trenes y el suministro de energía que es eléctrico por medio de un tercer carril. A la derecha la capacidad operativa, frecuencias de paso de tren y sus velocidades de operación y comercial.



Fig. 2 Características principales Primera Línea Metro de Bogotá. Empresa metro de Bogotá. 2019

3. Contexto internacional

El ecosistema férreo mundial ha estudiado e incorporado como buenas prácticas en los proyectos indicadores clave de desempeño, KPIs. En este documento se incluyen tres breves resúmenes de trabajos realizados por la academia europea y dos gremios uno de Europa y otro de México.

3.1 Performance indicators of railway infrastructure, de los profesores C. Stenstrom, A Parida y D Galar, de la Universidad de Lulea en Suecia 2012/2014.

Indican que en Suecia y en Europa ha venido creciendo el tráfico férreo, debido a que una parte del tráfico por carretera está migrando al modo férreo tanto en mercancías como en pasajeros por el uso cada vez más intensivo en energías limpias.

Consideran que este aumento de capacidad férrea requiere de importantes inversiones y que para administrar los activos férreos, tanto de los resultados de los trabajos de operación y mantenimiento, deben ser medidos y monitoreados, así mismo indican que para ayudar a los administradores en su toma de decisiones se debe contar con unos indicadores de desempeño. Postulan unos indicadores que han sido armonizados con indicadores de estándares europeos.

Las directrices para la gestión de activos férreos, se pueden encontrar en un trabajo de la Unión Internacional de Ferrocarriles, UIC, como un procedimiento basado en normas y manuales como lo son la norma de gestión de activos, PAS 55 de la Gran Bretaña, el manual de gestión de infraestructura internacional, IIMM del grupo directivo de la gestión de activos de Nueva Zelanda y manual de la gestión de activos de la agencia de carreteras de EEUU, FHWA 2007.

El documento también ofrece información sobre la batería de indicadores que se recomiendan deben implementar los operadores a los activos férreos tanto para la infraestructura como para el material rodante, lo cual se puede observar en la figura 3, para lo cual los indicadores gerenciales, en la mayoría de los casos están estrechamente relacionados con los conceptos RAM (*Reliability, Availability and Maintainability*) y basados en varias investigaciones sobre fallos y retrasos que se presentan en los sistemas férreos, este concepto se puede ilustrar en la siguiente imagen



Fig. 3 Estructura de los Indicadores de desempeño de la Infraestructura de Ferrocarriles. Tomada del documento Performance indicators of railway infrastructure

En la figura 3, se indican dos grandes grupos de indicadores: los gerenciales y los indicadores de condición. Los primeros se dividen en técnicos, organizacionales, económicos y de seguridad, salud y medio ambiente. Los segundos hacen referencia a la infraestructura en los temas de sub y superestructura, talleres férreos, electrificación, señalización y tecnología de la información y las comunicaciones, que suman 133 indicadores, 56 gerenciales y 67 corresponden a la infraestructura

Así mismo informan que en investigaciones históricas han encontrado que la infraestructura y los operadores del sistema férreo son responsables entre un 20%-30% y 30% -40% de los retrasos operativos, como también otras investigaciones que el material rodante

contribuye con un retardo operacional entre 10% y 20% de los eventos férreos.

Finalmente concluyen que este trabajo se ha centrado en la vía férrea y que sería interesante ampliarlo a otros activos de infraestructura y material rodante.

3.2 Sistema nacional de indicadores ferroviarios de México. 2020

La Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario, ARTF de México, elabora, registra y publica las estadísticas de los indicadores ferroviarios, en el documento los actualiza basados en las investigaciones sobre la literatura técnica y científica sobre los estándares internacionales que se desarrollan en la actualidad y los clasifica en tres grupos principales: técnicos, económicos y seguridad, salud y medio ambiente, que representan 34 indicadores de desempeño, como se observa en la figura 4.



Fig. 5 Subgrupos que componen cada uno de los tres grupos principales de indicadores que componen el SNIF 2020

Fig 4. Subgrupos de indicadores del Sistema Nacional de Indicadores Ferroviarios (SNIF) 2020. Fuente Sistema nacional de indicadores ferroviarios de México. 2020

Los sub - indicadores que se muestran en color carmelito, tiene por objetivo contar con la

información técnica que permita valorar la capacidad del servicio presentado y su rendimiento, se apalancan en dos de la metodología RAM, la fiabilidad y la mantenibilidad y de otro la capacidad para medir el balanceo oferta vs demanda con el fin de optimizar el uso de la red férrea, a manera de ejemplo en la siguiente imagen se ilustra el tablero de los cinco indicadores de fiabilidad que seleccionaron, allí se aprecia el indicador, la fuente, el lugar de aplicación y el objetivo.

En cuanto a los indicadores económicos, que se señalan en verde en la figura 4 están orientados a contar con aquella información que permita medir la eficiencia del sistema férreo de México, se presenta a manera de ejemplo el subíndice de eficiencia y productividad.

Para los indicadores del grupo de salud, seguridad y ambiente tiene por objetivo contar con información que permita prevenir y controlar los riesgos asociados con la seguridad operativa del sistema férreo, salud trabajadores férreos y valorar el impacto ambiental que produce la industria férrea. También, como se hizo con los anteriores indicadores, se presenta un ejemplo de los sub - indicadores de seguridad ferroviaria.

Finalmente se destaca de este reporte una comparación entre algunos indicadores de rendimiento de las redes férreas de México y EEUU.

4. Contexto Nacional

4.1 Indicadores claves de desempeño para el sistema ferroviario: El caso Colombiano. 2015

Un trabajo bien interesante realizado a cuatro manos por los investigadores Martin Darío Arango Serna, Carlos Eduardo Díaz Bohórquez, Javier Eduardo Arias Osorio y Henry Lamos

Díaz. Han desarrollado una metodología que cuenta con tres pasos: revisión de la literatura de los KPIs utilizados para los distintos modos de transporte aéreo, portuario fluvial, etc., en segundo lugar la diagnosis del sistema férreo Colombiano y por último se construyen y proponen los KPIs para el modo férreo.

KPI				
EFICIENCIA	CALIDAD DEL SERVICIO	INFRAESTRUCTURA	ASPECTOS SOCIALES	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL
Costo absoluto	Tiempo de transporte	Congestión	Densidad de población	Gases efecto invernadero
Costo relativo	Aplicaciones de TIC	Cuellos de botella	Uso del terreno el corredor	
	Frecuencia del servicio	Centros de distribución almacenamiento	/ Seguridad	
	Seguridad de la carga	Puntos de cambio intermodal		
	Seguridad del corredor			

Fig. 5 Propuesta de Indicadores de desempeño KPI. Elaboración propia a partir de Indicadores claves de desempeño para el sistema ferroviario: El caso Colombiano. 2015

El grupo investigador propone cinco grupos principales de indicadores concebidos para transporte de carga e incluyen quince KPIs. El documento destaca que este es un primer esfuerzo y contribución para medir el desempeño del sistema férreo de Colombia.

5. KPIs PLMB

El contrato de concesión incluye el cumplimiento contractual por parte del concesionario de unos indicadores de operación y mantenimiento.

En dicho contrato se establece una metodología trimestral para su valoración. En el Apéndice técnico No 11, se incluyen los indicadores de la primera línea del metro de Bogotá, que deben gestionarse y medirse durante la fase de operación y mantenimiento.

La metodología consiste en una calificación sobre 100 puntos, distribuidos en cuatro

componentes, la operación y mantenimiento tiene una valoración de 88/100 puntos. El mayor puntaje corresponde a la disponibilidad técnica del sistema integral con 34/100 puntos, seguido por el intervalo diario de operaciones (15/100) y penalización situaciones de emergencia (10/100).

Tabla 1. Tablero de indicadores PLMB. Elaboración propia a partir del AT 11 de la PLMB.

TABLERO DE INDICADORES PLMB			
DESCRIPCION		CALIFICACION	
1 OPERACIÓN			54
1,1 Intervalo diario de operación		15	
1,2 Penalización perturbaciones menores		5	
1,3 Penalización perturbaciones mayores		7	
1,4 Penalización situaciones de emergencia		10	
1,5 Cumplimiento programa lavado trenes y estaciones		3	
1,6 Encuestas satisfacción de usuarios		2	
1,7 Calidad infomracion dinamico pasajeros modos normal y degradado		3	
1,8 Calidad a las respuestas de los pasajeros		2	
1,9 Calidad de la seguridad fisica		3	
1,10 Indice de seguridad fisica		4	
2 MANTENIMIENTO			
2,1 Disponibilidad tecnica del sistema integral		34	
3 MANTENIMIENTO ESTACIONES TRANSMILENIO			
3,1 Cumplimiento del mantenimiento estaciones (13)		6	
4 MANTENIMIENTO INFRAESTRUCTURA NO FERROVIARIA			
4,1 Cumplimiento del mantenimiento		6	
TOTAL			100

5.1 Disponibilidad técnica del sistema integral. Dgtst

Para calcular la Disponibilidad Global Técnica del Sistema de Transporte (Dgtst) se puede utilizar la siguiente formula.

$$Dgtst = \prod_{i=1}^n Dtsti \quad (1)$$

Donde Dtsti es la disponibilidad técnica de los sub sistemas de transporte i. El proyecto ha definido 9 sub sistemas que se aprecian en la imagen 8 en la zona de la izquierda

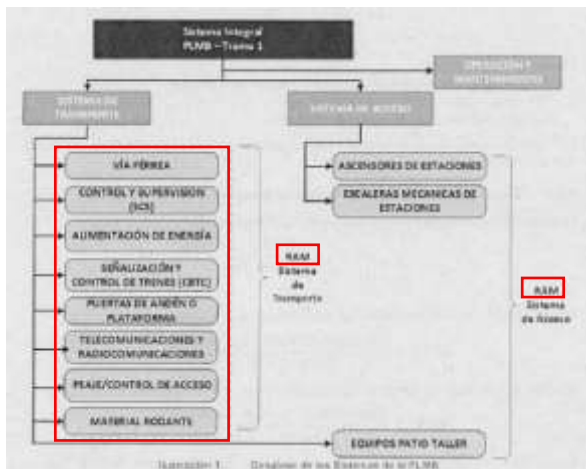


Fig 6. Sub sistemas del Sistema Integral de la PLMB.
 Fuente: tomado AT 11 PLM. RAM (Reliability, Availability and Maintainability)

El análisis RAM en concordancia con la norma EN 50126 busca asegurar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de cada uno de los sub sistemas indicados.

6. Conclusiones y recomendaciones

El ecosistema férreo mundial ha venido estudiando e incorporando indicadores de desempeño; KPIs, que vale la pena analizar e ir incorporando en Colombia para los proyectos en desarrollo y los que están en fases de planeación y estudios de pre inversión.

Colombia tiene interés es rescatar su sistema férreo, ha comenzado este camino con la planeación, el diseño y la construcción de sistemas férreos de pasajeros en las ciudades de Bogotá y la ampliación del sistema metro en la ciudad de Medellín.

El costo de la PLMB es de cerca de US\$3.500 millones de dólares, cifra que incluye las inversiones en Capex y Opex. Esfuerzo financiero que debe hacer el país y la ciudad, por lo que no es suficiente invertir, es necesario invertir bien, para ello se considera que desde la planeación, los estudios y diseños se deben contar con las mejores prácticas de Gestión de

activos con la incorporación del concepto de ingeniería de la confiabilidad, con la implementación y desarrollo de metodologías tipo RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Security*).

En el modelo de concesión de la PLMB, en las fases de operación y mantenimiento se incluyen indicadores contractuales que valoran la eficiencia del sistema metro y motivan a que los operadores y mantenedores cuenten con las mejores herramientas de gestión. Estos KPIs, (*Key Performance Index*) incluyen umbrales de aceptación o rechazo, caso ultimo incluyen penalidades en dinero

La PLMB cuenta con un tablero contractual de 13 indicadores, 10 para la parte operacional y tres para la parte de mantenimiento, estos deben ser valorados por una supervisión cada tres meses y tienen atado la liberación de los pagos o las penalidades o descuentos monetarios, por ello es importante que exista un vínculo entre los estudios y diseños y las fases de operación y mantenimiento. La gestión gerencial debe entre otras temas enfocar el aseguramiento cumplimiento de los indicadores de operación y mantenimiento, desde la etapa de planificación y diseño.

Los diseños se hacen para una vida útil, para garantizar los objetivos RAMS deben en su desarrollo monitorear su comportamiento, de allí nacen los conceptos de indicadores, que se usan en unos casos como indicadores contractuales de aceptación y rechazo y en otros casos para asegurar la gestión del activo, “hacer más con menos”, estos también sirven como herramientas de control de gestión integral del activo férreo.

La PLMB deberá diseñar indicadores específicos del tipo no contractuales para todos

los subsistemas mencionados es este documento.

Referencias

[1] Jairo Espejo Molano. Diseño e indicadores de operación y mantenimiento Primera Línea del metro de Bogotá – Colombia. Tesis de maestría. Bogotá. Eadic. Enero de 2023.

[2] Empresa Metro de Bogotá. Especificaciones técnicas de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad, Primera Línea del Metro de Bogotá. Apéndice técnico 9, RAMS. 2019

[3] Empresa Metro de Bogotá. Primera Línea del Metro de Bogotá. Apéndice técnico 10, especificaciones técnicas de operación y mantenimiento. 2019

[4] Empresa Metro de Bogotá. Indicadores de operación y mantenimiento - Primera Línea del Metro de Bogotá. Apéndice técnico 11. 2019

[5] C. Stenstrom, A Parida y D Galar. Performance indicators of railway infrastructure, Universidad de Lulea, Suecia 2012/2014

[6] Guidelines for the application of asset management in railway infrastructure organisations. UIC

[7] Sistema nacional de indicadores ferroviarios 2020. Secretaria de comunicaciones y agencia reguladora del transporte ferroviario. México

[8] Luis Amendola. Gestión de activos desde la etapa del diseño. Dirección y gestión de proyectos, 4ª edición, 2021. PMM learning.

Resumen CV

Jairo Espejo Molano. Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, con Master of.Science, en Infraestructura vial de la Universidad de los Andes y Master of.Science en Construcción, operación y mantenimiento de metros y ferrocarriles urbanos. Eadic;

Información de contacto.

Nombre del autor: Jairo Espejo Molano

Celular: 3138171436

Dirección: H Fontanar, Aliso

Email: jespejo@uniandes.edu.co

Ciudad: Chía – Cundinamarca

País: Colombia

