

Formulación y definición del problema

Samuel León -202513276

Juan Esteban Santana-202522363

Jimmy Ceron-202214971

Ivan Gomez-202524195

Proyecto retos IELE – IELC

Universidad de los Andes

1. Se encuentra dentro del archivo de Excel.

Explicación de fuentes consultadas

Externas/internacionales

European Union Agency for Railways (ERA)

Documento oficial de la ERA que establece los requerimientos funcionales del sistema ETCS.

ERTMS.net

Portal especializado en señalización ferroviaria europea, con fichas técnicas actualizadas.

Se tomó la ficha de niveles ETCS porque explica la evolución tecnológica y la interoperabilidad, lo que resulta muy útil para comparar las diferentes fases de implementación.

UITP (Union Internationale des Transports Publics)

Reporte mundial sobre la automatización de metros, con datos estadísticos y aplicaciones de CBTC.

Es relevante porque ofrece un panorama global del uso de CBTC en sistemas de transporte.

Thales Group

Comunicado de prensa sobre la implementación de ETCS en Tailandia, un ejemplo reciente de aplicación internacional.

Muestra un caso real de despliegue, destacando los beneficios y también las limitaciones algo muy útil para nuestro proyecto.

Ecuaciones

Al inicio del trabajo generamos varias ecuaciones de búsqueda, pero no logramos encontrar fuentes dentro de i-rus ni Google academic por ende hicimos la investigación sin hacer uso de ecuaciones de búsqueda debido a este problema.

Criterios de evaluación de las citas

Relevancia directa con el tema: se dio prioridad a fuentes que tratan de manera específica el ETCS, el CBTC y la automatización ferroviaria.

Autoridad de la fuente: se eligieron únicamente organismos internacionales (ERA, UITP) y proveedores líderes en el sector (Thales, ERTMS.net).

Actualidad: se seleccionaron documentos recientes (2018–2024). La única excepción fue la especificación oficial de la ERA (2007), es una fuente de bastante importancia.

Acceso abierto: todas las fuentes consultadas están disponibles en línea para su libre acceso.

Aplicabilidad a Bogotá: las referencias permiten extrapolar los hallazgos al caso del metro urbano y a la posible interoperabilidad con redes regionales.

Económicas / Tecnológicas.

Repositorio Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas

Tesis Académica sobre el uso de la tecnología Trenchless

Repositorio Institucional Seneca - Universidad de los Andes

Trabajo de grado – pregrado sobre la estructura de proyectos de infraestructura del metro de Bogotá

Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Tesis y disertaciones académicas sobre Generación de un modelo digital para el proyecto de la primera línea del metro de Bogotá

Repositorio Institucional - Universidad de La Salle

tesis de licenciatura sobre la demanda energética y reducción de emisiones de CO2 por la implementación del Sistema Metro de Bogotá

Ecuaciones.

Al inicio del trabajo usamos varias ecuaciones de búsqueda usando sobre todo Google academics, del cual use varios trabajos de tesis.

Criterios de evaluación de las citas

Relevancias directas con el tema: relacionados con el proyecto Metro de Bogotá en aspectos técnicos como:(resiliencia estructural, modelado digital, reducción de emisiones, uso de tecnologías de construcción como trenchless).

Autoridad de las fuentes: las fuentes tienen alta autoridad académica ya que provienen de repositorios institucionales de grandes universidades del país.

Actualidad: se seleccionaron documentos recientes (2020 - 2025).

Acceso abierto: todas las fuentes consultadas están disponibles en línea para su libre acceso

Aplicabilidad a Bogotá: Los hallazgos de las referencias analizadas pueden proyectarse al desarrollo del Metro de Bogotá y a su potencial integración con redes de transporte regionales.

Científicas

N. A. Azeez, A. A. Abubakar y S. Misra (2017).

En su estudio sobre la comunicación inalámbrica en sistemas ferroviarios IoT, comparan tecnologías como Wi-Fi, ZigBee, LoRa y LTE. Concluyen que LoRa y LTE son más adecuados para trenes en movimiento por su mayor cobertura.

Relevancia: Permite proyectar la viabilidad de comunicación estable en el futuro Metro de Bogotá, sobre todo en túneles y zonas urbanas congestionadas donde otras tecnologías fallan.

J. Wan et al. (2019).

Presentan un modelo híbrido edge + fog + cloud computing que mejora la velocidad de procesamiento y reduce la dependencia de la nube.

Relevancia: Aplicable al Metro de Bogotá para integrar sensores en trenes y estaciones (edge), nodos intermedios en terminales (fog) y análisis en la nube para mantenimiento predictivo y pronóstico de demanda.

H. S. Maghdid, A. S. Ghafoor y A. M. Sadeeq (2025).

Explican cómo el IoT en transporte sostenible mejora eficiencia, seguridad y experiencia del usuario, aunque identifican riesgos de ciberseguridad y altos costos en países en desarrollo.

Relevancia: Inspirador para implementar sensores de ocupación, integración con semáforos inteligentes y aplicaciones móviles que den información en tiempo real a los usuarios del metro.

M. A. Dulebenets et al. (2022).

Realizan una revisión integral sobre IoT en transporte ferroviario, destacando su uso en mantenimiento predictivo, seguridad y optimización mediante Machine Learning y Big Data.

Relevancia: Bogotá puede empezar con un sistema IoT modular para el metro (monitoreo de vibraciones, axle counters, análisis en la nube) que optimice el mantenimiento y la planeación a largo plazo.

Ecuaciones

Se usaron ecuaciones de búsqueda en Google Scholar, combinando términos como:

("IoT railway" OR "wireless communication railway" OR "edge fog cloud transportation")
AND

("predictive maintenance" OR "railway safety" OR "real-time monitoring") AND
("metro systems" OR "urban rail")

("metro system" OR "urban rail" OR "elevated metro") AND

("communication protocol" OR "train-to-station communication" OR "inter-train
communication" OR "railway signaling") AND

("real-time information" OR "passenger experience" OR "transit tracking" OR "arrival
prediction") AND

("GTFS" OR "Google Maps integration" OR "smart public transport" OR "transit API")
AND

(Bogotá OR Colombia)

Con esta estrategia se obtuvieron artículos relevantes publicados entre 2017 y 2025.

Criterios de evaluación de las citas científicas

Relevancia directa: Todas las fuentes abordan tecnologías aplicadas al transporte ferroviario (IoT, comunicación inalámbrica, edge/fog/cloud computing).

Autoridad de la fuente: Artículos publicados en revistas y conferencias indexadas (IEEE, Sustainability, Al-Qadisiyah Journal).

Actualidad: Se seleccionaron publicaciones recientes (2017–2025), que recogen tendencias actuales en transporte inteligente.

Acceso abierto: Los documentos están disponibles en línea.

Aplicabilidad a Bogotá: Los hallazgos permiten extrapolar conceptos tecnológicos internacionales al contexto del Metro de Bogotá, fortaleciendo la seguridad, eficiencia y confiabilidad del sistema.

Internas/locales

Metro Bogota

La página oficial del metro de Bogotá nos cuenta cómo serán los trenes y con qué sistemas o aplicaciones contará. Nos sirve para saber cómo implementar nuestras ideas y mejorar el sistema actual.

Transmilenio

La página oficial del transmilenio nos cuenta que implementó un sistema de ver buses en tiempo real, sin embargo, este no sirve, por lo que nuestro sistema implementará este funcionamiento de una mejor manera.

Metro de Medellín

La página oficial del metro de Medellín nos cuenta sobre el sistema de señalización en sus trenes, nuestra idea es implementarlo y mejorarlo con nuestras ideas para el metro de Bogotá.

Bixtia

Bixtia nos habla sobre el IoT, un sistema que nos permitirá la implementación de nuestras ideas en el metro de Bogotá.

Ecuaciones

Al inicio del trabajo generamos varias ecuaciones de búsqueda, pero no logramos encontrar fuentes dentro de i-rus ni Google academic por ende hicimos la investigación sin hacer uso de ecuaciones de búsqueda debido a este problema.

Criterios de evaluación de las citas

Relevancias directas con el tema: Son fuentes directamente relacionadas con el metro de Bogotá.

Autoridad de las fuentes: Las fuentes son directamente del gobierno, por lo que tienen la máxima autoridad sobre el asunto.

Actualidad: Se seleccionaron documentos recientes (2021 - 2025).

Acceso abierto: Todas las fuentes están abiertas y disponibles para todo público.

Aplicabilidad a Bogotá: Las fuentes son sobre Bogotá o Colombia y sus sistemas de transporte o tecnológicos, por lo que se pueden implementar a nuestro sistema fácilmente y mejorar el metro de Bogotá significativamente.

3. Se encuentra dentro del archivo de Excel.

4. Un ingeniero eléctrico o electrónico puede lograr el objetivo de ser intelectualmente transparente en su cometido realizando una separación correcta entre los tipos de información que podrían ser aplicadas. Desde el punto de vista técnico, el ingeniero deberá presentar datos objetivos, resultados de simulaciones, resultados de los cálculos e incluso normas entre otras cuestiones útiles para demostrar la viabilidad de su propuesta, por lo que, en este sentido, la información es estrictamente técnica. Desde el punto de vista científico, el ingeniero deberá citar los estudios, las investigaciones y/o las evidencias experimentales que sirvan para fundamentar los argumentos de las decisiones que adopte, reconociendo las fuentes que consultó y evitando hacer pasar como propios hallazgos que proceden de trabajos ajenos. Finalmente, en lo que se refiere a lo comercial, el ingeniero se verá obligado a dejar claro cuáles elementos dan respuesta a intereses del mercado, costos, proveedores o conveniencia económica diferenciándolos de las argumentaciones

estrictamente técnicas. Al respecto, el ingeniero refuerza la ética profesional pero también fomenta la confianza y credibilidad en su trabajo, asegurando que las decisiones que tome vengan fundamentadas por hechos contrastables y no por intereses ocultos.